

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ELM VƏ TƏHSİL
NAZİRLİYİ**

AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNIVERSİTETİ

E.Ə. KƏRİMOV

**SƏNAYE MEXANİZMLƏRİNİN ELEKTRİK İNTİQALI
VƏ AVTOMATLAŞDIRILMASI**

(məsələ həlləri ilə)

METODİK VƏSAİT

E.Ə. KƏRİMOV

**SƏNAYE MEXANİZMLƏRİNİN ELEKTRİK İNTİQALI
VƏ AVTOMATLAŞDIRILMASI**

(məsələ həlləri ilə)

METODİK VƏSAİT

BAKİ 2024

Vəsaitin müəllifi:

*“Elektrotexnika” kafedrasının professoru, f.ü.e.d.,
E.Ə. Kərimov*

Rəyçilər:

Azərbaycan Mühəndislik Universiteti
“Avtomatika, telekommunikasiya və energetika”
kafedrasının dosenti, t.e.n. Məmmədov L.V.

Azərbaycan Texniki Universiteti
“Elektrotexnika” kafedrasının dosenti,
t.e.n. Sadıqlı B.M.

Elmi redaktor:

Azərbaycan Texniki Universiteti
“Elektrotexnika” kafedrasının baş müəllimi
Qardaşov S.Q.

Tədris vəsaiti “Elektrik mühəndisliyi” ixtisası üzrə magistr pilləsində təhsil alan tələbələr üçün nəzərdə tutulmuşdur və tərkibində “Sənaye mexanizmlərinin elektrik intiqalı və avtomatlaşdırılması” fənninin müxtəlif bölmələri üzrə praktiki məsələlərin həlləri ilə qısa nəzəri məlumatları birləşdirir.

MÜNDƏRİCAT

I HİSSƏ (SABİT CƏRƏYAN)

GİRİŞ.....	8
1. ƏSAS ANALAYIŞLAR.....	8
1.1. Ümumi müddəalar.....	10
1.2. Müasir avtomatlaşdırılmış intiqal və onun inkişaf tendensiyası.....	14
2. ELEKTRİK İNTİQALININ MEXANİKASI.....	16
2.1. Meaniki hərəkətin tənliyi.....	16
2.2. Elektrik mühərriklərinin mexaniki xarakteristikaları.....	19
2.3. İstehsal mexanizmlərinin mexaniki xarakteristikaları.....	21
2.4. Mexaniki hərəkətin statik dayanıqlığı.....	26
2.5. Momentlərin bir fırlanma oxuna gətirilməsi.....	28
2.6. Ətalət momentlərin bir fırlanma oxuna gətirilməsi.....	30
3. SABİT CƏRƏYAN MÜHƏRRİKLİ ELEKTRİK İNTİQALI.....	32
3.1. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin statik xarakteristikaları və qoşulma sxemi.....	32
3.2. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin statik və dinamik xarakteristikaları.....	38
3.3. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin kataloq verilənlərinə görə parametrlərinin təyini.....	40
3.4. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin nizamlanması. Ümumi müddəalar.....	46
3.5. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin lövbər dolağı dövrəsindəki rezistorların köməyi ilə nizamlanması.....	47
3.6. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin lövbər dolağı gərginliyinin dəyişməsi ilə nizamlanması.....	50
3.7. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin həyəcanlanma selinin dəyişməsi ilə nizamlanması.....	53
3.8. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin statik xarakteristikaları və qoşulma sxemi.....	56

3.9. Ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin lövbər dolağı dövrəsindəki rezistorların köməyi ilə nizamlanması.....	62
3.10. Ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin gərginliyinin dəyişməsi ilə nizamlanması.....	65
3.11. Ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin fırlanma istiqamətinin dəyişməsi.....	67
3.12. Sabit cərəyan mühərrikli elektrik intiqallarında keçid prosesləri.....	68
3.13. Sabit cərəyan mühərrikli rele-kontaktor elektrik intiqallarında idarəetmənin avtomatlaşdırma prinsipləri.....	82
3.13.1. Sabit cərəyan mühərrikinin işə salınmasının sürət prinsipinə görə idarə olunması.....	83
3.13.2. Sabit cərəyan mühərrikinin işə salınmasının zaman prinsipinə görə idarə olunması.....	85
3.13.3. Sabit cərəyan mühərrikinin işə salınmasının cərəyan prinsipinə görə idarə olunması.....	87
4. SABİT CƏRƏYAN ÇEVİRİCİ-MÜHƏRRİK SİSTEMLƏRİ.....	90
4.1. Ümumi müddəalar.....	90
4.2. Generator-mühərrik sistemi.....	90
4.3. Yarımkəçirici çeviricilərə malik elektrik intiqalları.....	93
4.3.1. Tiristor çeviricisi-mühərrik sistemi.....	95
4.3.2. Tiristor çeviricili sabit cərəyan elektrik intiqalları.....	102

II HİSSƏ (DƏYİŞƏN CƏRƏYAN)

5. DƏYİŞƏN CƏRƏYAN MÜHƏRRİKLİ ELEKTRİK İNTİQALL.....	107
5.1. Asinxron mühərrik.....	107
5.1.1. Asinxron mühərriklərin elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları, qoşulma sxemi.....	107
5.1.2. Arayış verilənlərinə görə asinxron mühərrikin əvəzetmə sxemlərinin parametrlərinin təyini.....	115

5.1.3. Kataloq verilənlərinə görə asinxron mühərrikin əvəzetmə sxemlərinin parametrlərinin təyini.....	118
5.1.4. Asinxron mühərrikin dinamik mexaniki xarakteristikası.....	130
5.1.5. Rotor dolağı dövrəsindəki əlavə aktiv müqavimətin dəyişməsi hesabına asinxron mühərrikin sürətinin nizamlanması.....	135
5.1.6. Bucaq sürəti faza nizamlanmış asinxron elektrik intiqalı.....	138
5.1.7. Asinxron mühərrikli elektrik intiqallarında tiristor işəsalma qurğuları.....	149
5.1.8. Qısa qapanmış asinxron mühərrikin bucaq sürətinin tezlik nizamlanması sistemləri.....	153
5.1.9. Birbaşa əlaqəli tezlik çeviriciləri.....	154
5.1.10. Cərəyanın avtonom invertorları.....	157
5.1.11. Gərginliyin avtonom invertorları.....	160
5.1.12. Bucaq sürəti tezliklə nizamlanmış asinxron elektrik intiqalı.....	164
5.2. Sinxron mühərrik.....	174
5.2.1. Sinxron mühərriklərin konstruksiyasının xüsusiyyəti və qoşulma sxemi.....	175
5.2.2. Qeyri-açıq qütblü sinxron mühərriklərin elektromexaniki xassələri.....	178
5.2.3. Açıq qütblü sinxron mühərriklərin elektromexaniki xassələri.....	182
5.2.4. Sinxron mühərriklərin sinxronlaşdırılması və işə salınması.....	187
5.2.5. Sinxron mühərriklərin sürətinin nizamlanması.....	192

III HİSSƏ (QAPALI SİSTEMLƏR)

6. ELEKTRİK İNTİQALININ QAPALI SİSTEMLƏRİ.....	197
6.1. Sabit cərəyan elektrik intiqalları.....	197
6.1.1. Cərəyan kəsimli çevirici – sabit cərəyan mühərriki sistemi.....	199

6.1.2. Cərəyan kəsimli çevirici – mühərrik sisteminin elektromexaniki xarakteristikaları.....	201
6.1.3. Cərəyan kəsimli sürət və cərəyana görə mənfi əks əlaqəli çevirici – mühərrik sistemi.....	215
6.1.4. Tabeli nizamlanmaya malik sabit cərəyan elektrik intiqalı.....	220
6.2. Asinxron mühərrikli dəyişən cərəyan elektrik intiqalları.....	229
6.2.1. Stator dolaqlarının gərginliyi nizamlanan asinxron mühərriklər.....	229
6.2.2. Gərginliyin dəyişməsi ilə stator dolağı dövrəsi üzrə idarə olunan asinxron mühərrikin struktur sxemi.....	232
6.2.3. Stator gərginliyinin nizamlanması ilə asinxron elektrik intiqalının struktur sxemi.....	236
6.2.4. Tezlik çeviricisi – cərəyana görə müsbət əks əlaqəli asinxron mühərrik sistemi.....	246
6.2.5. Skalyar IR-kompensasiyalı asinxron elektrik intiqalının tezlik idarə olunması.....	249
6.2.6. IR-kompensasiyalı asinxron elektrik intiqalının vektor tezlik idarə olunması.....	252
6.2.7. Moment və sürüşmənin kompensə olunması ilə asinxron mühərrikin tezlik idarə olunması.....	259
6.2.8. Sürət vericisiz asinxron mühərrikin vektor idarə olunması sistemi.....	261
6.2.9. Sürət vericili asinxron mühərrikin vektor idarə olunması sistemi.....	268
ƏDƏBİYYAT.....	271

Giriş

Müasir sənayenin, kənd təsərrüfatının, nəqliyyatın fəaliyyəti və inkişafı avtomatlaşdırılmış elektik intiqalı olmadan mümkün deyil.

Hazırda istehsalatda istismar olunan nizamlanan elektrik intiqallarının böyük hissəsi sabit cərəyan mühərrikləri əsasında hazırlanmışdır. Lakin, buna baxmayaraq, dünyanın əksər inkişaf etmiş ölkələrində sabit cərəyan elektrik intiqallarının kütləvi istehsalı XXI əsrin əvvəllərindən başlayaraq dayandırılmışdır. Bu günə quraşdırılmış sabit cərəyan elektrik intiqalları sənayedə onların dəyişdirilməsi böyük kapital xərclə tələb etdiyindən hələ uzun illər tətbiq ediləcəkdir.

Sabit cərəyan elektrik intiqalının əvəzinə hər şeydən əvvəl asinxron qısa qapanmış mühərriklərin bazasında nizamlanan dəyişən cərəyan elektrik intiqalları gəlir. Asinxron mühərriklər ən geniş yayılmış elektrik maşınları olaraq qalır, lakin yaxın vaxtlara qədər onlar əsasən nizamlanmayan sabit sürətlə işləyən mexanizmlərin – sərincəşlərin, nasosların, kompressorların, konveyerlərin fırlanması üçün elektrik intiqallarında tətbiq olunmuşdur. Son illər tranzistor və tiristorların yeni nəslinin və həmçinin, nisbətən ucuz yüksək təztəsirə malik mikroprosessorların yaranması ilə əlaqədar olaraq asinxron elektrik mühərrikləri bazasında dəyişən cərəyan elektrik intiqallarının istehsalı və istismarı iqtisadi baxımdan məqsəduyğun sayılır.

Bu həm də onunla izah olunur ki, asinxron mühərriklərin istehsal texnologiyası hazırda praktiki olaraq tamamilə avtomatlaşdırılmışdır. Mühərriklərin val və rotorlarının mexaniki emalı avtomatik xətlərdə, maqnit ötürücülərin ştamplanması isə – pres-avtomatlarda aparılır. Statorun içliyinin yığılması avtomatlaşdırılıb, rotorun yığılması və doldurulması isə mexanikləşdirilib. Fırça-kollektor düyününün

olmaması dəyişən cərəyan elektrik mühərriklərinin xidmətinə lazım olan istismar xərclərini nəzərəcarpacaq dərəcədə azaldır.

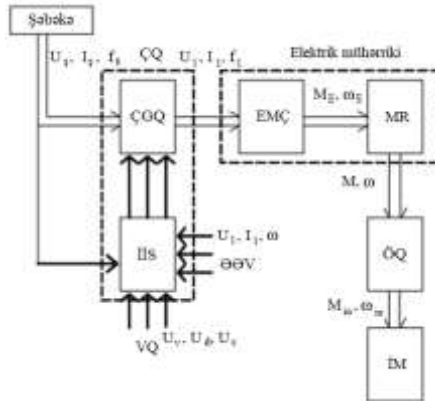
Beləliklə, Sizlərə təqdim olunan metodik vəsaitdə hazırda istismarda olan həm sabit cərəyan elektrik intiqallarına, həm də dəyişən cərəyan elektrik intiqallarına və onların sürətlərinin perspektiv nizamlanması üsullarına diqqət ayrılacaqdır.

1. ƏSAS ANLAYIŞLAR

1.1. Ümumi müddəalar

Elektrik intiqalı – maşın və mexanizmlərin işçi orqanlarını hərəkətə gətirmək və onların texnoloji proseslərini idarə etmək üçün istifadə olunan, elektrik mühərrikindən, çevirici qurğudan, idarəetmə qurğusundan və ötürücü qurğudan ibarət olan elektromexaniki sistemdir.

Avtomatlaşdırılmış elektrik intiqalının funksional sxemi şəkil 1.1-də verilmişdir.



Şək. 1.1. Avtomatlaşdırılmış elektrik intiqalının funksional sxemi

Şək.1.1-də aşağıdakı işarələr qəbul olunmuşdur:

ÇQ – çevirici qurğu;

ÇGQ – çevirici güc qurğusu;

İİS – informasiya idarəetmə sistemi;

EMÇ – elektromexaniki çevirici;

MR – mühərrikin rotoru;

ÖQ – ötürücü qurğu;

İM – icra mexanizminin işçi orqanı;

VQ – verici qurğu;

ƏƏV – əks əlaqə vericisi;

U_s , f_s , I_s – elektrik intiqalının şəbəkədən istifadə etdiyi gərginlik, tezlik və cərəyan;

U_1 , f_1 , I_1 – dəyişən cərəyan mühərrikinin statorunun dolaqlarındakı gərginlik, tezlik və cərəyan;

M_E , ω_E – stator dolaqlarının yaratdığı elektromaqnit momenti və maqnit sahəsinin fırlanma sürəti;

M , ω – mühərrikin fırlanma momenti və sürəti;

M_{io} , ω_{io} – icra mexanizminin işçi orqanının fırlanmasının moment və sürəti;

U_v , U_d , U_s – verici siqnallar: verici gərginlik, dayaq gərginliyi, sürüşmə gərginliyi.

“Elektrik intiqalı” anlayışı və onun funksional sxemindən belə çıxır ki, elektrik intiqalı dörd əsas hissədən ibarətdir:

- elektrik mühərriki;
- çevirici güc qurğuları;
- ötürücü qurğu;
- idarəetmə sistemi.

İlk olaraq qısa şəkildə elektrik intiqalının tərkib hissələrini nəzərdən keçirək.

Elektrik mühərrikləri elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirmək üçün istifadə olunur. Şəkil 1.1-də elektrik mühərriki iki hissədən ibarətdir: elektrik enerjisini elektromaqnit enerjisinə çevirən EMC – elektromexaniki çevirici və elektromaqnit enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən MR – mühərrikin rotoru.

Mühərrik, rotorun ω bucaq sürəti ilə fırlanan valında M momenti yaradır.

Elektrik maşınları istifadə etdikləri cərəyana görə belə bölünür:

- sabit cərəyan mühərrikləri;
- dəyişən cərəyan mühərrikləri.

Sabit cərəyan mühərrikləri aşağıdakılardır:

- sərbəst həyəcanlı;
- paralel həyəcanlı;
- ardıcıl həyəcanlı;
- qarışıq həyəcanlı;
- sabit maqnitlərdən həyəcanlanma;
- içi boş qeyri-maqnit lövbərli;
- möhürlü lövbərli;
- yarımkeçirici kommutatorla;
- maqnit-hidrodinamik elektrik mühərrikləri və s.

Dəyişən cərəyanlı *Elektrik intiqalı* aşağıdakı elektrik mühərriklərinin bazasında reallaşa bilər:

- qısa qapanmış rotorlu asinxron;
- faza rotorlu asinxron;
- sərbəst həyəcanlı sinxron;
- sabit maqnitli sinxron;
- bir fazalı asinxron mühərriklər;
- ikiqat qida mənbəli;
- reaktiv sinxron;
- histerizis sinxron;
- reduktorlu;
- xətti;
- dəyişən cərəyanlı kollektor;
- elektrovibrasiyalı;
- tutumlu və s.

Çevirici güc qurğuları (ÇGQ) aşağıdakı qurğuların bazasında yaradıla bilər:

- elektromaşın çeviriciləri;
- elektromaqnit çeviriciləri;
- yarımkeçirici çeviriciləri.

Ötürmə qurğuları (ÖQ) mexaniki enerjinin elektrik mühərrikindən icra mexanizminə (İM) ötürmək və elektrik

mühərrikinin hərəkətinin növü və xarakterinin və işçi orqanın icra mexanizminin uzlaşması üçündür. Ötürmə qurğularının ən xarakterik tipləri bunlardır:

- reduktorlar;
- zəncirli ötürməsi;
- kəmərlə ötürmə;
- planetar sistemlər;
- kulis mexanizmləri;
- şar-vint ötürməsi;
- sürüşmənin elektromaqnit muftaları və s.

Elektrik intiqalının idarəetmə sistemləri elektrik intiqalının icra mexanizminin işçi orqanının verilmiş hərəkətinin təmin olunması məqsədi ilə idarə olunması üçün istifadə olunan idarəedici və informasiya sistemlərinin külliyyatından ibarətdir. İdarəetmə sistemləri prinsipial olaraq onların yerinə yetirdiyi əsas funksiyaların səviyyələrinə görə fərqlənir:

- iş salma, revers, tormozlanma, həmçinin bucaq sürətinin statika və dinamikada yüksək dəqiqlik olmadan saxlanması. Belə funksiyaları açıq sabit və dəyişən cərəyan elektrik intiqallarının rele-kontaktor idarəetmə sistemləri həyata keçirir;

- statikada bucaq sürətinin yüksək dəqiqliklə saxlanması, həmçinin tələb olunan keçid proseslərinin formalaşması. Belə funksiyaları müxtəlif əks əlaqəli məsələ, sürət, mühərrikin cərəyanına, çeviricinin gərginliyinə görə çevirici-mühərrik sistemi həyata keçirir;

- ixtiyari dəyişən istənilən giriş təsirlərinin izlənməsi. Bu funksiyaları izləyici sistemlər həyata keçirir;

- verilən proqramın emalı. Belə funksiyaları proqram idarəetmə sistemləri həyata keçirir;

- işin optimal rejimlərinin seçilməsi. Bu funksiyaları idarəetmənin adaptiv – öz strukturunu və ya idarəetmə sistemlərinin parametrlərini məsələ, işin optimal rejimlərinin

öyrənilməsi məqsədi ilə avtomatik dəyişən sistemlər həyata keçirir.

İdarəetmə sisteminin seçilməsi həm texnoloji proses və həm də texniki-iqtisadi əsaslandırmaqlarla təyin olunur.

1.2. Müasir avtomatlaşdırılmış intiqal və onun inkişaf tendensiyası

Müasir avtomatlaşdırılmış elektrik intiqalı praktiki olaraq tamamilə sənayenin, kənd təsərrüfatının və elmin tələb olunan güc, sürətin nizamlanma diapazonu və onun nizamlanmasının hamarlığına qoyulan tələblərinə cavab verir.

Elektrik intiqallarında istifadə olunan maşınların güc həddləri kifayət qədər genişdir – on minlərlə kilovatttdan vattın hissələrinə qədər. Məsələn, 70-ci illərdə işlənilmiş və bu günə qədər sənaye miqyasında sürətin nizamlanma diapazonu 1: (10000 ÷ 30000) olan tranzistorlu və tiristorlu çeviricilərə malik sabit cərəyan elektrik intiqalları istehsal olunur.

Hazırda kütləvi şəkildə elektrik intiqallarının istehsal olunması və yenidən işlənilməsinin əsas məqsədi ilk növbədə onların etibarlılığının yüksəldilməsi, kütlə-qabarit göstəricilərinin, maya dəyərinin və istismar xərclərinin azaldılması istiqamətində yönəlmişdir. Müasir elektrik intiqallarının işlənilməsi dəyişən cərəyan elektrik maşınlarının bazasında aparılır.

Dəyişən cərəyan elektrik intiqallarının yeni sistemləri tam idarə olunan tiristorlar (GTO, GCT, IGCT) və yeni nəsil, ən əvvəl idarəedici elektrodu izolə olunmuş bipolyar tranzistorlar (IGBT) və induksiya kanallı MDY-tranzistorlar (MOSFET) əsasında mikroprosessor və yarımkeçirici güc texnikasının inkişafı ilə geniş yayılmışdır.

Müasir element bazasında elektrik intiqallarının aşağıdakı sistemləri reallaşmağa imkan tapmışdır:

- qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrik üçün – faza idarəetmə sistemləri (bucaq sürətinin gərginliyi dəyişməklə nizamlanması), tezlik nizamlanma (tezlik çeviricisi, avtonom gərginlik invertoru, avtonom cərəyan invertoru), tezlik-cərəyan idarə olunması;

- faza rotorlu asinxron mühərrik üçün – faza idarə olunması, ikiqat qida mənbəli maşınlar rejimində tezlik idarə olunması, kaskad sxemlər, rotorun düzləndirilmiş cərəyan dövrəsində impulsu idarə olunma sistemləri;

- sinxron mühərriklər üçün – tezlik idarə olunması, tezlik-cərəyan idarə olunması, ventil elektrik intiqalı.

Nizamlanan dəyişən cərəyan elektrik intiqalı üçün bucaq sürətinin nizamlanmasına görə kütləvi istehsal olunan sabit cərəyanla işləməyə hesablanan asinxron və sinxron mühərriklərdən fərqli olaraq, elektrik maşınlarının xüsusi konstruksiyalarının işlənilməsi şərti yaranır. Bu isə aşağı sürətlərdə işləyən dəyşən cərəyan maşınlarının qızması ilə əlaqədardır. Elektrik intiqalının komplektləri işi sürətlərin verilmiş diapazonunda mühərrik və çevirici qızmadan təminatla təmin etməlidirlər.

2. ELEKTRİK İNTİQALININ MEXANİKASI

2.1. Mexaniki hərəkətin tənliyi

Nyutonun fırlanan cisimlər üçün çevrilmiş ikinci qanununa görə:

$$M - M_m = M_d, \quad (2.1)$$

burada, M – hərəkət momenti, $N \cdot m$; M_m – müqavimət momenti, $N \cdot m$; M_d – dinamik moment; $N \cdot m$.

(2.1) bərabərliyi elektrik intiqalında həm də “hərəkət tənliyi” kimi adlanır. Hərəkət tənliyinə uyğun olaraq, əgər $M > M_m$ olarsa $M_d > 0$ və elektrik intiqalı sürətlənmə vəziyyətindədir. Yox əgər $M < M_m$ olarsa, $M_d < 0$ – elektrik intiqalı yavaşır və ya tormozlanır. Nəhayət, $M = M_m$ olduqda, $M_d = 0$ – elektrik intiqalı elektrik intiqalı sükunətdə və ya qərarlaşmış bərabər hərəkətdədir.

Beləliklə, dinamik moment yalnız elektrik intiqalının sürətlənmə və ya yavaşması zamanı keçid rejimində yaranır və təsir göstərir. Yəni, elektrik intiqalının kinetik enerjisi dəyişən zaman. M_d dinamik momentin təyin olunması üçün ifadəni fırlanan cisimdə kinetik enerji ehtiyatını təyin edən tənlikdən almaq olar:

$$A = J \cdot \omega / 2, \quad (2.2)$$

burada, $J = m \cdot r^2$ – m kütləli cismin ətalət momenti, $kq \cdot m^2$; r – fırlanan düzgün silindrik formalı cismin radiusudur, m .

Fırlanan kütlələrin elektrik intiqalının sürətlənməsi zamanı aldığı və ya tormozlanan zaman verdiyi güc:

$$P_d = \frac{dA}{dt} = J \cdot \omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ}{dt}. \quad (2.3)$$

Belə olan halda dinamik momenti aşağıdakı ifadədən təyin etmək mümkündür:

$$M_d = \frac{P_d}{\omega} = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \cdot \frac{dJ}{dt}. \quad (2.4)$$

Dinamik momentin təyin olunması üçün tənlik iki tərkib hissəsindən ibarətdir: birincisi, elektrik intiqalının ω bucaq sürətinin, ikincisi isə – onun J ətalət momentinin dəyişməsi zamanı dinamik momentin dəyişməsini təyin edir.

Elektrik intiqalında ətalət momentinin dəyişməsi robot və manipulyatorların mexanizmlərində yalnız o zaman müşahidə olunur ki, onların mərkəzi ox ətrafında fırlanması zamanı əlin çıxması dəyişir. Fırlanma zamanı ətalət momentinin dəyişməsini göstərən misalı “fırlanma” elementini həyata keçirən figuristlərdə müşahidə etmək olar. Fırlanma zamanı əli bədənə sıxmaqla figurist məxsusi ətalət momentini azaldır. Bu zaman kinetik enerji dəyişmədiyindən fırlanma sürəti kəskin artır. Elektrik intiqalının layihələndirilməsi zamanı yadda saxlamaq lazımdır ki, elə bu proseslər bəzi tip elektrik intiqallarının kinematikasında baş verir.

Elektrik intiqalının J ətalət momenti zamana görə dəyişməyən hallarda (2.4) bərabərliyinin sağ hissəsindəki ikinci həddi nəzərə alınmır və dinamik moment aşağıdakı ifadə ilə təyin olunacaqdır:

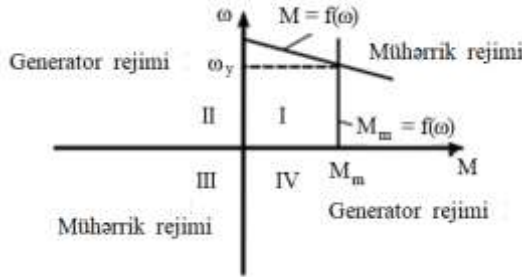
$$M_d = J \cdot (d\omega/dt). \quad (2.5)$$

Beləliklə, elektrik intiqalında dinamik moment əksər praktiki hallarda sürətlənmə və ya yavaşımaya zamanı yaranır.

Elektrik intiqalında hərəkət momenti adətən elektrik mühərrikinə və yalnız bir sıra hallarda – istehsal mexanizminin işçi orqanını təmin edir, elektrik maşını isə hərəkətin bərabərliyini təmin edərək onu tormozlayır.

Elektrik maşınlarının M hərəkət momenti onun ω sürətinin funksiyasıdır. Elektrik maşınının ω sürəti və onun M –

$f(\omega)$ momenti arasında asılılıq mexaniki xarakteristika adlanır. Elektrik maşınlarının mexaniki xarakteristikaları sağ dekart koordinatlar sistemində qrafiklər şəklində təsvir olunur (şəkil 2.1).



Şək. 2.1. Mexaniki xarakteristikalar

Elektrik intiqalında baş verən proseslərin nəzərdən keçirilməsinin rahat olması üçün mühərrikin iki mümkün olan fırlanma istiqamətlərindən birini müsbət hesab edirlər. Bir qayda olaraq, mühərrikin fırlanmasının müsbət istiqaməti olaraq saat əqrəbinin fırlanma istiqaməti ilə üst-üstə düşən istiqamət götürülür. Elektrik mühərriki momentinin işarəsini əgər onların istiqaməti üst-üstə düşürsə, bucaq sürətinin işarəsi ilə eyni götürürlər. Elektrik intiqalı sistemlərində elektrik maşınının əsas rejimi olaraq mühərrik rejimi sayılır. Elektrik maşınının işinin mühərrik rejimini birinci və üçüncü kvadrantlarda yerləşdirirlər. Elektrik maşınının generator rejimi isə ikinci və dördüncü kvadrantlarda yerləşdirilir.

İşin qərarlaşmış rejimində M_m müqavimət momenti tormozlayıcı xarakter daşıyır və mühərrikin momentinin qarşısına təsir edir. Elektrik intiqalının qərarlaşmış rejiminin tapılmasının sadəliyi üçün M_m müqavimət momentinin istiqamətini mühərrik momentinin müsbət istiqamətinin əksi götürməklə müsbət işarə ilə qəbul edirlər. Şəkil 2.1-də sürətin

qərarlaşmış qiyməti (2.1) düsturuna uyğun olaraq mütləq qiymət üzrə M hərəkət momenti və M_m müqavimət momentinin bərabərliyi şərtində təyin olunmuşdur.

2.2. Elektrik mühərriklərinin mexaniki xarakteristikaları

İstehsal mexanizminin işçi orqanını fırladan elektrik intiqalının işinin nəzərdən keçirilməsi zamanı elektrik mühərrikinin mexaniki xassələri ilə istehsal mexanizminin mexaniki xassələrinin uyğunluğunu aşkar etmək lazımdır. Bu səbəbdən elektrik intiqalının düzgün layihələndirmə və iqtisadi istismarı üçün elektrik maşınlarının və həm də istehsal mexanizmlərinin mexaniki xarakteristikaları öyrənilməlidir.

Elektrik mühərrikinin mexaniki xarakteristikası onun ω sürətinin M momentindən asılılığını təyin edir. Əksər hallarda ω bucaq sürəti əvəzinə bu kəmiyyətlərin bir-biri ilə düz mütənəşib olduqlarından sistemdən kənar fiziki kəmiyyət – fırlanma tezliyi n istifadə olunur:

$$\omega = \pi n / 30. \quad (2.6)$$

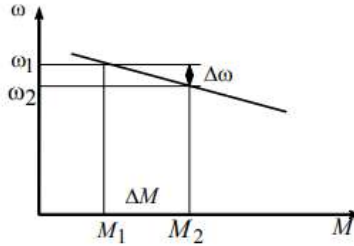
Bu halda elektrik mühərrikinin mexaniki xarakteristikası onun n fırlanma tezliyinin M momentindən asılılığı adlanacaqdır, yəni $n = f(M)$.

Elektrik maşınlarının müxtəlif tiplərində momentin dəyişməsi sürətin dəyişmə dərəcəsi ilə eyni deyildir və mexaniki xarakteristikaların sərtliliyindən asılı olaraq fərqlənir (şəkil 2.2).

Mexaniki xarakteristikanın k_β sərtliliyi dedikdə ΔM moment çevrilməsinin $\Delta \omega$ sürət çevrilməsinə olan nisbəti başa düşəcəyik:

$$k_\beta = (M_1 - M_2) / (\omega_1 - \omega_2) = \Delta M / \Delta \omega, \quad (2.7)$$

burada, M_1, ω_1 – mexaniki xarakteristikanın birinci nöqtəsindəki moment və bucaq sürəti, M_2, ω_2 – isə mexaniki xarakteristikanın ikinci nöqtəsindəki moment və bucaq sürətidir.



Şək. 2.2. Mexaniki xarakteristikanın sərtliyinin təyini

Elektrik mühərriklərinin mexaniki xarakteristikalarını onların k_β sərtliyindən asılı olaraq dörd əsas tipə bölmək olar:

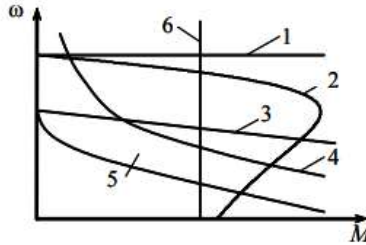
- momentin dəyişməsi ilə sabit qalan sürət zamanı *mütləq sərt mexaniki xarakteristika*. (2.7) ifadəsindən alınır ki, əgər $\Delta\omega = 0$ olarsa, $k_\beta = \infty$. Belə xarakteristikaya sinxron mühərriklər malikdirlər (şəkil 2.3, 1 asılılığı);

- *sərt mexaniki xarakteristika* momentin dəyişməsi ilə zəif dəyişən bucaq sürəti. Sərt mexaniki xarakteristika asinxron mühərriklər (şəkil 2.3, 2 asılılığı) və sərbəst və paralel həyəcanlanmalı sabit cərəyan mühərrikləri (şəkil 2.3, 3 asılılığı) aid edilir;

- yumşaq mexaniki xarakteristika momentin dəyişməsi zamanı bucaq sürətinin nəzərəcarpacaq dərəcədə dəyişməsi ilə fərqlənir. Belə xarakteristikaya ardıcıl həyəcanlanmalı sabit cərəyan mühərrikləri (şəkil 2.3, 4 asılılığı) və qarışıq həyəcanlanmalı sabit cərəyan mühərrikləri malikdirlər (şəkil 2.3, 5 asılılığı);

- mühərrikin momenti sabit qaldıqda bucaq sürətinin dəyişməsi zamanı mütləq yumşaq mexaniki xarakteristikadan danışılır. (2.7) ifadəsindən çıxır ki, əgər $\Delta M = 0$ olarsa, $k_\beta = 0$

qiymətini alır. Mütləq yumşaq mexaniki xarakteristikaya lövbər dolağının cərəyan mənbəyindən qidalandığı zaman sərbəst həyəcanlanmalı sabit cərəyan mühərrikləri malik olur (şəkil 2.3, 6 asılılığı).



Şək. 2.3. Elektrik mühərriklərinin mexaniki xarakteristikaları

Elektrik mühərrikinin mexaniki xarakteristikasının istənilən tipində mühərrikin fırlanma momenti onun valındakı yüklə, yəni M_m müqavimət momenti ilə təyin olunur.

2.3. İstehsal mexanizmlərinin mexaniki xarakteristikaları

İstehsal mexanizminin mexaniki xarakteristikası dedikdə mexanizmin M_m müqavimət momentinin onun ω bucaq sürətindən asılılığı başa düşüləcək: $M_m = f(\omega)$. Mühərrikin və istehsal mexanizminin mexaniki xarakteristikalarının bir koordinat sistemində təsviri zamanı onları bir fırlanma oxuna bir qayda olaraq mühərrikin valına gətirirlər.

Həm istifadə etdiyi gücə və həm də təsir prinsipinə görə fərqlənən istehsal mexanizmlərinin böyük müxtəlifliyinə baxmayaraq, onların mexaniki xarakteristikalarını beş əsas tipə bölmək olar:

- İstehsal mexanizminin bucaq sürətindən asılı olmayan mexaniki xarakteristikası. Belə mexanizmlərə üstünlük təşkil

edən momenti sürtünmə qüvvələri tərəfindən yaranan moment olan metal kəsən dəzgahların ötürmə mexanizmləri, qaldırıcı kranların hərəkət mexanizmləri, konveyerlər, porşenli nasoslar aid edilir. Mexaniki xarakteristikanın tənliyi:

$$M_m = M_{m1} = const, \quad (2.8)$$

burada, M_{m1} – istehsal mexanizminin hərəkətli hissələrindəki sürtünmə qüvvələrindən yaranan sürtünmə momentidir.

İstehsal mexanizminin bucaq sürətindən asılı olmayan mexaniki xarakteristikası qrafiki olaraq şəkil 2.4, 1 asılılığında verilmişdir.

- İstehsal mexanizminin xətti-artan mexaniki xarakteristikası. Belə xarakteristikaya sabit yükə işləyən sabit cərəyan generatorları, hamarlama maşınları malikdirlər. Mexaniki xarakteristikanın tənliyi aşağıdakı şəkllə malikdir:

$$M_m = M_{m2} + a \cdot \omega, \quad (2.9)$$

burada, M_{m2} – istehsal mexanizminin hərəkətli hissələrindəki sürtünmə qüvvələrindən yaranan müqavimət momenti; a – isə mütənasiblik əmsalıdır.

İstehsal mexanizminin mexaniki xarakteristikasının xətti-artan qrafiki şəkil 2.4, 2 asılılığında verilmişdir.

- İstehsal mexanizminin qeyri-xətti artan mexaniki xarakteristikası. Belə xarakteristikaya istehsal prosesi mərkəzəqaçma xarakterli olan mexanizmlər malikdirlər: sərinkeşlər, mərkəzəqaçma nasosları, sentrifuqalar. Mexaniki xarakteristikanın tənliyi belədir:

$$M_m = M_{m3} + b \cdot \omega^x, \quad (2.10)$$

burada, M_{m3} – istehsal mexanizminin hərəkətli hissələrindəki sürtünmə qüvvələrindən yaranan sürtünmə momenti; b – mütənasiblik əmsalı; x – dərəcə göstəricisidir; $x = 2$ olduqda qazşəkilli mühitdə hərəkət, $x = 3$ olduqda isə mayədə hərəkət.

İstehsal mexanizminin mexaniki xarakteristikasının qeyri-xətti artan qrafiki şəkil 2.4, 3 asılılığında verilmişdir.

- İstehsal mexanizminin qeyri-xətti azalan mexaniki xarakteristikası. Belə xarakteristikaya emal dəzgahlarının elektrik intiqalları malik olur: metal emal edən, faner yonan və s. Belə dəzgahlarda kəsmə momenti kəsmə sürətinə əks mütənasib olaraq dəyişir. Məsələn, nazik sverlo – patronun böyük sürətlə fırlanması, böyük diametrlı sverlo – patronun kiçik sürətlə fırlanması. Mexaniki xarakteristikanın tənliyi belədir:

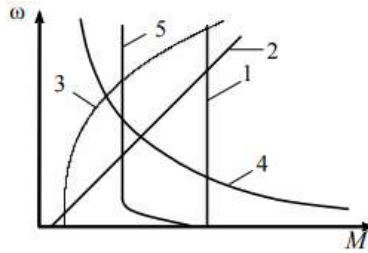
$$M_m = M_{m4} + c \cdot \omega^{-1}, \quad (2.11)$$

burada, M_{m4} – istehsal mexanizminin hərəkətli hissələrindəki sürtünmə qüvvələrindən yaranan sürtünmə momenti; c – mütənasiblik əmsalıdır.

İstehsal mexanizminin mexaniki xarakteristikasının qeyri-xətti azalan qrafiki şəkil 2.4, 4 asılılığında verilmişdir.

- Yüksəldilmiş işəsalma momentinə malik istehsal mexanizminin mexaniki xarakteristikası. Belə xarakteristikaya mikserlər, maye mühitlərin məsələn, boyaların bəzi qarışdırılması mexanizmləri malik olur. Belə mexanizmlərdə bütün maye məhdud mühitdə fırlanmağa başladıqdan sonra müqavimət momenti kəskin azalır. Bəzi mexanizmlərdə böyük işəsalma momenti hərəkətə başlayanda – məsələn, tramvayın, elektrik qatarının elektrik intiqalında, qaykaların açılması zamanı qayka açanların mexanizmlərində inkişaf edir. Belə mexanizmlərdə hərəkətin başlanğıcında molekul arası böyük cazibə qüvvələri təsir edir.

Yüksəldilmiş işəsalma momentinə malik istehsal mexanizminin mexaniki xarakteristikasının qrafiki şəkil 2.4, 5 asılılığında verilmişdir.



Şək. 2.4. İstehsal mexanizminin mexaniki xarakteristikaları

Qeyd olunduğu kimi, qərarlaşmış rejimdə elektrik intiqalının işinə mühərrikin və müqavimət momentlərinin bərabərliyi uyğun gəlir. İstehsal mexanizmlərinin müqavimət momentinin ilk növbədə uzlaşan valların oxlarının üst-üstə düşməmələri səbəbindən təsadüfi dəyişilmələri zamanı elektrik intiqalının ən dayanıqlı sürətini saxlamaq məqsədi ilə mühərrikin və mühərrikin valına düz bucağa yaxın bucaq altında gətirilən mexanizmin mexaniki xarakteristikalarının kəşifməsini təmin etmək lazımdır.

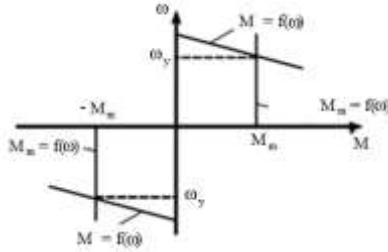
Təsir xarakterinə görə statik momentlərin bütün növləri iki yerə bölünür:

- reaktiv;
- aktiv.

Reaktiv momentə demək olar ki, bütün – yəni, momenti sürtünmə qüvvələri tərəfindən yaradılan mexanizmlər malik olur. Belə momentlər həmişə hərəkətə mane olur və bu səbəbdən hərəkət istiqamətinin dəyişməsi nəticəsində işarələrini dəyişirlər. Reaktiv momentə malik istehsal mexanizmlərinin mexaniki xarakteristikaları şəkil 2.5-də təqdim olunmuşdur ($M_m = f(\omega)$ asılılıqları). Elə bu qrafikdə sabit cərəyan mühərrikinin mexaniki xarakteristikaları və onun qərarlaşmış hərəkətinin sürətləri göstərilir.

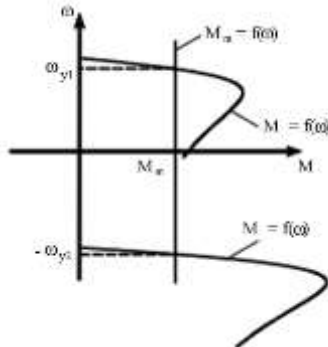
Mexanizmlərin çox kiçik hissəsi aktiv moment yaradır. Aktiv momentli mexanizmlər yalnız hərəkətə mane olmur, həm

də müəyyən şəraitlərdə özləri elektrik intiqalının fırlanmasını yaradır. Aydınır ki, elektrik maşını sabit sürəti təmin etmək məqsədi ilə tormozlanma rejiminə keçir.



Şək. 2.5. Reaktiv momentə malik istehsal mexanizminin mexaniki xarakteristikaları

Aktiv momentlər fırlanma istiqaməti dəyişdikdə öz işarələrini saxlayır. Aktiv momentli mexanizmə xarakterik misal olaraq qaldırıcı kranın mexanizmini göstərə bilərik. İstehsal mexanizmlərinin mexaniki xarakteristikaları şəkil 2.6-da verilmişdir ($M_m = f(\omega)$ asılılıqları).



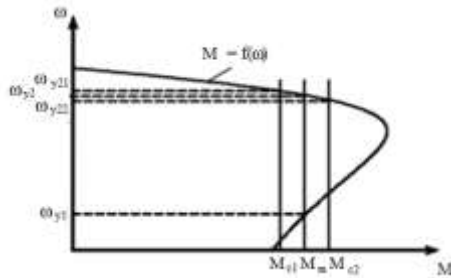
Şək. 2.6. Aktiv momentli istehsal mexanizmlərinin mexaniki xarakteristikaları

Elə bu qrafikdə asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikaları və qərarlaşmış hərəkətinin sürətləri göstərilmişdir.

Qeyd edək ki, praktikada aktiv momentli mexanzimlər mövcud olmur, belə ki, qaldırıcı mexanizmlərində həmişə sürtünmə və deməli reaktiv moment olur.

2.4. Mexaniki hərəkətin statik dayanıqlığı

Elektrik intiqalının qərarlaşmış rejimi elektrik maşınının və onun valında sürtünmə momentlərinin bərabərliyi zaman (2.1) hərəkət tənliyindən çıxır. Bu zaman dinamik moment sıfıra bərabər olacaqdır. Sürətin qərarlaşmış qiymətinin qrafiki təyin olunmasına misal olaraq şəkil 2.1-ə nəzər salmaq lazımdır. Lakin, asinxron mühərrikin daha mürəkkəb mexaniki xarakteristikası üçün M hərəkət momentinin və M_m müqavimət momentinin bərabərliklərini təyin edən iki ω_{y1} və ω_{y2} nöqtələri mövcud ola bilər (şəkil 2.7).



Şək. 2.7. Mexaniki hərəkətin statik dayanıqlığının təyini

Qərarlaşmış fırlanma nöqtəsində ω_{y1} elektrik intiqalının işini nəzərdən keçirək. Qeyd etdiyimiz kimi elektrik intiqalında praktiki olaraq həmişə elektrik maşınının və yükün birləşdirilməsi zamanı problemlər yaranır. Əsas çətinliklər fırlanan valların eyni oxa malik olmamaları nəticəsində yaranır.

Bu halda mühərrikin valında yük hər zaman dəyişir. Yükün məsələn, M_{m2} müqavimətinə qədər azacıq artması hərəkət tənliyinə uyğun olaraq $M - M_{m2} = M_d$ dinamik moment azalacaq, bu isə öz növbəsində mühərrikin sürətinin kiçilməsinə gətirəcəkdir. Mühərrikin mexaniki xarakteristikasına uyğun olaraq onun momenti, dinamik moment yenidən azalacaq və son nəticədə elektrik intiqalının tam dayanmasına səbəb olacaqdır.

Mühərrikin valında müqavimət momentinin məsələn, M_{m1} qiymətinə qədər azalması zamanı M_d dinamik moment artacaq ki, bu da hərəkət tənliyinə uyğun olaraq mühərrikin sürətinin böyüməsinə gətirəcəkdir. Mühərrikin momenti artır, əlavə sürətləndirici dinamik moment yaranır ki, nəticədə elektrik intiqalını yeni qərarlaşmış ω_{y22} qiymətinə qədər sürətlənməyə məcbur edəcəkdir.

Elektrik intiqalının qərarlaşmış fırlanmanın ω_{y2} nöqtəsində işini nəzərdən keçirək. Əgər hər hansı bir səbəbdən mühərrikin valında yük məsələn, M_{m2} qiymətinə qədər artsa, hərəkət tənliyinə əsasən $M - M_{m2} = M_d$ dinamik moment azalacaqdır ki, nəticədə elektrik intiqalının tormozlanması verəcəkdir. Qərarlaşmış işin yeni ω_{y22} nöqtəsi mühərrikin valındakı müqavimət momenti və hərəkət momentinin bərabərliyindən təyin olunacaqdır. Elektrik intiqalı özünü mühərrikin valında müqavimət momenti azalan zaman analogi olaraq aparır – elektrik intiqalı qərarlaşmış fırlanmanın yeni ω_{y21} nöqtəsinə keçəcək. Ümumi halda elektrik intiqalının hər hansı ω_y nöqtəsi ətrafında statik dayanıqlıq şərti aşağıdakı bərabərsizliklə təyin olunur:

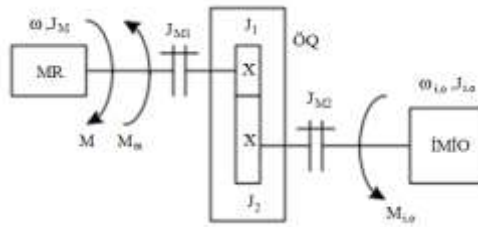
$$k_\beta - k_{\beta c} < 0, \quad (2.12)$$

burada, $k_{\beta c} = dM_m/d\omega \approx \Delta M_m/\Delta\omega$ – istehsal mexanizminin mexaniki xarakteristikasının mühərrikin valına gətirilmiş statik sərtlidir.

Elektrik intiqalının elektrik mühərrikinin və istehsal mexanizminin mexaniki xarakteristikalarının məlum olan analitik tənliklərində statik dayanıqlığı asanlıqla (2.12) ifadəsinə əsasən xarakteristikaların ω sürətinə görə ədədi differensiası nəticəsində təyin olunur.

2.5. Momentlərin bir fırlanma oxuna gətirilməsi

Faydalı iş icra olunduqda İM icra mexanizminin işçi orqanı MR mühərrikin rotorundan ÖQ ötürmə qurğusu vasitəsi ilə mexaniki enerji alır. Belə mexanizmon konetik sxemi şəkil 2.8-də verilmişdir.



Şək. 2.8. Elektrik intiqalının mexaniki hissəsi

Şəkil 2.8-də aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

MR – mühərrikin rotoru;

ÖQ – ötürmə qurğusu;

İMİO – icra mexanizminin işçi orqanı;

M , ω – mühərrikin fırlanma momenti və sürəti;

M_m – mühərrikin valına gətirilmiş müqavimət momenti;

$M_{İO}$, $\omega_{İO}$ – icra mexanizminin işçi orqanının fırlanma momenti və sürəti;

J_M – mühərrikin ətalət momenti;

J_{M1} , J_{M2} – birləşdirici muftaların ətalət momenti;

J_1 , J_2 – dişli çarxın və təkərin ətalət momenti;

$J_{İO}$ – icra mexanizminin işçi orqanının ətalət momenti.

Reduktor çıxış valının fırlanma sürətini ötürmə sayı qədər azaldır:

$$i_{\delta} = \omega / \omega_{i.o} . \quad (2.13)$$

Müqavimət momentinin icra mexanizminin işçi orqanından elektrik mühərrikinin valına gətirilməsi prinsipi mühərrikin və işçi orqanın vollarında güclərin bərabərliyi şərtindən irəli gəlir.

İcra mexanizminin işçi orqanının mexaniki gücü aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$P_{i.o} = M_{i.o} \cdot \omega_{i.o} . \quad (2.14)$$

Reaktiv yük zamanı elektrik mühərrikinin valında mexaniki güc ötürmə qurğusunda itkilər nəzərə alınmaqla belə olacaqdır:

$$P_m = M_m \cdot \omega \cdot \eta_{\delta} , \quad (2.15)$$

burada, η_{δ} – ötürmə qurğusunun FİΘ-sidir.

(2.14) və (2.15) ifadələrinin sağ tərəflərini bərabərləşdirsək:

$$M_m \cdot \omega \cdot \eta_{\delta} = M_{i.o} \cdot \omega_{i.o} . \quad (2.16)$$

(2.16) tənliyini (2.13) ifadəsi nəzərə alınmaqla, icra mexanizminin reaktiv yükündə müqavimət momenti üçün tənlik alaraq M_m -ə nəzərən həll edək:

$$M_m = M_{i.o} / i_{\delta} \cdot \eta_{\delta} . \quad (2.17)$$

Aktiv yük zamanı güc seli mexanizmdən elektrik mühərrikinə doğru yönəlir. Elektrik mühərrikinin valında

mexaniki güc ötürmə qurğusunda güc itkisi nəzərə alınmaqla aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$P_m = M_m \cdot \omega / \eta_{\ddot{o}}. \quad (2.18)$$

(2.13) nəzərə alınmaqla (2.18) və (2.14) tənliklərinin sağ tərəflərini bərabərləşdirib, icra mexanizminin aktiv yükü və elektrik intiqalın dördüncü kvadrantda işləyən zaman mühərrikin valına gətirilmiş müqavimət momenti üçün ifadə alırıq.

$$M_m = M_{i.o} \cdot \eta_{\ddot{o}} / i_{\ddot{o}}. \quad (2.19)$$

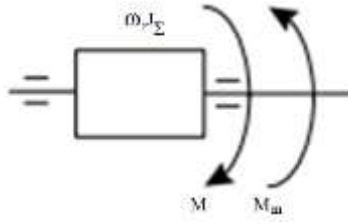
(2.17) və (2.19) bərabərliklərinin analizi göstərir ki, aktiv yükdə istehsal mexanizminin kinematikasında itkilərin nəzərə alınması zamanı yükün qaldırılması və endirilməsində müqavimətləri momenti müxtəlif olacaqdır.

2.6. Ətalət momentlərinin bir fırlanma oxuna gətirilməsi

Keçid proseslərinin hesablanması sadələşdirilməsi üçün J_d , J_{M1} , J_1 , J_2 , J_{M2} , $J_{i.o}$ – paylanmış ətalət momentlərinə malik elektrik intiqalını J_{Σ} ekvivalent ətalət momentli birkütləli sistemə gətirilir (şəkil 2.9).

Elektrik intiqalının J_{Σ} ətalət momentinə malik ekvivalent birkütləli sistemi elektrik mühərrikinin ω sürəti ilə fırlanır. Ətalət momentlərinin bir fırlanma oxuna gətirilməsi başlanğıc çoxkütləli ətalət momentləri paylanmış və J_{Σ} ekvivalent ətalət momentli birkütləli sistemlərin kinetik enerjisinin saxlanması qanunu əsasında həyata keçirilir:

$$J_{\Sigma} \frac{\omega^2}{2} = J_M \frac{\omega^2}{2} + J_{M1} \frac{\omega^2}{2} + J_1 \frac{\omega^2}{2} + J_2 \frac{\omega^2}{2} + J_{M2} \frac{\omega^2}{2} + J_{i.o} \frac{\omega^2}{2}. \quad (2.20)$$



Şək. 2.9. Elektrik intiqalının ekvivalent birkütləli sistemi

(2.20) tənliyinin sol və sağ tərəflərini $\omega^2/2$ -yə bölsək:

$$J_{\Sigma} = J_M + J_{M1} + J_1 + J_2 \frac{\omega_{i.o}^2}{\omega^2} + J_{M2} \frac{\omega_{i.o}^2}{\omega^2} + J_{i.o} \frac{\omega_{i.o}^2}{\omega^2}$$

və ya (2.13) nəzərə alınmaqla müəyyən çevriməldən sonra:

$$J_{\Sigma} = J_M + J_{M1} + J_1 + \frac{J_2 + J_{M2} + J_{i.o}}{i_0^2}. \quad (2.21)$$

Bir çox praktiki hesablamalarda muftanın J_{M1} və dişli çarxın J_1 ətalət momentləri $k_{\text{öy}} = 1,05 \div 1,3$ əmsalı ilə nəzərə alınır, özü də əmsalın böyük qiyməti kiçik gücə malik elektrik intiqallarına aid edilir. Bu halda:

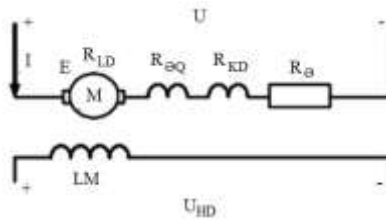
$$J_{\Sigma} = k_{\text{öy}} \cdot J_M + \frac{J_2 + J_{M2} + J_{i.o}}{i_0^2}. \quad (2.22)$$

Çoxpilləli reduktorlarda aralıq təkərlərin və dişli çarxların ətalət momentləri bir qayda olaraq nəzərə alınmır.

3. SABİT CƏRƏYAN MÜHƏRRİKLİ ELEKTRİK İNTİQALI

3.1. Qoşulma sxemi və sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin statik xarakteristikaları

Lövbərin dolaqları və sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin həyəcanlanması şəkil 3.1-də göstərildiyi kimi müxtəlif gərginlik mənbələrindən yazılır.



Şək. 3.1. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin qoşulma sxemi

Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin göstərilən sxemində R_{EQ} aktiv müqavimətli əlavə qütblər və R_{KD} aktiv müqavimətli kompensə dolağı mövcuddur. Sabit cərəyan mühərriklərini kommutasiya proseslərinin yaxşılaşması məqsədi ilə əlavə qütblərlə hazırlayırlar. Sabit cərəyan maşınlarında kompensə dolaqları lövbər reaksiyasının eninə toplananını kompensə edir.

Şəkil 3.1-də qəbul edilmiş əlavə işarələr:

M – mühərrik lövbərinin dolağı;

HD – həyəcanlanma dolağı;

U – lövbər dolağının gərginliyi, V;

I – lövbər dolağının cərəyanı, A;

E – lövbər dolağının EHQ-si, V;

R_{LD} – lövbər dolağının aktiv müqaviməti, Om;

R_{Θ} – lövbər dolağı dövrəsinin əlavə müqaviməti, Ωm ;

U_{HD} – həyəcanlanma dolağının gərginliyi, V .

Sabit cərəyan mühərrikinin statik xarakteristikaları tənliklərinin çıxarılmasını aşağıdakı şərtlər daxilində apararaq:

- lövbər fırçaları hermetik neytral üzərində yerləşir, bu səbəbdən lövbərin eninə reaksiyasını nəzərə almırıq və həyəcanlanma dolağı tərəfindən yaradılmış seli sabit qəbul edirik;

- diyircəkli mexanizmlərdə, fırça-kollektor düyünündə və ventilyasiya zamanı itkilər nəzərə alınmır, yəni mühərrikin valında momenti elektromaqnit momentinə bərabər götürürük.

Elektrik mühərrikinin lövbər dövrəsi üçün Kirxhofun ikinci qanununu əsasında bərabərlik yazırıq:

$$U = E + I \cdot R_{LD}, \quad (3.1)$$

burada, $R_{LD} = R_{\text{HM}} + R_{\text{M}}$ – lövbər dolağı dövrəsinin tam müqaviməti; $R_{\text{HM}} = R_{LD} + R_{\Theta Q} + R_{KD}$ – lövbər dolağının, əlavə qütblərin və kompensə dolağının müqavimətləri cəminə bərabərdir.

Lövbər dolağının EHQ-sini Maksvel tənliklərinə uyğun tapmaq olar:

$$E = k \cdot \Phi \cdot \omega, \quad (3.2)$$

burada, Φ – həyəcanlanma dolağı tərəfindən yaradılan maqnit seli, Vb ; ω – mühərrikin bucaq sürəti, rad/san ; $k = z_p \cdot N / (2 \cdot \pi \cdot a)$ – sabit cərəyan mühərrikinin konstruktiv əmsalı; z_p – mühərrikin cüt qütblərinin sayı; N – lövbər dolağı sarğılarının sayı; a – lövbər dolağının paralel budaqlarının sayıdır.

(3.2) ifadəsi (3.1)-də nəzərə alınsa və alınan tənlik ω bucaq sürətinə nəzərən həll olunsa sabit cərəyan mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikasının tənliyini yaza bilərik:

$$\omega = (U/k \cdot \Phi) - I \cdot (R_{LD}/k \cdot \Phi). \quad (3.3)$$

(3.3)-ə uyğun olaraq ω bucaq sürətinin mühərrikin I lövbər cərəyanından asılılığına sabit cərəyan mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikası deyilir.

Mühərrikin elektromaqnit momenti Faradey tənliyindən tapılır:

$$M = k \cdot \Phi \cdot I. \quad (3.4)$$

Решим это равенство относительно тока якоря двигателя I и подставим его в (3.3), получим уравнение механической характеристики двигателя постоянного тока:

$$\omega = (U/k \cdot \Phi) - M/[R_{LD}/(k \cdot \Phi)^2]. \quad (3.5)$$

Sabit cərəyan mühərrikinin mexaniki xarakteristikası onun ω bucaq sürətinin mühərrikin M momentindən asılılığı sayılır.

Sabit cərəyan mühərriklərinin təbii və süni mexaniki xarakteristikaları mövcuddur.

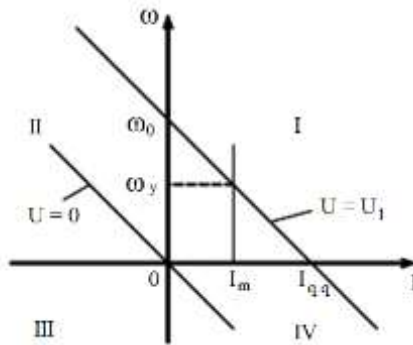
Sabit cərəyan mühərriklərinin təbii mexaniki xarakteristikası mühərrikin ω bucaq sürətinin onun mühərrikin qoşulmasının nominal sxemi, lövbər və həyəcanlanma dolaqlarının gərginliyinin nominal parametrləri üzrə alınmış və mühərrikin dövrlərində əlavə müqavimətlərin olmadığı zaman M momentindən asılılığı sayılır. Bütün digər xarakteristikalar süni sayılır. Süni xarakteristikaların köməyi ilə mühərrikin sürətinin nizamlanması həyata keçirilir. (3.3) və (3.5) ifadələrindən görünür ki, sərbəst həyəcanlı sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin nizamlanmasını üç əsas üsulla həyata keçirmək olar:

- mühərrikin lövbər dolağı dövrəsində R_{θ} aktiv əlavə müqavimətin dəyişməsi yolu ilə;

- lövbər dolağına gətirilmiş U gərginliyinin dəyişilməsi yolu ilə;

- mühərrikin Φ həyəcanlanma selinin, həmçinin bu parametrlərin müxtəlif kombinasiyalarının dəyişilməsi yolu ilə;

(3.3) və (3.5) ifadələri R , U , Φ parametrlərinin dəyişmədiyi zaman düz xətt tənlikləri olacaqdır. Misal olaraq şəkil 2.2-də sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin dörd kvadrantda qurulmuş elektromexaniki xarakteristikaları verilmişdir.



Şək. 3.2. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikaları

Deyildiyi kimi, birinci kvadrantda sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan elektrik maşını elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirərək mühərrik rejimində işləyir. İşin mühərrik rejimi iki xarakterik nöqtə ilə məhdudlanır:

1. Nöqtənin birinci koordinatı lövbərin cərəyanı sıfır olduqda təyin olunur, ikinci koordinat isə (3.3) ifadəsində $I = 0$ nəzərə alındıqda müəyyənləşir. Mühərrikin lövbərin sıfır cərəyanına uyğun gələn sürəti ideal yüksüz rejim sürəti adlanır:

$$\omega_0 = U / k \cdot \Phi. \quad (3.6)$$

İdeal yüksüz iş rejimində mühərrik lövbər dolağı dövrəsi ilə şəbəkədən qidalanmır.

2. İkinci nöqtənin birinci koordinatı mühərrikin sürətinin sıfır qiymətinə uyğun gəlir. (3.3)-də $\omega = 0$ nəzərə alıb, mühərrikin qısa qapanma lövbər cərəyanını alırıq:

$$I_{q,q} = U/R_{LD}. \quad (3.7)$$

Mühərrikin gücü sıfıra bərabər olur, belə ki, onun sürəti $\omega = 0$, şəbəkədən alınan bütün enerji isə mühərrikin lövbər dövrəsinin müqavimətlərinin qızmasına sərf olunur: $R_{LD} = R_{\Theta H} + R_M$.

Sərbəst həyəcanlı elektrik maşınının generator iş rejimi şəbəkə ilə paraleldir və ya rekuperativ tormozlanma maşının ω_0 fırlanma sürəti ideal yüksüz iş rejiminin sürətindən çox olur. Elektrik maşını ikinci kvadrantda işləyir. Bu zaman maşının EHQ-si E lövbər dolağının U gərginliyindən çox olur və (3.1) ifadəsinə uyğun olaraq lövbər cərəyanı mənfi qiymət alaraq işarəsini dəyişir:

$$I = (U - E)/R_{LD}. \quad (3.8)$$

Elektrik maşını generator kimi şəbəkəyə paralel olaraq işlədikdə icra mexanizminin işçi orqanından mexaniki enerji alır və bu enerjini elektrikə çevirir. Yadda saxlamaq lazımdır ki, lövbər dolağının gərginlik mənbəyi dövrəsinə qaytarılan elektrik enerjisi lövbərə paralel qoşulmuş yük tərəfindən istifadə olunmalıdır.

Elektrik maşınının dördüncü kvadrantda işlədiyi zaman əks qoşulma nəticəsində tormozlanma və ya şəbəkə ilə ardıcıl generator rejimində işləmə rejimi başlayır. Bu generator rejimində lövbər dolağını qidalandıran şəbəkəyə verilmir. Elektrik maşınının fırlanma sürəti mühərrik iş rejiminə əks dəyişir yəni, verilən qoşulma sxemində mənfi olur. İş rejimi

potensial enerjinin elektrik enerjisinə (mühərrikin valında aktiv yük) və ya kinetik enerjinin elektrik enerjisinə (lövbər dolağında gərginliyin polyarlığı əksinə dəyişdikdə mühərrikin tormozlanması) çevrilməsi zamanı yaranır. Bütün hallarda elektrik maşını lövbərinin EHQ-si lövbər dolağının gərginliyinin işarəsini alacaqdır. Lövbər dolağı üzrə axan cərəyan aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$I = [U - (-E)]/R_{LD} = (U + E)/R_{LD}. \quad (3.9)$$

Lövbər üzrə axan cərəyanın elektrik enerjisi mühərrikin lövbər dövrəsindəki $R_{LD} = R_{\Theta H} + R_M$ aktiv müqavimətlərdə istilik enerjisinə çevrilərək səpələnir. Əks qoşulmaqla tormozlanma rejimi energetik baxımından sərbəst həyəcanlanma elektrik maşınının ən əlverişsiz iş rejimidir.

Şəkil 3.2-də koordinat başlanğıcından keçən elektromexaniki xarakteristika verilmişdir. Elektrik maşınının belə iş rejimi lövbərin gərginlik mənbəyindən ayrılması zamanı ($U = 0$) baş verə bilər, lövbər cərəyanının axması üçün isə – əlavə müqavimət vasitəsi ilə qısa qapanma lazımdır. Bu halda sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan elektrik maşınının iş rejimi dinamik tormozlanma adlanır. Elektrik maşınının dinamik tormozlanma rejimində qoşulma sxemi şəkil 3.3-də təqdim olunur. Elektromexaniki xarakteristikanın tənliyi (3.3) ifadəsinə $U = 0$ lövbər gərginliyini daxil etdikdə alınır:

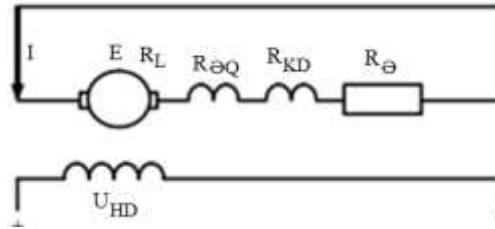
$$\omega = -I \cdot [R/(k \cdot \Phi)]. \quad (3.10)$$

Elektrik maşınının lövbərində cərəyan EHQ hesabına axır, $E = k \cdot \Phi \cdot \omega$:

$$I = E/R_{LD}. \quad (3.11)$$

İş rejimi potensial enerjinin elektrik enerjisinə (mühərrikin valında aktiv yük) və ya kinetik enerjinin elektrik

enerjisinə (lövbər dolağında gərginliyin polyarlığı əksinə dəyişdikdə mühərrikin tormozlanması) çevrilməsi zamanı yaranır. Lövbər üzrə axan cərəyanın elektrik enerjisi mühərrikin lövbər dövrəsindəki $R_{LD} = R_{\Theta H} + R_M$ aktiv müqavimətlərdə istilik enerjisinə çevrilərək səpələnir.



Şək. 3.3. Sərbəst həyəcanlı sabit cərəyan elektrik mühərrikinin dinamik tormozlanma rejimində qoşulma sxemi

3.2. Sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin statik və dinamik xarakteristikaları

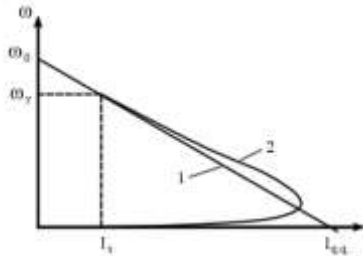
(3.3) və (3.5) bərabərlikləri sabit cərəyan mühərrikinin statik elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları adlanır belə ki, onlar elektrik intiqalını statikada təsvir edir yəni, mühərrikin koordinatlarının qiyməti qərarlaşmış iş rejimində alınır.

Elektromexaniki xarakteristikanın $U = U_1$ lövbər gərginliyində qurulmuş qrafikdən görünür ki, hərəkətsiz vəziyyətdən mühərrikin işə salınması zamanı onun cərəyanı $I_{q.q}$ qiymətindən yavaş-yavaş mühərrikin valında M_m müqavimət momentinə uyğun gələn I_s statik cərəyanla bərabərləşənə qədər azalacaqdır. Mühərrikin qərarlaşmış iş rejiminə ω_y sürəti uyğun gələcəkdir.

Statik elektromexaniki xarakteristika sürətin yalnız çox zəif dəyişməsi – məsələn, elektrik intiqalının böyük ətalət momenti zamanı mühərrikin işəsalma prosesini təsvir edir.

Əslində isə işəsalma zamanı sürətin dəyişməsi prosesi başqa, mühərrikin dinamik elektromexaniki xarakteristikası adlanan trayektoriya üzrə gedir. Mühərrikin işəsalma zamanı dinamik mexaniki xarakteristikanın təqribi görünüşü şəkil 3.4, 2asılılığında verilmişdir.

Sürətin və cərəyanın elektrik intiqalının işinin keçid rejiminin etni bir zaman anında ani qiymətləri arasındakı asılılıq elektrik intiqalının dinamik elektromexaniki xarakteristikası adlanır.



Şək. 3.4. Sərbəst həyəcanlı sabit cərəyan elektrik mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikası: 1 – statik; 2 – dinamik

Sərbəst həyəcanlı sabit cərəyan elektrik mühərrikinin dinamik elektromexaniki xarakteristikanın qrafikini aşağıdakı bərabərliklər sistemini birlikdə həll etməklə almaq olar:

$$\begin{aligned}
 U_L &= E + i \cdot (R_{M.ls} + R_\Theta) + L_M \frac{di}{dt}; \\
 E &= c \cdot \omega; \\
 M_M - M_m &= J_M (d\omega/dt); \\
 M_M &= c \cdot i,
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

burada, i – mühərrikin lövbər cərəyanının ani qiyməti, A; $c = k \cdot \Phi_N$ – EHQ və elektromaqnit momentinin mühərrikin

həyəcanlanması nominal seli zamanı əmsal; L_M – mühərrik lövbəri dolağının induktivliyidir, Hn.

3.3. Sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin parametrlərinin kataloq verilənləri ilə təyini

Kataloqlarda sabit cərəyan mühərriklərinə aşağıdakı texniki verilənlər göstərilir:

$P_{M.N}$ – mühərrikin nominal gücü, kVt;

$U_{M.N}$ – lövbər dolağının nominal gərginliyi, V;

$I_{M.N}$ – mühərrikin lövbər dolağının nominal cərəyanı, A;

R_{LD} – mühərrikin lövbər dolağının 15° C-də müqaviməti,

Om;

$R_{\Theta Q}$ – mühərrikin əlavə qütblərinin 15° C-də müqaviməti, Om;

R_{KD} – mühərrikin kompensə dolağının 15° C-də müqaviməti, Om;

L_M – mühərrikin lövbər dolağının induktivliyi, Hn;

$\eta_{M.N}$ – faydalı iş əmsalının nominal qiyməti, %;

$n_{M.N}$ – fırlanmanın nominal tezliyi, dövr/dəq;

J_L – lövbərin ətalət momenti, kq·m².

Kataloqlarda mühərrikin lazımi parametrləri verilmədikdə onları aşağıdakı düsturlarla təyin etmək olar:

Mühərrikin nominal cərəyanı

$$I_{M.N} = P_{M.N} / (\eta_{M.N} \cdot U_{M.N}). \quad (3.13)$$

Nominal bucaq sürəti

$$\omega_N = \pi \cdot n_{M.N} / 30. \quad (3.14)$$

Mühərrikin müqaviməti kataloqlarda 15° C temperaturda göstərilir. Qızmış halda işçi temperaturda mühərrikin müqaviməti:

$$R_{Q.M} = [1 + \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1)] \cdot (R_{LD} + R_{\Theta Q} + R_{KD}), \quad (3.15)$$

burada, $\alpha = 0,0039 \div 0,0041$ – misin temperatur əmsalı (adətən $\alpha = 0,004$ götürülür); θ_2 – maşın dolağının işçi temperaturu; θ_1 – müqavimətin kataloqlarda göstərildiyi temperatur.

$\theta_2 = 75^0 \text{ C}$ və $\theta_1 = 15^0 \text{ C}$ temperaturlarda və $\alpha = 0,004$ olduqda:

$$R_{Q.M} = 1,24 \cdot (R_{LD} + R_{\Theta Q} + R_{KD}). \quad (3.16)$$

Əgər kataloqlarda mühərrikin müqaviməti göstərilməyibsə, nominal yükdə mühərrikdəki bütün itkilərin yarısının lövbərdəki misdə baş verdiyini qəbul edərək, müqaviməti təxmini təyin edirlər. Belə təyin olunmuş müqavimət qızmış mühərrikə uyğun gəlir:

Определенное таким образом сопротивление соответствует нагретому двигателю

$$R_{Q.M} = (R_{LD} + R_{\Theta Q} + R_{KD}) = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{\eta_{M.N}}{100}\right) \cdot \frac{U_{M.N}}{I_{M.N}}. \quad (3.17)$$

Mühərrik lövbərinin dolaq dövrəsinin induktivliyi:

$$L_M = k_l \frac{U_{M.N}}{2 \cdot p \cdot n_{M.N} \cdot I_{M.N}}, \quad (3.18)$$

burada, p – mühərrikin cüt qütblərinin sayı; $k_l = 6 - 8$ kompensə olunmamış tez hərəkət edən maşınlar üçün; $k_l = 8 - 12$ normal kompensə olunmamış maşınlar üçün; $k_l = 5 - 6$ kompensə olunmuş maşınlar üçün.

Həyəcənlanmanın nominal selində EHQ və elektromaqnit momenti əmsalı:

$$c = (U_{M.N} - I_{M.N} \cdot R_{Q.M}) / \omega_N. \quad (3.19)$$

Mühərrikin nominal elektromaqnit momenti:

$$M_n = c \cdot I_{M.N}. \quad (3.20)$$

Valda mühərrikin nominal momenti:

$$M_{M.N} = 1000 \cdot P_{M.N} / \omega_N. \quad (3.21)$$

Məsələ 3.1. Aşağıdakı texniki göstəricilərə malik П-11Y4 tip sabit cərəyan mühərrikləri üçün statik elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları hesablamalı və qurmalı.

Mühərrikin əsas parametrləri:

- nominal güc $P_{M.N} = 0,3 \text{ kVt}$;
- nominal gərginlik $U_{M.N} = 220 \text{ V}$;
- mühərrikin nominal cərəyanı $I_{M.N} = 2,066 \text{ A}$;
- 15°C -də mühərrikin müqaviməti $R_M = 14,6 \text{ Om}$;
- fırlanmanın nominal tezliyi $n_{M.N} = 1500 \text{ dövr/dəq}$;
- mühərrikin induktivliyi $L_M = 0,248 \text{ Hn}$;
- mühərrik lövbərinin ətalət momenti $J_M = 0,0031 \text{ kq} \cdot \text{m}^2$;
- mühərrikin yolverilən cərəyanı $I_{Y.V} = 4 \cdot I_{M.N}$.

Həlli. Sərbəst həyəcanlı sabit cərəyan mühərrikinin elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları düz xətt tənliyi ilə təsvir olunduğundan, onların hesablanması və qurulması üçün istənilən iki nöqtənin təyin olunması kifayətdir. Bir qayda olaraq bu nöqtələrin koordinatları aşağıdakılardır: 1) lövbərin cərəyanı və elektromaqnit moment sıfır olduqda ideal yüksüz iş rejiminin ω_0 sürəti; 2) nominal $I_{M.N}$ cərəyanda və nominal M_N elektromaqnit momentində nominal ω_N bucaq sürəti.

Mühərrikin əlavə parametrlərini təyin edək:

- Nominal bucaq sürəti

$$\omega_N = \pi \cdot n_{M.N} / 30 = 3,1415 \cdot 1500 / 30 = 157,08 \text{ rad/san.}$$

- Mühərrik lövbərinin isti vəziyyətdə müqaviməti

$$R_{M.is} = 1,24 \cdot R_M = 1,24 \cdot 14,6 = 18,1 \text{ Om.}$$

• Həyəcənlanmanın nominal selində EHQ (V·san/rad) və elektromaqnit (N·m/A) momenti əmsalı

$$c = (U_{M.N} - I_{M.N} \cdot R_{M.is}) / \omega_N = (220 - 2,066 \cdot 18,1) / 157,08 = 1,162$$

- İdeal yüksüz iş rejimində bucaq sürəti

$$\omega_0 = U_{M.N} / c = 220 / 1,162 = 189,33 \text{ rad/san.}$$

- Mühərrikin nominal elektromaqnit momenti

$$M_N = c \cdot I_{M.N} = 1,162 \cdot 2,066 = 2,4 \text{ N}\cdot\text{m.}$$

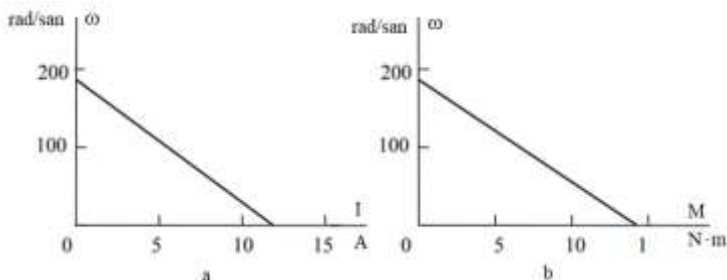
- İşəsalma və ya qısa qapanma cərəyanı

$$I_{q,q} = U_{M.N} / R_{M.is} = 220 / 18,1 = 12,15 \text{ A.}$$

Mühərrikin hesablanmış təbii statik elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları şəkil 3.5-də verilmişdir.

- Mühərrikin yolverilən cərəyanı

$$I_{Y.V} = 4 \cdot I_{M.N} = 4 \cdot 2,066 = 8,264 \text{ A.}$$



Şək. 3.5. Sərbəst həyəcanlı sabit cərəyan mühərrikinin statik xarakteristikaları: a – elektromexaniki, b – mexaniki

Nəticə. Mühərrikin təbii elektromexaniki xarakteristikası işəsalma cərəyanının yolverilən həddə məhdudlaşmasını təmin etmir. Nəticə olaraq mühərrikin şəbəkəyə birbaşa qoşulma ilə işə salınması – kollektorda qeyri-qənaətbəxş kommutasiya yaradır və kollektorun sıradan çıxmasına səbəb olur.

Məsələ 3.2. П-11У4 tip sabit cərəyan mühərriki üçün dinamik mexaniki xarakteristikanı hesablamalı və qurmalı. Mühərrikin əsas parametrləri məsələ3.1-də verilənlər kimidir.

Dinamik və mexaniki xarakteristikaları mühərrikin valında müqavimət momenti $M_m = 2 \text{ N}\cdot\text{m}$ olduqda qurmalı.

Həlli. Dinamikada sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərriki (3.12) tənliklər sistemi ilə təsvir olunur:

$$U_L = E + i \cdot (R_M + R_\Theta) + L_M \frac{di}{dt};$$

$$E = c \cdot \omega;$$

$$M_M - M_m = J_M(d\omega/dt);$$

$$M_M = c \cdot i.$$

Tənliklər sisteminə ədədi qiymətləri yazsaq:

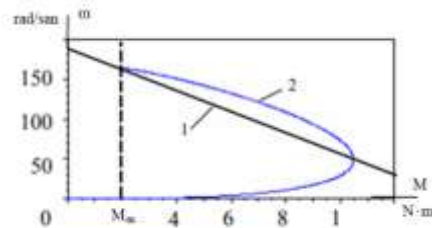
$$220 = E + i \cdot R_{M.\dot{i}s} + L_M \frac{di}{dt};$$

$$E = 1,162 \cdot \omega;$$

$$M_M - 2 = 0,0031(d\omega/dt);$$

$$M_M = 1,162 \cdot i. \quad (3.22)$$

Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin birbaşa şəbəkəyə qoşulma ilə MathCAD proqramında hesablanmış işəsalma dinamik mexaniki xarakteristikası şəkil 3.6-da verilmişdir.



Şək. 3.6. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin birbaşa şəbəkəyə qoşulma ilə statik 1 və dinamik 2 qrafikləri

Dinamik mexaniki xarakteristikanın qrafikinin analizi göstərir ki, işəsalma momentinin maksimal qiyməti:

$$M_{i.s.max} = 10,5 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Sərbəst həyəcanlanma mühərriki lövbərinin cərəyanı onun momentinə mütənasib olduğunu nəzərə alaraq, lövbərin maksimal dinamik işəsalma cərəyanını təyin edək:

$$I_{i.s.max} = M_{i.s.max}/c = 10,5/1,162 = 9,036 \text{ A}.$$

Maksimal işəsalma dinamik cərəyan mühərrik lövbərinin yolverilən cərəyanından kommutasiya şərtlərinə görə böyükdür $I_{Y.V} = 8,264$ A, lakin bu cərəyan qısa qapanma cərəyanından nəzərəcarpacaq dərəcədə kiçikdir: $I_{q,q} = 12,15$ A. Sərbəst həyəcanlanma mühərrikinin işəsalma dinamik cərəyanının qeyd edilmiş azaldılması xüsusiyyəti 200 Vt-a qədər gücə malik elektrik maşınlarının heç bir cərəyan məhdudiyyətləri qəbul edilmədən şəbəkəyə birbaşa qoşulması ilə işəsalınmasına imkan verir.

3.4. Sərbəst nəyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin nizamlanması. Ümumi müddəalar

Elektrik mühərrikinin sürətinin nizamlanması texnoloji prosesin tələblərindən asılı olaraq sürətin məcburi dəyişdirilməsi sayılır. Elektrik mühərrikinin sürətinin nizamlanmasının müxtəlif üsullarını xarakterizə edən əsas göstəricilər aşağıdakılardır:

- sürətin nizamlanma diapazonu;
- sürətin nizamlanma hamarlığı;
- sürətin nizamlanma xətası;
- sürətin nizamlanma istiqaməti;
- mühərrikin yolverilən yükü.

Elektrik intiqalının sürətinin nizamlanması diapazonu dedikdə elektrik intiqalının verilmiş diapazonda mühərrikin valında yükün dəyişməsi zamanı $\omega_{max.or}$ və $\omega_{min.or}$ orta sürətlərinin nisbəti nəzərdə tutulacaq:

$$D = \omega_{max.or} / \omega_{min.or}. \quad (3.23)$$

Elektrik intiqalının sürətinin nizamlanmasının hamarlığı sürətin iki qonşu ω_i və ω_{i-1} qiymətinin onun nominal qiymətinə nisbəti başa düşülür:

$$\varphi_h = (\omega_i - \omega_{i-1})/\omega_N. \quad (3.24)$$

Elektrik intiqalının sürətinin saxlanılması xətası elektrik intiqalının yükün sıfırdan nominala qədər dəyişməsi zamanı sürətinin çevrilməsinin nominal yükdə olan sürətə nisbəti başa düşülür:

$$\delta = (\omega_0 - \omega_{L,n})/\omega_{L,n}, \quad (3.25)$$

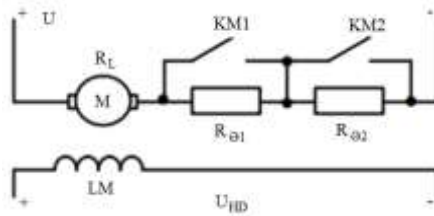
burada, ω_0 – ideal yüksüz iş rejimində sürət, rad/san; $\omega_{L,n}$ – nominal yükdə sürətdir.

Sürətin nizamlanma istiqaməti yəni, onun nominal sürətə nəzərən artması və ya azalması sürətin nizamlanma üsulundan asılıdır.

Mühərrikin yolverilən yükü nizamlanan xarakteristikada uzun müddət işləmək qabiliyyəti olan mühərrikin momentinin ən böyük qiyməti sayılır. Mühərrikin qızması ilə təyin olunur və sürətin nizamlanma üsulundan asılıdır.

3.5. Sərbəst nəyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin lövbər sarğısı dövrəsində rezistorların köməyi ilə nizamlanması

Sərbəst nəyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin lövbər dolağı dövrəsində müqavimətin dəyişdirilməsi yolu ilə sürətin nizamlanması zamanı güc dövrlərinin sxemi şəkil 3.7-də verilmişdir. Sxem M mühərrikin lövbər dolağı, iki ardıcıl qoşulmuş qapadıcı KM1 və KM2 kontaktları ilə şuntlanmış əlavə $R_{\Theta 1}$ və $R_{\Theta 2}$ müqavimətlərinə malikdir. Mühərrikin həyəcanlama dolağı LM ayrı U_{HD} gərginlik mənbəyindən qidalanır.



Şək. 3.7. Mühərrikinin lövbər dolağı dövrəsində müqavimətin dəyişdirilməsi yolu ilə sürətin nizamlanması zamanı güc dövrlərinin sxemi

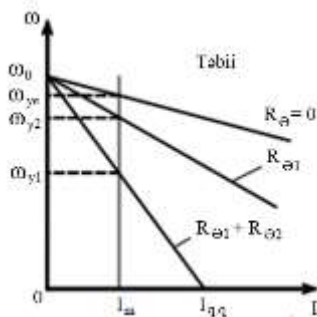
Mühərrikin sürətinin nizamlanması Φ_N nominal həyəcanlanma selində və lövbər dolağının U_N nominal gərginliyində həyata keçirilir. Deməli, mühərrikin elektromaqnit momenti lövbər cərəyanına mütənəsbdir və mexaniki və elektromexaniki xarakteristikalar şərti vahidlərdə üst-üstə düşəcəkdir. Bu səbəbdən süni xarakteristikaların analizini elektromexaniki xarakteristikalar misalında aparmaq lazımdır.

Süni elektromexaniki xarakteristikaların analizini təbii baza xarakteristikasına nəzərən həyata keçirilir (şəkil 3.8). Elektromexaniki xarakteristikanın tənliyi – düz xəttin tənliyi olduğunda onun analizi üçün iki nöqtənin vəziyyətini bilmək kifayət edir. Bu nöqtələr (3.3) tənliyinə aid olan istənilən nöqtələr ola bilər.

$$\omega = U_N/k \cdot \Phi_N - I(R_{\Theta H} + R_M)/k \cdot \Phi_N,$$

əgər bu nöqtələr koordinat oqları üzərində yerləşərsə, analiz daha sadə şəkildə aparılır.

Lövbər dolağının $I = 0$ cərəyanında mühərrik ideal yüksüz iş rejimi sürəti ilə fırlanır: $\omega_0 = U_N/k \cdot \Phi_N$.



Şək. 3.8. Sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin reostat xarakteristikaları

İdeal yüksüz iş rejimi sürəti lövbər dövrəsinin müqavimətindən asılı deyil və sürətin nizamlanması üçün baxılan üsulda sabit qalacaqdır. Deməli, sərbəst həyəcanlanma mühərrikinin bütün süni elektromexaniki xarakteristikalar ordinat oxuna koordinatları $I = 0$; $\omega = \omega_0$ olan eyni bir nöqtədən çıxır.

Sürət $\omega = 0$ olduqda mühərrikin lövbər dolağında qısa qapanma cərəyanı axır: $I_{q,q} = U/(R_{\Theta H} + R_M)$. Qısa qapanma cərəyanı lövbər dolağı dövrəsinin müqavimətinə əks mütənəsbdir və bu müqavimətin artması ilə azalır. Bu xassədən lövbər cərəyanının sərbəst həyəcanlı mühərriklərinin işəsalma zamanı sıçrayışlarının məhdudlaşdırılması üçün rele-kontakt idarəetmə sxemlərində istifadə olunur. Reostat elektromexaniki xarakteristikalar ailəsi şəkil 3.8-də göstərilmişdir.

Sürətin reostat nizamlanması bir qayda olaraq, pilləlidir və hamar nizamlanma yalnız mühərrikin lövbər dövrəsinə dəyişən reostat qoşulduqda kiçik gücə malik mühərriklərlə mümkündür. Sürətin nizamlanması yük altında aparılır. Sürət nizamlanmasının istiqaməti – təbii xarakteristikadan aşağıdır. Sürətin R_m yük altında qərarlaşmış ω_{yi} qiyməti lövbər dolağı dövrəsində əlavə müqavimətin artması ilə azalır.

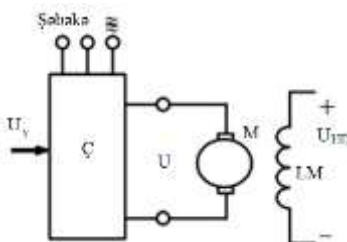
Nominal yükdə sürətin nizamlanma diapazonu: $D = 1:(3 \div 4)$.

Sürətin nizamlanma xətası lövbər dolağı dövrəsindəki əlavə müqavimətin artması ilə çıxalır.

Sürətin nizamlanması lövbər dolağı dövrəsindəki əlavə müqavimətlərdə güc itkiləri ilə müşayiət olunur.

3.6. Sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin lövbər sarğısı gərginliyinin dəyişməsi ilə nizamlanması

Sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin lövbər sarğısı gərginliyinin dəyişməsi ilə nizamlanması yalnız o zaman mümkün olur ki, lövbər dolağı ayrı bir Ç çeviricidən qidalansın (şəkil 3.9). Çevirici istənilən fiziki təbiətə malik ola bilər yəni, – elektromaşın, elektromaqnit, yarımkəçirici.



Şək. 3.9. Sürətin lövbər sarğısı gərginliyinin dəyişməsi ilə nizamlanması zamanı mühərrikin güc dövrələrinin sxemi

Mühərrikin LM həyəcanlanma dolağı sabit U_{HD} gərginlikli ayrı mənbədən qidalansın və nominal Φ_h seli yaradır.

Çeviricinin çıxışında gərginlik aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$U_{\text{Ç}} = E_{\text{Ç}} - I \cdot R_{\text{Ç}}, \quad (3.26)$$

burada, E_{ζ} – çeviricinin EHQ-si, V ; R_{ζ} – çeviricinin daxili cüqavimətidir, Ω m.

Mühərrikin lövbər dolağı çeviricinin çıxışına qoşulduğundan lövbər dolağında gərginlik çeviricinin çıxışındakı gərginliyə bərabər olacaqdır:

$$U = U_{\zeta}. \quad (3.27)$$

(3.27) ifadəsinin əsasında (3.26) və (3.1) tənliklərinin sağ tərəflərini (3.2) bərabərliyi və mühərrikin lövbər dolağı dövrəsində əlavə müqavimətin olmadığı nəzərə alınmaqla bərabərləşdiririk ($R_M = 0$):

$$E_{\zeta} - I \cdot R_{\zeta} = k \cdot \Phi \cdot \omega + I \cdot R_{\partial H}. \quad (3.28)$$

(3.28) tənliyi ω -ya görə həll edilərək, çevirici-mühərrik (ζ -M) sistemində işləyən, lövbər dolağı dövrəsindəki gərginliyin dəyişilməsi ilə idarə olunan sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikası alınır:

$$\omega = \frac{E_{\zeta}}{k \cdot \Phi_N} - I \frac{R_{\partial H} + R_{\zeta}}{k \cdot \Phi_N}. \quad (3.29)$$

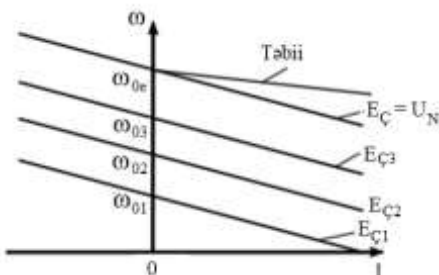
(3.4) tənliyini mühərrikin lövbər I cərəyanına görə həll edib (3.29)-da nəzərə alsaq, ζ -M sistemində işləyən, lövbər dolağı dövrəsindəki gərginliyin dəyişilməsi ilə idarə olunan sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin mexaniki xarakteristikasının tənliyini alırıq:

$$\omega = \frac{E_{\zeta}}{k \cdot \Phi_N} - M \frac{R_{\partial H} + R_{\zeta}}{(k \cdot \Phi_N)^2}. \quad (3.30)$$

(3.29) və (3.30) ifadələrinin analizi göstərir ki, ideal yüksüz iş rejimi $\omega_0 = E_C/k \cdot \Phi_N$ sürəti E_C çeviricisinin EHQ-sinə mütənasib olaraq dəyişir, xarakteristikaların sərtliyi isə təbii xarakteristikaya nəzərən azalır, belə ki, $(R_{\Theta H} + R_C)/k \cdot \Phi_N$ əmsalı I argumentində çeviricinin əlavə R_C müqaviməti hesabına artır.

Elektromexaniki və mexaniki xarakteristikalar şərti vahidlərdə üst-üstə düşür.

Baxılan nizamlanma üsulunda elektromexaniki xarakteristikalar şəkil 3.10-da verilmişdir.



Şək. 3.10. Lövbər sarğısı gərginliyinin dəyişməsi ilə idarə olunan sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikaları

Elektromexaniki xarakteristikalar bir-birinə paraleldir, çeviricinin böyük EHQ-sinə ideal yüksüz iş rejiminin böyük ω_{0i} sürəti uyğun gəlir.

Lövbər sarğısı gərginliyinin dəyişməsi ilə idarə olunan sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin nizamlanması hamardır və hamarlıq əmsalı $\varphi_h \rightarrow 1$.

Nizamlanmanın qapalı sistemlərində sürətin nizamlanma diapazonu $D = 1:10000$ və daha yüksəkdir.

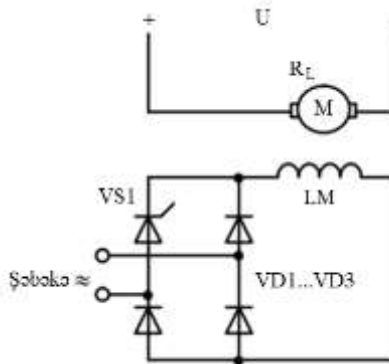
Sürət nizamlanmasının istiqaməti – təbii xarakteristikadan aşağıya doğrudur. Sürətin qərarlaşmış ω_{yi} qiyməti lövbər dolağı gərginliyinin azalması ilə kiçilir.

Sürətin nizamlanma xətası lövbər dolağı gərginliyinin azalması ilə artır və aşağı nizamlanma xarakteristikalarında şərti vahidlərlə $0,3 \div 0,4$ qiymətini ala bilər.

Sürətin nizamlanması tranzistor və tiristor güc çeviricilərli elektrik intiqallarında $0,9 \div 0,95$ qiymətini alan yüksək FİƏ ilə həyata keçirilir.

3.7. Sərbəst nəyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin həyəcanlanma selinin dəyişməsi ilə nizamlanması

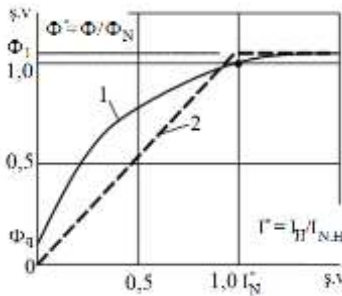
Sərbəst nəyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin həyəcanlanma selinin dəyişməsi ilə nizamlanması həyəcanlanma dolağının kiçik gücə malik dövrəsində həyata keçirilir ki, nəticədə idarəetmə aparatlarını yüngülləşir və ucuzlaşır. Elektrik intiqalının güc dövrələrinin sxemi şəkil 3.11-də verilir.



Şək. 3.11. Sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin həyəcanlanma selinin dəyişməsi ilə nizamlanması zamanı elektrik intiqalının güc dövrələrinin sxemi

M mühərrikinin lövbər dolağı ayri U gərginlik mənbəyindən qidalanır. Mühərrikin LM həyəcanlanma dolağı yarımidarə olunan VD1...VD3 diodlarından və VS1 tiristorundan ibarət düzləndiriciyə qoşulmuşdur. Həyəcanlanma dolağı gərginliyinin belə nizamlanma sxemi gücü 100 kVt-a qədər olan mühərriklər üçün tətbiq olunur.

Belə üsuldan istifadə etməklə sürətin nizamlanması həyəcanlanma selinin azaldılması ilə həyata keçirilir. Bu onunla bağlıdır ki, həyəcanlanma selinin artması həyəcanlanma dolağında gərginliyin nominal qiymətdən böyük olmasını tələb edir, bu isə öz növbəsində dolaq izolyasiyasının deşilməsinə səbəb ola bilər. Bundan əlavə, həyəcanlanma dolağının Φ_N nominal seli elektrik mühərrikinin maqnit dövrəsinin doyma selinə yaxındır (şəkil 3.12, 1 asılılığı).



Şək. 3.12. Sabit cərəyan mühərrikinin maqnitlənməsinin universal əyrisi

Şəkil 3.12-də aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

$\Phi^* = \Phi/\Phi_N$ – həyəcanlanma selinin nisbi qiyməti;

$I^* = I_H/I_{N.H}$ – həyəcanlanma cərəyanının nisbi qiyməti.

Nizamlanmanın verilmiş üsulunda həyəcanlanma seli nominala bərabər olmadığından, sərbəst həyəcanlanma mühərrikinin elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları hətta ölçüsüz vahidlərdə qurulmuş halda belə üst-üstə düşməyəcək.

Süni elektromexaniki xarakteristikaların analizini iki xarakterik nöqtə üzrə elektromexaniki təbii bazis xarakteristikalarına nəzərən aparaq. (3.6) ifadəsinə görə təyin olunan ideal yüksüz iş rejimi sürəti həyəcanlanma selinə tərs mütənasibdir:

$$\omega_0 = U/k \cdot \Phi \equiv 1/\Phi.$$

Beləliklə, həyəcanlanma selinin azalması ilə ideal yüksüz iş rejimi sürəti artacaqdır.

Sürət sıfıra bərabər olduqda qısa qapanma cərəyanı sabit qalır:

$$I_{q,q} = U/R_{\partial H}.$$

Deməli, absis oxu üzərində yerləşən bütün elektromexaniki xarakteristikalar bir nöqtədə $I_{q,q}$ kəsişir. Sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin həyəcanlanma selinin dəyişməsi ilə nizamlanması zamanı süni elektromexaniki xarakteristikalar şəkil 3.13a-da verilmişdir.

Mexaniki xarakteristikalar elektromexaniki xarakteristikalar kimi elə həmin ideal yüksüz iş rejimi sürətinə malik olur. Aşağıdakı ifadə ilə təyin olunan işəsalma momenti

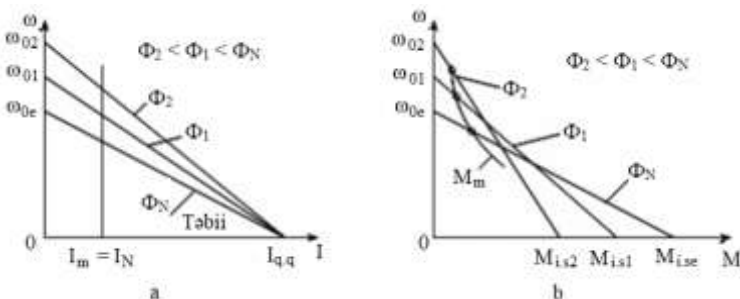
$$M_{i,s} = k \cdot \Phi \cdot I_{q,q},$$

həyəcanlanma seli azaldıqca kiçiləcək.

Süni mexaniki xarakteristikalar şəkil 3.13b-də göstərilir. Bu grafikdə həm də lövbər cərəyanının nominal qiymətində qərarlaşmış işin nöqtələri qeyd olunmuşdur.

Nizamlanma üsulu sabit güclə işləyən mexanizmlər üçün tətbiq olunur.

Sürətin nizamlanması hamardır, hamarlıq əmsalı: $\varphi_h \rightarrow 1$.



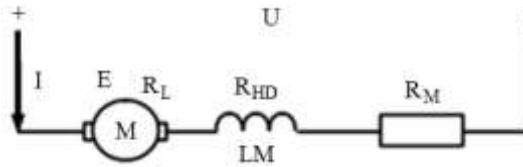
Şək. 3.13. Sürətinin həyəcanlanma selinin dəyişməsi ilə nizamlanması zamanı sərbəst həyəcanlanan sabit cərəyan mühərrikinin xarakteristikaları: a – elektromexaniki; b – mexaniki

Sürətin nizamlanma diapazonu adətən elə də böyük deyildir: $D = 1,3 \div 1$. Bu hər şeydən əvvəl elektrik maşınlarının balanslaşdırılmasının keyfiyyəti ilə əlaqədardır. Xüsusi təyinatlı lövbəri keyfiyyətli balanslaşdırılmış mühərriklər üçün nizamlanma diapazonu 10:1 qiymətinə qədər genişlənə bilər lakin, nizamlanma diapazonunun artması mühərrikin kollektorunda kommutasiyanın pisləşməsi ilə müşayiət olunur.

Sürətin nizamlanma istiqaməti – təbii xarakteristikadan yuxarı tərəfə olacaqdır. Sürətin qərarlaşmış ω_{yi} qiyməti həyəcanlanma dolağında gərginliyin azalması ilə artacaqdır. Sürətin (3.25) düsturundan təyin olunan nizamlanma xətası həyəcanlanma selinin azalması ilə kiçiləcəkdir. Sürətin nizamlanması yüksək $F\dot{I}\dot{\Theta}$ ilə aparılır, belə ki, sürətin nizamlanması zamanı enerji istifadəsi həyəcanlanma dolağında gərginliyin azalması hesabına azalır.

3.8. Ardıcıl həyəcanlanmış sabit cərəyan mühərrikinin qoşulma sxemi və statik xarakteristikaları

Ümumi halda ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin güc dövrəsinin sxemi şəkil 3.14-də verilmişdir.



Şək. 3.14. Ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin güc dövrəsinin sxemi

Şəkil 3.14-də istifadə olunan işarələr sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikləri üçün şəkil 3.1-də olduğu kimidir.

Ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikasının tənliyi sərbəst həyəcanlanma mühərriki üçün olduğu kimidir və aşağıdakı (3.3) ifadəsindən təyin olunur:

$$\omega = U/(k \cdot \Phi) - I \cdot [R_{LD}/k \cdot \Phi],$$

burada, $R_{LD} = R_{\Theta Q} + R_{HD} + R_M$ – lövbər dolağının, əlavə qütblərin, həyəcanlanma dolağının və əlavə müqavimətdən ibarət lövbər dolağı dövrəsinin müqavimətidir.

Mühərrikin valında yükün dəyişməsi zamanı bucaq sürəti həm lövbər dövrəsindəki müqavimətlərdə gərginliyin düşməsi və həm də Φ həyəcanlanma selinin artması hesabına dəyişəcəkdir. Ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikində həyəcanlanma dolağı lövbər dolağı ilə ardıcıl qoşulur. Bu səbəbdən lövbər dolağının cərəyanı eyni zamanda həm də həyəcanlanma dolağının cərəyanı olacaqdır. Həyəcanlanma selinin mühərrikin həyəcanlanma cərəyanından asılılığı şəkil 3.12, 1 asılılığında maqnitlənmənin universal əyrisi ilə təsvir edilmişdir. Maqnitlənmə əyrisi dəqiq analitik ifadəyə malik deyildir və hesablamalarda adətən düz xətt parçaları ilə approksimasiya olunur. Variant kimi şəkil 3.12-də maqnitlənmə əyrisi iki düz xətt parçası (2) ilə approksimasiya olunmuşdur:

$$0 < I < I_N \text{ olduqda, } \Phi = k_N \cdot I; \quad (3.31)$$

$$I > I_N \text{ olduqda, } \Phi = \Phi_1, \quad (3.32)$$

burada, k – maqnitlənmə əyrisinin cərəyan və seli arasındakı mütənasiblik əmsalı; Φ_1 – mühərrikin maqnitlənmə əyrisinin doyma selidir. (3.31) ifadəsini (3.3)-də nəzərə alsaq, ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikasının həyəcanlanma selinin lövbər cərəyanından xətti asılılığı zamanı tənliyini alarıq:

$$\omega = \frac{U}{k \cdot k_N \cdot I} - \frac{R_{LD}}{k \cdot k_N}. \quad (3.33)$$

(3.33) asılılığı hiperbolik xarakter daşıyır.

Mühərrikin lövbərinin nominal cərəyandan böyük cərəyanında və approksimasiya qanununda mühərrikin seli stabilləşir və Φ_1 -ə bərabər olur. Elektrik mühərrikinin işinin bu hissəsində onun elektromexaniki xarakteristikası aşağıdakı tənliklə təsvir olunur:

$$\omega = \frac{U}{k \cdot \Phi_1} - I \frac{R_{LD}}{k \cdot \Phi_1}. \quad (3.34)$$

(3.34) bərabərliyi – düz xəttin tənliyidir. Beləliklə, böyük yükdə mühərrikin bucaq sürəti ilə lövbər dolağının cərəyanı arasında asılılıq xəttidir.

Qəbul edilmiş approksimasiyada atdıqıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikasının qrafiki şəkil 3.15,a-da verilmişdir.

Sabit cərəyan mühərrikinin elektromaqnit momenti (3.4) asılılığı ilə təyin olunur:

$$M = k \cdot \Phi \cdot I.$$

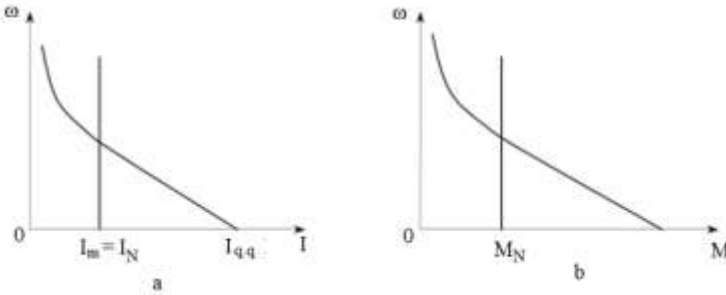
(3.4) ifadəsini sel üçün (3.31) tənliyində nəzərə alsaq və alınmış bərabərliyi lövbərin I cərəyanına görə həll etsək:

$$I = (M/k \cdot k_N)^{1/2}. \quad (3.35)$$

(3.35) və (3.33) ifadələrinin birlikdə həll edilməsi ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin mühərrikin valında kiçik yük olduğu zaman mexaniki xarakteristikasının tənliyini almağa imkan verir:

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{k \cdot k_N} \cdot \sqrt{M}} - \frac{R_{LD}}{k \cdot k_N}. \quad (3.36)$$

(3.36) asılılığı hiperbolik xarakter daşıyır.



Şək. 3.15. Ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin elektromexaniki (a) və mexaniki (b) xarakteristikaları

Selin Φ_1 səviyyəsində məhdudlandığı zaman böyük yük şərtində atdıclı həyəcanlanma mühərrikinin mexaniki xarakteristikası aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$\omega = \frac{U}{k \cdot \Phi_1} - M \frac{R_{LD}}{(k \cdot \Phi_1)^2}. \quad (3.37)$$

Qəbul edilmiş approksimasiyada ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin mexaniki xarakteristikasının qrafiki şəkil 3.15,b-də verilmişdir.

(3.33) və (3.36) ifadələrinin analizi göstərir ki, elektromexaniki və müxaniki xarakteristikalar kiçik yük zamanı hiperbolik xarakter daşırsalar da, hətta şərti vahidlərdə qurulduqda belə üst-üstə düşümlər.

Ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin elektromexaniki və mexaniki xarakteristikalarının xüsusiyyəti aşağıdakılardır:

- onlar kiçik yüklərdə qeyri-xəttidir və nominaldan böyük yüklərdə isə praktiki olaraq xəttiləşirlər;
- nəzəri olaraq ideal yüksüz iş rejimi sürətinə malik deyildirlər. Praktikada maqnitlənmənin $\Phi_{qal.}$ qalıq seli hesabına ideal yüksüz iş rejimi sürəti mövcuddur və belə təyin olunur:

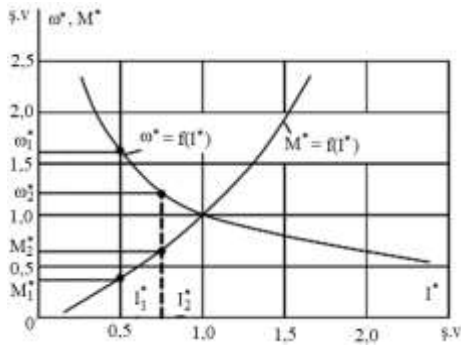
$$\omega = U/k \cdot \Phi_{qal.}, \quad (3.38)$$

lakin, bu sürət kifayət qədər böyükdür, bu səbəbdən ardıcıl həyəcanlanma mühərriklərini onların mərkəzəqaçma qüvvələrinin təsiri nəticəsində dağılmasının qarşısını almaq üçün yüksüz qoşmaq olmaz.

(3.33), (3.34) və (3.36), (3.37) bərabərlikləri ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin elektromexaniki və mexaniki xarakteristikalarını hesablamağa imkan vermir belə ki, mühərrikin konstruktiv k əmsalı və onun cərəyan və maqnitlənmə seli əyrisi arasında k_N mütənasiblik əmsalı haqqında informasiya yoxdur.

Əksər praktiki hallarda real təbii elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaların hesablanması üçün universal xarakteristikalar istifadə olunur. MP, DP və D tip gücü 10 kVt-a qədər olan ardıcıl həyəcanlanma mühərrikləri üçün universal xarakteristikalar şəkil 3.16-da göstərilmişdir. Bu xarakteristikalar sürət $\omega^* = \omega/\omega_N$ və momentin $M^* = M/M_N$ nisbi qiymətlərinin lövbər dolağı cərəyanının $I^* = I/I_N$ nisbi

qiymətindən asılılığını təyin edir burada, ω_N , M_N və I_N – uyğun olaraq sürət, moment və lövbər cərəyanının nominal qiymətləridir.



Şək. 3.16. MP, DP və D tip ardıcıl həyəcanlanma mühərrikləri üçün universal xarakteristikalar

Ardıcıl həyəcanlanma mühərriklərinin kataloq verilənlərində adətən aşağıdakı parametrlər göstərilir:

- P_N – mühərrikin nominal gücü, kVt;
- n_N – fırlanmanın nominal tezliyi, dövr/dəq;
- U_N – lövbər dolağının nominal gərginliyi, V;
- I_N – lövbərin nominal cərəyanı, A;
- η_N – nominal $F\dot{I}\Theta$, ş.v.

Ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin təbii elektromexaniki və mexaniki xarakteristikalarının hesablanma qaydası belədir:

- nominal bucaq sürəti təyin olunur

$$\omega_N = \pi n_N / 30;$$

- mühərrik valında nominal moment təyin olunur

$$M_N = P_N / \omega_N;$$

- cərəyanın ixtiyarı nisbi I_1^* qiyməti verilir və ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin universal xarakteristikaları qrafikində yerləşdirilir;

- I_1^* cərəyanına uyğun bucaq sürətinin ω_1^* və momentin M_1^* nisbi qiymətləri təyin olunur;

- cərəyan, sürət və momentin nisbi qiymətləri mütləq qiymətlərə köçürülür

$$I_1 = I_1^* \cdot I_N;$$

$$\omega_1 = \omega_1^* \cdot \omega_N;$$

$$M_1 = M_1^* \cdot M_N;$$

- elektromexaniki və mexaniki xarakteristikalar üçün şərti vahidlərdə sağ dekart koordinat sistemi qurulur;

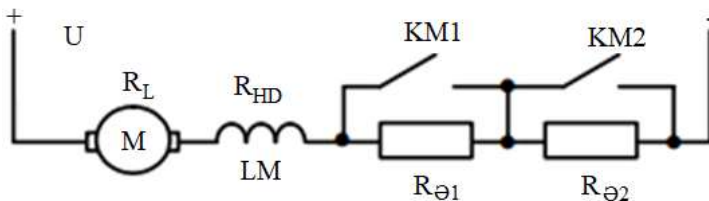
- cərəyan, sürət və momentin mütləq qiymətləri uyğun koordinat sistemində yerləşdirilir $\omega = f(I)$ və $\omega = f(M)$;

- cərəyanın digər I_2^* , I_j^* qiymətləri üçün də analogi hesablamalar aparılır;

- qeyd olunmuş nöqtələrin vasitəsi ilə ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin təbii elektromexaniki və mexaniki xarakteristikalar qurulur.

3.9. Ardıcıl həyəcanlanmış sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin lövbər sarğısı dövrəsindəki rezistorların köməyi ilə nizamlanması

Lövbər dolağı dövrəsinin müqavimətinin dəyişdirilməsi ilə sürətin nizamlanması zamanı ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin güc dövrələrinin sxemi şəkil 3.17-də verilmişdir. Sxemdə M mühərrikinin lövbərinin dolağı, LM həyəcanlanma dolağı və iki ardıcıl qoşulmuş, qapadıcı $KM1$ və $KM2$ kontaktlarla şuntlanan $R_{\Theta 1}$ və $R_{\Theta 2}$ əlavə müqavimətlər yer alır.



Şək. 3.17. Lövbər dolağı dövrəsinin müqavimətinin dəyişdirilməsi ilə sürətin nizamlanması zamanı mühərrikinin güc dövrələrinin sxemi

Ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikaları (3.33)

$$0 < I < I_N \text{ olduqda } \omega = \frac{U}{k \cdot k_N \cdot I} - \frac{R_{LD}}{k \cdot k_N},$$

və (3.34) bərabərlikləri ilə təsvir olunur:

$$I > I_N \text{ olduqda } \omega = \frac{U}{k \cdot \Phi_1} - I \frac{R_{LD}}{k \cdot \Phi_1}.$$

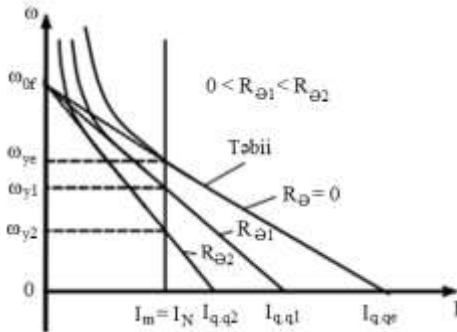
Beləliklə, süni elektromexaniki xarakteristikaları kiçik yüklərdə qeyri-xəttidir və ideal yüksüz iş rejimi sürətinə ω_0 malik deyildir. Böyük yüklərdə ($I > I_N$) süni xarakteristikalar sərbəst həyəcanlanma mühərriklərinin reostat xarakteristikalarına analojidir. Başqa sözlə desək, xarakteristikaların xətti hissəsi ordinat oxunda bir nöqtədə – ideal yüksüz iş rejiminin təbii elektromexaniki xarakteristikanın xətti hissəsinin davamının absis oxu ilə kəsişməsindən təyin olunan ω_{0f} fiktiv sürətində kəşifir.

Sürət $\omega = 0$ olduqda mühərrikin lövbər dolağından qısa qapanma cərəyanı axır: $I_{q,q} = U/(R_{\Theta H} + R_{\Theta})$. Qısa qapanma cərəyanı lövbər dolağı dövrəsinin toplam müqavimətinə əks

mütənasibdir və bu müqavimətin artması ilə azalır. Bu xassədən rele-kontaktor udarəetmə sxemlərində ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin işəsalma zamanı lövbər cərəyanının sıçrayışlarını məhdudlandırmaq üçün istifadə olunur.

Reostat elektromexaniki xarakteristikaların ailəsi şəkil 3.18-də verilir.

Sürətin reostat nizamlanması bir qayda olaraq pilləli və yalnız kiçik gücə malik mühərriklərlə alınır. Sürətin mühərrikin lövbər dövrəsinə dəyişən reostat qoşulmaqla hamar nizamlanması da mümkündür.



Şək. 3.18. Ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin reostat xarakteristikaları

Sürətin nizamlanma istiqaməti – təbii xarakteristikadan aşağıdır. Sürətin qərarlaşmış $\omega_{\gamma i}$ qiyməti lövbər dolağı dövrəsində əlavə müqavimətin artması ilə kiçilir.

Normal yük zamanı sürətin nizamlanma diapazonu: $D = 1:(3 \div 4)$.

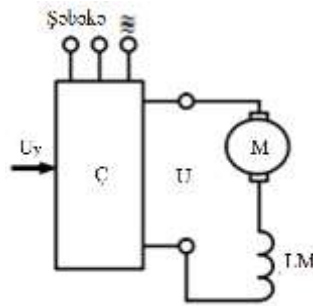
Sürətin nizamlanma xətası lövbər dolağı dövrəsində əlavə müqavimətin artması ilə böyüyür.

Sürətin nizamlanması lövbər dolağı dövrəsində əlavə müqavimətlərdə itkilərlə müşayiət olunur.

3.10. Ardıcıl həyəcanlanmış sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin gərginliyin dəyişməsi ilə nizamlanması

Ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin lövbər dolağı gərginliyinin dəyişməsi ilə nizamlanması mühərrikin ayrı Ç çeviricidən qidalanması zamanı aparılır (şəkil 3.19).

Çeviricinin çıxışında gərginlik idarəetmə $U_{i.e}$ gərginliyi vasitəsi ilə nizamlanır. Ardıcıl həyəcanlanma mühərriki birbaşa çeviricinin çıxışına qoşulduğundan, mühərrikdə gərginlik çeviricinin gərginliyinə bərabər olacaqdır.



Şək. 3.19. Gərginliyin dəyişməsi ilə sürətin nizamlanması zamanı ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin güc dövrələrinin sxemi

Ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikaları (3.33) və (3.34) bərabərlikləri ilə təsvir olunur:

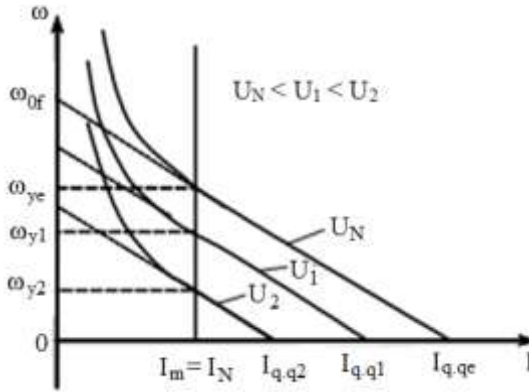
$$0 < I < I_N \text{ olduqda } \omega = \frac{U}{k \cdot k_N \cdot I} - \frac{R_{LD}}{k \cdot k_N},$$

$$I > I_N \text{ olduqda } \omega = \frac{U}{k \cdot \Phi_1} - I \frac{R_{LD}}{k \cdot \Phi_1}.$$

Beləliklə, süni elektromexaniki xarakteristikalar kiçik yüklərdə ($0 < I < I_N$) qeyri-xəttidir və ideal yüksüz iş rejimi sürətinə ω_0 malik deyildir. Böyük yüklərdə ($I > I_N$) süni xarakteristikalar lövbər dolağı gərginliyinin dəyişməsi zamanı sərbəst həyəcanlanma mühərrikinin süni xarakteristikalarına analojidir. Yəni, gərginliyin azalması zamanı mühərrikin sürəti dəyişir, onların xətti hissəsi isə təbii xarakteristikanın xətti hissəsinə paralel olaraq sürüşür.

Sürət $\omega = 0$ olduqda mühərrikin lövbər dolağından qısa qapanma cərəyanı axır: $I_{q,q} = U/(R_{\Theta H} + R_C)$. Mühərrikin qısa qapanma cərəyanı lövbər dolağı gərginliyinə mütənasibdir və bu gərginliyin azalması ilə kiçilir.

Ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin gərginliyin dəyişməsi ilə sürətin nizamlanması zamanı elektromexaniki xarakteristikaları ailəsi şəkil 3.20-də verilmişdir.



Şək. 3.20. Ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin gərginliyin dəyişməsi ilə sürətin nizamlanması zamanı elektromexaniki xarakteristikaları

Ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin nizamlanma göstəriciləri sərbəst həyəcanlanma mühərriklərinin

göstəricilərinə yaxındır lakin, sürətin nizamlanma diapazonu nəzərəcərpacaq dərəcədə kiçikdir və nadir hallarda, hətta avtomatik nizamlanmanın qapalı sistemlərində belə $D \leq 1 \div 100$ qiymətini aşır.

3.11. Ardıcıl həyəcanlanmış sabit cərəyan mühərrikinin fırlanma istiqamətinin dəyişməsi

Ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin qoşulmasının standart sxemi şəkil 3.21-də verilir.

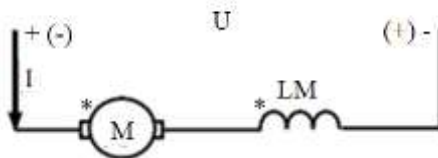


Рис. 3.21. Ardıcıl həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin qoşulmasının standart sxemi

Şəkil 3.21-də mötərizədə göstərildiyi kimi elektrik mühərrikində gərginliyin polyarlığını dəyişsək, mühərrikin fırlanma istiqamətinin dəyişməsi (revers) baş verməyəcək. Sabit cərəyan mühərrikinin elektromaqnit momenti (3.4) ifadəsinə uyğun təyin olunur:

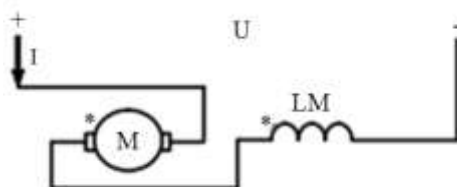
$$M = k \cdot \Phi \cdot I.$$

U gərginliyinin polyarlığı dəyişdikdə həm I lövbər və həm də həyəcanlanma dolağının cərəyanlarının istiqaməti dəyişir. Axırcının dəyişməsi LM həyəcanlanma dolağının yaratdığı Φ selinin istiqamətini dəyişir. Elektromaqnit momentinin işarəsi əvvəlki kimi qalır. Ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin bu xassəsi onu birfazlı dəyişən cərəyan dövrəsinə qoşmağa imkan verir, bu zaman mühərrikin fırlanma istiqaməti

həmişə eyni bir işarəyə malik olur. Ardıcıl həyəcanlanma mühərrikinin fırlanma hərəkətinin istiqamətini dəyişmək üçün onun elektromaqnit momentinin işarəsini dəyişmək lazımdır. Bu yalnız lövbər M dolağından keçən cərəyanın istiqamətini və ya yalnız LM həyəcanlanma dolağını dəyişməklə mümkündür:

$$-M = k \cdot \Phi \cdot (-I) = k(-\Phi) \cdot I.$$

Praktikada mühərrikin yenidən maqnitlənməsinin qarşısının alınması üçün adətən mühərrik lövbərinin dolağından axan cərəyanın istiqaməti dəyişilir. Revers zamanı mühərrikin qoşulma sxemi şəkil 3.22-də verilir. Şəkil 3.21 və şəkil 3.22-də ulduzlarla (*) sxemlərdə lövbər və həyəcanlanma dolaqlarının başlanğıcları göstərilmişdir.



Şək. 3.22. Revers zamanı mühərrikin qoşulma sxemi

Ardıcıl həyəcanlanma mühərriki birfazlı dəyişən cərəyan şəbəkəsinə qoşulan elektrik alətlərində uğurla tətbiq olunur: elektrik drelləri, elektrik rəndələri, elektrik mişarları.

3.12. Sabit cərəyan mühərrikli elektrik intiqallarında keçid prosesləri

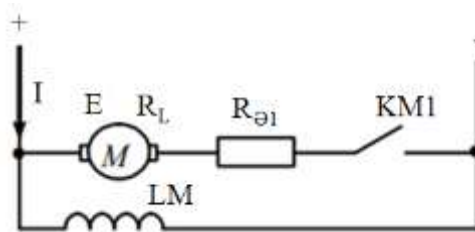
Elektrik intiqalının keçid iş rejimi dedikdə bir qərarlaşmış haldan digər qərarlaşmış hala keçid başa düşülür. Elektrik intiqalında keçid prosesləri məsələn, mühərrikin işəsalınma zamanı, reversdə, tormozlanmada yükün atılmasında,

mühərrikin parametrlərinin dəyişməsində yaranır. Keçid proseslərində qarşılıqlı asılı şəkildə mühərrikin sürəti, cərəyanı, momenti və EHQ-si dəyişir.

Mühərrikin dolaqlarından axan cərəyanlardan itkilər yaranır və lövbər və həyəcanlanma dolaqları qızır. Mühərrikin qızma prosesi adətən uzun çəkir, bu səbəbdən cərəyan və sürətin keçid proseslərinin tədqiqi zamanı mühərrikin aktiv müqavimətlərini sabit qəbul edərək istilik keçid prosesləri nəzərə alınmır.

Müasir elektrik intiqallarında gedən elektromexaniki və mexaniki keçid prosesləri müəyyən zaman müddətində baş verir və keçid rejimlərinin tədqiqində deyilənlər nəzərə alınmalıdır. Belə keçid proseslərinin hesablanması üçün bütün parametrlər elektrik maşınları üçün arayış verilənlərində yer almışdır, müasir proqram təminatı isə hesablamaları böyük zaman itkilərinə yol vermədən aparmağa imkan verir. Lakin, bütöv bir qrup rele-kontaktor idarəetməyə malik elektrik intiqalları mövcuddur ki, onlarda elektromaqnit keçid prosesləri çox kiçik zaman müddətində baş verir və bu proseslər də nəzərə alınmaya bilər.

Elektrik intiqalında elektromexaniki keçid proseslərini sabit cərəyan mühərrikinin şəkil 3.23-də göstərilmiş prinsiplial sxemində birbaşa işəsalma misalında nəzərdən keçirək.



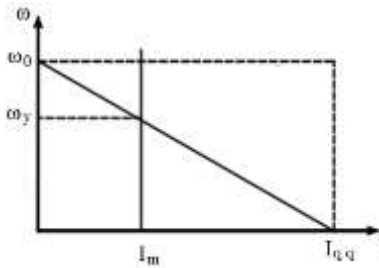
Şək. 3.23. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin birbaşa işəsalma prosesinin prinsiplial sxemi

Mühərrikin işə salınması həyəcanlanma dolağında keçid prosesləri başa çatdıqda, tam sel zamanı həyata keçirilir.

Mühərrikin işəsalma proseslərinin tədqiqi zamanı aşağıdakı şərtləri qəbul edək:

- mühərrikin yanaqları həndəsi neytralda yerləşir, bu səbəbdən lövbər reaksiyası mövcud deyil və deməli, həyəcanlanma seli sabitdir və nominala bərabərdir ($\Phi = \Phi_N$);
- lövbər dolağı dövrəsinin induktivliyi çox kiçikdir və onu nəzərə almamaq olar ($L_{LD} = 0$);
- elektrik intiqalında istilik keçid prosesləri başa çatıb və lövbər dövrəsinin müqavimətləri dəyişmir ($R_{LD} = \text{const}$);
- mühərrik sonsuz gücə malik gərginlik mənbəyindən qidalanır və deməli, lövbər dolağının gərginliyi sabitdir ($U = \text{const}$);
- mühərrikin valında müqavimət momenti dəyişməzdir ($M = \text{const}$).

Qəbul etdiyimiz şərtlər elektrik mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikasını onun işə salınması zamanı təsvir etməyə imkan verir (şəkil 3.24).



Şək. 3.24. Sərbəst həyəcanlanma mühərrikinin elektromexaniki xarakteristikası

Qəbul olunan şərtlər nəzərə alınmaqla Kirxhofun ikinci qaydasına uyğun olaraq lövbər dövrəsi üçün aşağıdakı bərabərlik yazıla bilər:

$$U = E + I \cdot R_{LD}, \quad (3.39)$$

burada, $R_{LD} = R_{\Theta H} + R_{\Theta}$ – lövbər dolağının, əlavə qütblərin, kompensə dolağının və ardıcıl əlavə müqavimətlərdən ibarət mühərrikin lövbər dolağı dövrəsinin tam müqavimətidir.

Lövbər dolağının EHQ-si (3.2) ifadəsinə uyğun olaraq təyin olunur:

$$E = k \cdot \Phi_N \cdot \omega.$$

Elektrik intiqalının mexaniki hissəsini hərəkət tənliyi (2.1) təsvir edir:

$$M - M_m = J \cdot (d\omega/dt).$$

Mühərrikin elektromaqnit momenti (3.4) ifadəsinə uyğun yerləşir:

$$M = k \cdot I \cdot \Phi_N.$$

Mühərrikin Φ seli sabit və nominala bərabər olduğundan, əvvəllər qəbul etdiyimiz işarəni daxil edək:

$$c = k \cdot \Phi_N. \quad (3.40)$$

(3.2) ifadəsində (3.39)-u (2.1) – (3.4) bərabərliklərində isə (3.40)-ı nəzərə alaraq belə yazı bilərik:

$$U = c \cdot \omega + I \cdot R_{LD}, \quad (3.41)$$

$$c \cdot I - M_m = J \cdot (d\omega/dt). \quad (3.42)$$

(3.42) bərabərliyini lövbər cərəyanına I görə həll edib, alınan ifadəni (3.41)-də nəzərə alsaq, müəyyən çevrilmələrdən sonra:

$$\frac{J \cdot R_{LD}}{c^2} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{U}{c} - M_m \frac{R_{LD}}{c^2}. \quad (3.43)$$

$M_m/c = I_m$ olduğundan (3.43) aşağıdakı şəkllə düşür:

$$\frac{J \cdot R_{LD}}{c^2} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{U}{c} - I_m \frac{R_{LD}}{c}. \quad (3.44)$$

Belə bir əvəzləmə qəbul edək: $\omega_y = \frac{U}{c} - I_m \frac{R_{LD}}{c}$ – elektrik intiqalının sürətinin qərarlaşmış qiyməti (şəkil 3.24);

$$T_M = J \cdot R_{LD} / c^2 \quad (3.45)$$

– elektromexaniki zaman sabitidir.

Elektromexaniki zaman T_M sabiti dedikdə, J ətalət momentinə malik elektrik intiqalının qısa qapanma cərəyanının qiymətinə bərabər lövbər cərəyanının dəyişməz qaldığında sükunət halından ideal yüksüz iş rejimi ω_0 sürətinə qədər sürətləndiyi zaman müddəti başa düşüləcəkdir. Elektromexaniki zaman sabiti tərifinə uyğun olaraq, elektrik intiqalı statik elektromexaniki xarakteristikalarda punktirlə işarələnən trayektoriya üzrə sürətlənəcəkdir.

Qəbul edilmiş işarələmələri nəzərə almaqla mühərrikin işəsalma keçid prosesini təsvir edən differensial tənlik belə yazılacaq:

$$T_M \cdot (d\omega/dt) + \omega = \omega_y. \quad (3.46)$$

(3.46) differensial tənliyinin həlli belə yazıla bilər:

$$\omega = A_0 + A_1 \cdot e^{p \cdot t}, \quad (3.47)$$

burada, A_0 və A_1 – integrallama sabitləri, p – xarakterik (3.46) tənliyinin köküdür.

(3.46) ifadəsinin xarakteristik tənliyi belədir:

$$T_M \cdot p + l = 0. \quad (3.48)$$

(3.48)-dən tapırıq:

$$p = -l/T_M. \quad (3.49)$$

(3.49) ifadəsi (3.47)-də nəzərə alınsa:

$$\omega = A_0 + A_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}, \quad (3.50)$$

A_0 və A_1 integrallama sabitlərinin qiymətlərini başlanğıc şərtlərdən tapılır:

Bucaq sürətinin $t = \infty$ üçün qiyməti qərarlaşmış ω_y qiymətinə bərabər olacaqdır. (3.50)-də $t = \infty$ nəzərə alınsa:

$$\omega_y = A_0 + A_1 \cdot e^{-\frac{\infty}{T_M}} = A_0,$$

yəni:

$$\omega_y = A_0. \quad (3.51)$$

Ümumi halda bucaq sürətinin $t = 0$ olduqda başlanğıc qiyməti $\omega_{baş}$ (xüsusi halda $\omega_{baş} = 0$) olacaq. A_0 kəmiyyəti (3.50)-də nəzərə alınsa:

$$\omega_{baş} = \omega_y + A_1 \cdot e^{-\frac{0}{T_M}} = \omega_y + A_1,$$

və ya:

$$A_1 = \omega_{baş} - \omega_y. \quad (3.52)$$

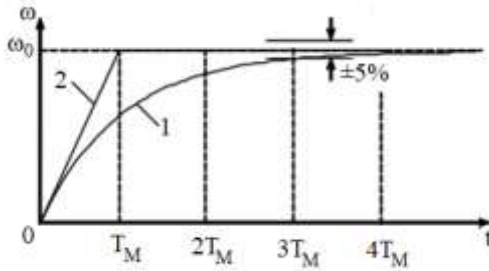
(3.50)-də integrallama sabitlərinin (3.51) və (3.52) tənliklərində təyin edilmiş qiymətlərini yazsaq, ümumi halda aşağıdakı bərabərliyi alarıq:

$$\omega = \omega_y + (\omega_{baş} - \omega_y)e^{-\frac{t}{T_M}}. \quad (3.53)$$

Xüsusi halda, yəni yüksüz rejimdə mühərrikin işə salınması hərəkətsiz haldan ($\omega_{baş} = 0$) ideal yüksüz iş rejimi ω_0 sürətinə qədər olan zamanda baş verirsə keçid prosesi aşağıdakı tənliklə təyin olunur:

$$\omega = \omega_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_M}}\right). \quad (3.54)$$

Keçid prosesinin (3.53) üzrə hesablanmış qrafiki şəkil 3.25-də göstərilir.



Şək. 3.25. Sərbəst həyəcanlı sabit cərəyan mühərrikinin işəsalma keçid prosesinin $\omega = f(t)$ qrafiki

(3.54) üzrə hesablanmış keçid prosesi nəzəri olaraq sonsuz böyük zaman müddətində başa çatır, lakin elektrik intiqalında keçid prosesi qrafikin 5%-li zonasına keçdikdə qurtarmış sayılır. Baxılan anda proses $t = 3 \cdot T_M$ zamanı baş verəcək. Əgər mühərrikin işə salınması lövbərin qısa qapanma

$I_{q,q}$ cərəyanına bərabər dəyişməz cərəyanında baş verərsə, mühərrikin sürəti 2 sınıq xəttə uyğun olaraq dəyişəcəkdir. Sınıq 2 xəttin başlanğıc sahəsi 1 eksponensial əyriyə toxunan olacaqdır. Bu xassədən elektromexaniki T_M zaman sabitinin eksperimental təyini, mühərrikin işəsalma keçid proseslərinin ossilloqramlarının çıxarılması zamanı istifadə olunur.

(3.41) bərabərliyini zamana görə differensiallayıb $d\omega/dt$ -yə nəzərən həll etsək, alırıq:

$$d\omega/dt = -(R_{LD}/c) \cdot (dI/dt). \quad (3.55)$$

(3.54) ifadəsini (3.42)-də nəzərə alınsa və müəyyən çevrilmələr aparılsa:

$$[(I \cdot R_{LD})/c^2] \cdot (dI/dt) + I = I_m \quad (3.56)$$

və ya (3.45) nəzərə alınmaqla:

$$T_M(dI/dt) + I = I_m. \quad (3.57)$$

(3.57) tənliyinin həlli ümumi halda aşağıdakı şəkildə axtarılır:

$$I = A_0 + A_1 \cdot e^{p \cdot t}, \quad (3.58)$$

burada, $p = -1/T_M$, A_0 və A_1 başlanğıc şərtlər I lövbər cərəyanı üçün təyin olunur.

Lövbər cərəyanının $t = \infty$ üçün qiyməti qərarlaşmış I_m qiymətinə bərabər olur. (3.50)-də $t = \infty$ nəzərə alınsa:

$$I_m = A_0 + A_1 \cdot e^{-\frac{\infty}{T_M}} = A_0,$$

$$\text{yəni, } I_m = A_0. \quad (3.59)$$

Lövbər cərəyanının $t = 0$ üçün başlanğıc qiyməti $I_{baş}$ olur və ümumi halda aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$I_{baş} = (U - R)/R_{LD}, \quad (3.60)$$

xüsusi halda, mühərrikin EHQ-si sıfıra bərabər olduqda $I_{baş} = I_{q.q}$. Belə olan halda (3.58)-də $t = 0$ nəzərə alınsa:

$$I_{baş} = I_y + A_1 \cdot e^{-\frac{0}{T_M}} = I_y + A_1,$$

və ya:

$$A_1 = I_{baş} - I_y.$$

(3.58) ifadəsində A_0 və A_1 integrallama sabitlərinin qiymətini nəzərə alsaq:

$$I = I_y + (I_{baş} - I_y) \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}. \quad (3.61)$$

Mühərriki tərpənməz haldan yüksüz işə salınması zamanı yəni, $I_{baş} = I_{q.q}$, və $I_y = 0$ olduqda mühərrik lövbəri cərəyanının keçid prosesi belə təsvir olunacaq:

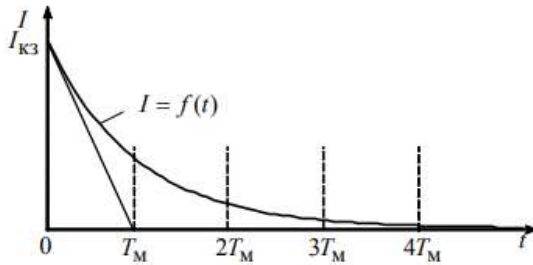
$$I = I_{q.q} \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}. \quad (3.62)$$

(3.62) ifadəsi əsasında qurulan asılılıqlar şəkil 3.26-da verilmişdir.

Qəbul edilmiş şərtlərdə cərəyanın keçid prosesi eksponensial asılılıqla təyin olunur və sürətin keçid prosesinin başa çatdığı an qurtarır.

Aldığımız analitik (3.53) və (3.61) bərabərlikləri elektrik intiqalının parametrlərinin müxtəlif keçid proseslərinin xarakter və şəklinə təsirini analiz etməyə imkan verir. Məsələn, elektrik

intiqalının J ətalət momentinin böyüməsi elektromexaniki T_M zaman sabitinin artmasına və deməli, keçid prosesinin uzanmasına gətirir – yəni, proses daha böyük zaman müddətində başa çatır. Göstərə bilərik ki, mühərrikin valında yükün böyüməsi keçid prosesinin müddətinə təsir etmir lakin, sürət və cərəyanın qərarlaşmış qiymətləri statik elektromexaniki xarakteristikalara uyğun olaraq fərqli olacaqdır.



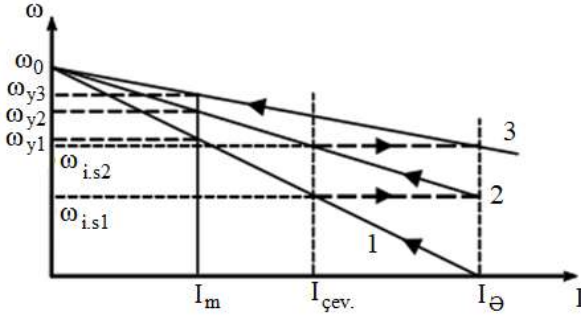
Şək. 3.26. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin işə salınması zamanı keçid prosesinin $I = f(t)$ qrafiki

(3.53) və (3.61) ifadələri hesablama və işəsalma, revers, mühərrikin tormozlanmanması və həmçinin, valda yükün dəyişməsi zamanı keçid proseslərinin analizi üçün istifadə oluna bilər. Bu ifadələrə görə hesablama zamanı hər bir konkret halda elektrik intiqalının başlanğıc və qərarlaşmış koordinatlarını – $\omega_{baş}$, ω_y , $I_{baş}$, I_y və T_M zaman sabitini təyin etməliyik.

Məsələ 3.3. Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərriki üçün statik elektromexaniki iki pilləli reostat işəsalma xarakteristikalarını qurmalı. Sürət və cərəyanın keçid proseslərinin hesablınması üçün işəsalmanın hər bir sahəsi üçün

- təbii xarakteristika 3 qurulur (təbii elektromexaniki xarakteristikanın hesablanması qaydası məsələ 3.1-də baxılmışdır);

Elektrik intiqalının mühərrikinin iki pilləli işəsalma zamanı elektromexaniki xarakteristikaları şəkil 3.28-də verilir.



Şək. 3.28. Mühərrikin iki pilləli reostat işəsalma zamanı elektromexaniki xarakteristikaları

- birinci elektromexaniki işəsalma 1 xarakteristikası qurulur. 1 xarakteristikası iki nöqtədən keçir: lövbər cərəyanı sıfır olduqda (ω_0 , $I = 0$) ideal yüksüz iş rejimi sürəti və sürətin sıfıra bərabər olduğu ($\omega = 0$) yolverilən $I_{y.v}$ cərəyan. Yolverilən $I_{y.v}$ cərəyanının qiyməti adətən, kommutasiya şərtinin ödənilməsindən təyin olunur:

$$I_{\theta} = \lambda_I \cdot I_N, \quad (3.63)$$

burada, λ_I – mühərrikin cərəyanına görə yüklənmə qabiliyyətidir;

- aşağıdakı ifadə ilə təsvir olunan $I_{\text{çev}}$ çevirmə cərəyanı təyin olunur:

$$I_{\text{çev}} = (1,1 \div 1,2) \cdot I_N; \quad (3.64)$$

- ($I_{\text{çev}}$, $\omega_{i.s1}$) koordinatlara malik nöqtədə birinci işəsalma müqavimətinin $R_{\Theta 1}$ qısa qapanması baş verir (KM1 kontaktı qapanır) və mühərrik işəsalma 2 xarakteristikasına keçir. Beləliklə, 2 xarakteristikası iki nöqtədən keçir: lövbərin cərəyanının sıfıra bərabər olduğu ($I = 0$) zaman ideal yüksüz iş rejimi ω_0 sürəti və sürətin $\omega_{i.s1}$ qiymətində yolverilən $I_{y.v}$ cərəyanı.

İkinci işəsalma $R_{\Theta 2}$ müqavimətinin də qısa qapadılmasını $I_{\text{çev}}$ çevirmə cərəyanında həyata keçirmək lazımdır. Mühərrikin təbii xarakteristikaya keçidi zamanı cərəyan sıçrayışı $I_{y.v}$ yolverilən cərəyanı bərabər olmalıdır. Əgər bu baş vermirsə, $I_{\text{çev}}$ çevrilmə cərəyanını uyğun olaraq çoxaldıb və ya azaldaraq dəyişmək tələb olunur, lakin çevirmə cərəyanı $1,1 \cdot I_N$ qiymətindən kiçik olarsa işəsalma müqavimətlərinin sayını artırmaq lazım gəlir. İşəsalma statik xarakteristikaların son qrafiki şəkil 3.28-də göstəriləndiyi kimi olmalıdır, bu halda işəsalma pillələrinin sayının verilmiş qiymətində keçid prosesi elektromexaniki xarakteristikaların başqa variantları ilə müqayisədə kiçik zaman müddətində baş verəcək.

Mühərrikin işəsalma zamanı iki pilləli işəsalma müqavimətlərini qrafik-analitik yolla təyin etmək olar:

$$R_{i.s2} = \frac{U_N - c \cdot \omega_{i.s1}}{I_{\Theta}} - R_{\Theta H} \quad (3.65)$$

və

$$R_{i.s2} = \frac{U_N}{I_{\Theta}} - R_{\Theta H} - R_{i.s2}, \quad (3.66)$$

burada, $\omega_{i.s1}$ – elektromexaniki xarakteristikalar qrafikindən götürülür.

Birinci işəsalma xarakteristikası üçün keçid proseslərinin hesablanması tənlikləri belə olacaqdır:

sürət üçün:
$$\omega = \omega_{y1} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{M1}}}\right), \quad (3.67)$$

cərəyan üçün:
$$I = I_m + (I_\Theta - I_m)e^{-\frac{t}{T_{M1}}}. \quad (3.68)$$

elektromexaniki zaman sabiti üçün:
$$T_{M1} = \frac{J(R_{\Theta H} + R_{i.s1} + R_{i.s2})}{c^2}.$$

Mühərrikin işəsalma zamanı sürət və cərəyanın keçid prosesləri birinci işəsalma xarakteristikaya görə koordinatları ω_{y1} , I_m olan qərarlaşan iş nöqtəsinə düşməyə çalışırlar lakin, $\omega_{i.s1}$ sürəti əldə edildikdən sonra birinci işəsalma $R_{i.s1}$ müqavimətinin qısa qapanması baş verir və mühərrik ikinci işəsalma 2 xarakteristikasına keçir.

Mühərrikin ikinci işəsalma xarakteristikasına görə keçid işəsalma proseslərinin hesablanması üçün tənlik belə yazılır:

sürət üçün:
$$\omega = \omega_{y2} + (\omega_{i.s1} - \omega_{y2})e^{-\frac{t}{T_{M2}}}, \quad (3.69)$$

cərəyan üçün:
$$I = I_m + (I_\Theta - I_m)e^{-\frac{t}{T_{M2}}}. \quad (3.70)$$

elektromexaniki zaman sabiti üçün:
$$T_{M2} = \frac{J(R_{\Theta H} + R_{i.s2})}{c^2}.$$

İkinci işəsalma xarakteristikaya görə mühərrikin işəsalma zamanı sürət və cərəyanın keçid prosesləri koordinatları ω_{y2} , I_m olan qərarlaşmış iş nöqtəsinə düşməyə çalışır, lakin $\omega_{i.s2}$ sürəti əldə edildikdə ikinci işəsalma $R_{i.s2}$ müqavimətinin qısa qapanması baş verir və mühərrik təbii 3 xarakteristikasına keçir.

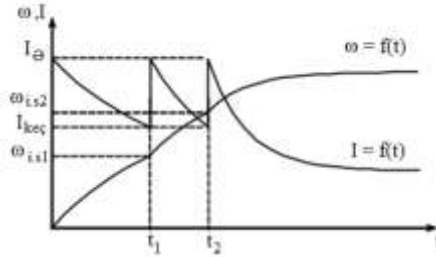
Təbii xarakteristika üzrə mühərrikin işəsalma keçid proseslərinin hesablanması üçün tənliklər belədir:

sürət üçün:
$$\omega = \omega_{y3} + (\omega_{i.s2} - \omega_{y3})e^{-\frac{t}{T_{M3}}}, \quad (3.71)$$

cərəyan üçün:
$$I = I_m + (I_\Theta - I_m)e^{-\frac{t}{T_{M3}}}. \quad (3.72)$$

elektromexaniki zaman sabiti üçün: $T_{M3} = \frac{JR_{\partial H}}{c^2}$.

(3.67) – (3.72) ifadələrindən sürət $\omega_{\text{baş}}$, ω_y və cərəyan $I_{\text{baş}}$, I_y parametrlərinin ədədi qiymətləri üçün keçid proseslərinin qrafikləri qurulur (şəkil 3.29): $\omega = f(t)$ və $I = f(t)$.



Şək. 3.29. Sabit cərəyan mühərrikinin iki pilləli işəsalma zamanı sürət və cərəyanın keçid proseslərinin qrafikləri

Qrafiklərin (şək. 3.29) analizi göstərir ki, bir pillədən digərinə keçərkən mühərrikin sürətlənməsi zamanı elektrik intiqalının elektromexaniki zaman T_M sabiti azalır, keçid prosesləri isə sürətlə baş verir.

3.13. Sabit cərəyan mühərrikli rele-kontakt elektrik intiqallarında idarəetmənin avtomatlaşdırılması prinsipləri

Mühərrikin işəsalma prosesinin avtomatlaşdırılması elektrik intiqallarının idarə olunmasını nəzərəcarpacaq dərəcədə yüngülləşdirir, mühərrikin işəsalma zamanı mümkün olan səhvlərin qarşısını alır və mexanizmlərin məhsuldarlığının artmasına gətirir.

Şəkil 3.29-da sürət və cərəyanın sərbəst həyəcanlı sabit cərəyan mühərrikinin iki pilləli işəsalma zamanı qrafikləri verilmişdir.

Bu qrafiklərin analizi göstərir ki, işəsalma müqavimətlərinin avtomatik ayrılması zamanın müəyyən anlarında, müəyyən sürətlərdə ($\omega_{i.s1}$ və $\omega_{i.s2}$) və cərəyanın $I_{\text{çev}}$ qiymətində aparılmalıdır. Aydındır ki, mühərrikin işəsalmasının idarə olunması zaman, sürət və cərəyan prinsipləri əsasında həyata keçirilə bilər.

Zaman prinsipi elektrik sxemində verilmiş t_1 və t_2 anlarında işəsalma $R_{\Theta 1}$ və $R_{\Theta 2}$ müqavimətlərini qısa qapadan siqnalları formalaşdıran, zamanı kontrol edən aparatların mövcudluğunu nəzərdə tutur.

Sürət və cərəyan prinsipləri elektrik intiqalının elektrik sxemi uyğun olaraq mühərrikin sürət və cərəyanını avtomatik olaraq kontrol etməsini nəzərdə tutur və dəyişənlərin verilmiş qiymətlərində siqnalları işəsalma müqavimətlərinə qısa qapatmaqla formalaşdırır. Bu üç prinsipdən əlavə praktikada yola, gücə, əməliyyatların hesabı prinsipinə görə idarəetmə də geniş yayılmışdır.

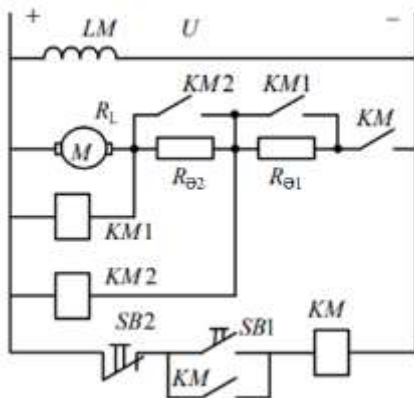
Rele-kontaktor elektrik intiqallarında zaman, sürət və cərəyanın ən geniş yayılmış vericiləri uyğun rele və ya kontaktorlardır. Belə ki, ən geniş yayılmış zaman vericisi zaman relesidir, cərəyan vericisi qismində əksər hallarda dolağı birbaşa olaraq mühərrikin lövbər dövrəsinə qoşulmuş cərəyan relesi istifadə olunur. Elektrik intiqallarının idarəetmə rele-kontaktor sxemlərində mühərrikin EHQ-si mühərrikin sabit selində fırlanma sürətinə mütənasib ($E = c \cdot \omega$) olan lövbər dolağı sürət vericisi rolunda çıxış edir. Mühərrikin EHQ-sini kontrol edən aparatlar isə güc kontaktorlarıdır.

3.13.1. Sabit cərəyan mühərrikinin işə salınmasının sürət prinsipinə görə idarə olunması

Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin sürət prinsipinə görə işəsalma sxemi şəkil 3.30-da təqdim olunmuşdur.

Sxem belə işləyir. Mühərrikin güc dövrələrinin sxeminə gərginlik verildikdən sonra LM həyəcanlanma dolağı qidalanır. İşəsalma mühərrikin Φ_N tam selində baş verir.

SB1 düyməsi basıldıqda KM kontaktorunun dolağı qidalanır, kontaktor işə düşür və özünü bloklayır yəni, SB1 düyməsinə paralel olaraq KM köməkçi kontaktı qapanır. Bundan əlavə mühərrikin lövbər dolağı dövrəsində KM güc kontaktı qapanır. Mühərrik tamamilə lövbər dövrəsinə daxil edilmiş $R_{\Theta 1}$ və $R_{\Theta 2}$ işəsalma müqavimətləri ilə birinci işəsalma xarakteristikası (şəkil 3.28) üzrə sürətlənməyə başlayır.



Şək. 3.30. Sabit cərəyan mühərrikinin sürət prinsipinə görə idarə olunmaqla rezistor işəsalma sxemi

Mühərrikin sürətlənməsi ilə lövbər dolağının EHQ-si də artır və uyğun olaraq KM1 və KM2 kontaktorlarında gərginlik böyüyür. Mühərrik $\omega_{i.s1}$ sürətini aldıqda KM1 kontaktorunda EHQ-nin qiyməti onun işə düşməsi üçün kifayət $U_{i.d.KM1} = c \cdot \omega_{i.s1} + I_{\text{çev}} \cdot R_{\Theta H}$ edir və KM1 kontaktoru öz lövbərini dartır. KM1 kontaktı, şuntlayıcı $R_{\Theta 1}$ rezistoru qapanır və mühərrik ikinci işəsalma 2 xarakteristikasına keçir. Sürət $\omega_{i.s2}$ olduqda KM2 kontaktorunda $U_{i.d.KM2} = c \cdot \omega_{i.s2} + I_{\text{çev}} \cdot (R_{\Theta H} + R_{\Theta 1})$ bərabər olan

gərginlik onun işə düşməsi üçün kifayət edir. KM2 kontaktoru öz lövbərini dartır, KM2 kontaktı, $R_{\Sigma 2}$ şuntlayıcı rezistoru qapanır və mühərrik təbii 3 xarakteristikasına keçir və bu xarakteristikada qərarlaşmış I_m yükü ilə təyin olunan ω_{y3} sürətinə qədər sürətlənir.

Elektrik intiqalının saxlanması üçün SB2 “Stop” düyməsi basılmalıdır. KM kontaktoru qidalanmanı itirəcək və lövbər dolağını U gərginliyindən ayıracaq. Elektrik mühərrikinin tormozlanması qaçışla yəni, mühərrikin diyircəkli mexanizmlərində, istehsal mexanizminin kinematikasında, mühərrikdəki ventilyasiyada olan itkilərlə baş verir. Sürət $\omega = f(t)$ və cərəyanın $I = f(t)$ keçid proseslərinin mühərrikin işəsalma zamanı qrafikləri şəkil 3.29-da verilmişdir.

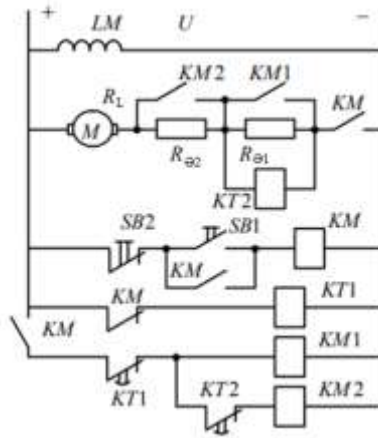
Baxılan sxemin çatışmazlıqları özünü yükün $I_{\text{çev}}$ qiymətindən böyük qiymətə qədər artması zamanı mühərrikin işəsalma xarakteristikasında ilişib qalması nəticəsində işəsalma rezistorlarının yanması, sarğıların soyuq və qızmış vəziyyətində kontaktorların qeyri-dəqiq işə düşməsi, həmçinin işəsalma şəbəkənin gərginliyinin təsadüfi artmasının lövbər cərəyanının çoxalmasına gətirməsində göstərir.

3.13.2. Sabit cərəyan mühərrikinin işə salınmasının zaman prinsipinə görə idarə olunması

Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin zaman prinsipi əsasında işəsalma sxemi şəkil 3.31-də verilmişdir.

Güc dövrələrinin sxeminə gərginliyin verilməsindən sonra mühərrikin LM həyəcanlanma dolağı qidalanır. İşəsalma mühərrikin Φ_N tam selində baş verir. KM kontaktorunun açan kontaktı vasitəsi ilə KT1 zaman relesinin dolağı qidalanır. KT1 relesi qoşularaq özünün açıcı KT1 kontaktı ilə KM1 və KM2 kontaktorlarının qidalanma dövrəsini parçalayır. Artıq sxem mühərrikin işə salınmasına hazırdır.

SB1 düyməsinin basılması zamanı KM kontaktorunun dolağı qidalanır, kontaktor işə düşür, özünü bloklayır və KM1 və KM2 kontaktorlarının qidalanma dövrəsində özünün KM köməkçi kontaktını qapayır lakin, onlar qidalanma dövrəsi KT1 zaman relesi açıcı kontaktı vasitəsi ilə parçalandığından qoşulmurlar. Mühərrikin lövbər dolağı dövrəsində KM güc kontaktı qapanır. Mühərrik lövbər dövrəsinə tamamilə daxil edilmiş işəsalma $R_{\Theta 1}$ və $R_{\Theta 2}$ müqavimətlərə malik birinci işəsalma xarakteristikası (şəkil 3.28) üzrə sürətlənməyə başlayır.



Şək. 3.31. Sabit cərəyan mühərrikinin zaman prinsipinə görə idarə olunan rezistor işəsalma sxemi

$R_{\Theta 1}$ rezistorunda gərginliyin düşməsi nəticəsində KT2 zaman relesi işə düşür və KT2 kontaktorunun qidlanma dövrəsində özünün KT2 kontaktını açır. Bundan əlavə KM açıcı kontakt KT1 zaman relesi qidalanma dövrəsini açır və rele, mühərrikin birinci işəsalma xarakteristikası üzrə sürətlənmə zamanının hesablanmasına başlayır (şəkil 3.29). KT1 zaman relesinin açıcı kontaktı t_1 zamanı keçdikdən sonra qapanır. KM1 kontaktorunun sarğacı qidalanır və özünün qapadıcı KM1 kontaktı ilə birinci işəsalma $R_{\Theta 1}$ müqavimətini şuntlayır.

Mühərrik ikinci işəsalma xarakteristikata 2 keçir (şəkil 3.28). KT2 zaman relesi qidalanmanı itirir və özünün açıcı KT2 kontaktı ilə ikinci işəsalma xarakteristikası üzrə mühərrikin sürətlənmə zaman müddətinin hesablanmasına başlayır. Bu zaman müddəti keçdikdən sonra t_2 anında (şəkil 3.29) KT2 açıcı kontakt qapanır. KM2 kontaktorunun dolağı qidalanır, KM2 kontaktı, $R_{\Sigma 2}$ rezistoru qapanır, mühərrik təbii 3 xarakteristikasına keçir və bu xarakteristika üzrə I_m yükü ilə təyin olunan qərarlaşmış ω_{y3} sürətinə qədər sürətlənir.

Elektrik intiqalının dayandırılması üçün SB2 “Stop” düyməsi basılır. KM kontaktoru qidalanmanı itirir və lövbər dolağını U gərginliyindən ayırır. Elektrik mühərrikinin tormozlanması qaçışla baş verir. Sürət $\omega = f(t)$ və cərəyanın $I = f(t)$ keçid proseslərinin mühərrikin zaman funksiyasında işəsalma qrafikləri şəkil 3.29-da verilir.

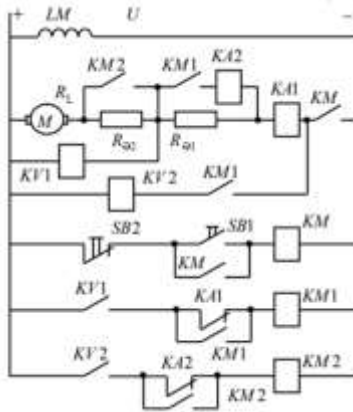
Zaman funksiyasında mühərrikin işə salınmasını həyata keçirən idarəetmə sxeminin üstünlüyü mühərrikin işəsalma xarakteristikalarında ilişib qalmasının olmamasıdır. İş zamanı sadəlik və etibarlıq eyni tipli zaman relelərinin tətbiq imkanları kimi zaman funksiyasında idarə olunan elektrik intiqallarının geniş istifadəsinə gətirmişdir.

3.13.3. Sabit cərəyan mühərrikinin işə salınmasının cərəyan prinsipinə görə idarə olunması

Sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikinin cərəyan prinsipinə görə işəsalma sxemi şəkil 3.32-də təqdim olunmuşdur. Sxem belə işləyir. Güc dövrələri sxeminə gərginlik verildikdən sonra mühərrikin LM həyəcanlanma dolağı qidalanır. İşəsalma mühərrikin tam Φ_N selində baş verir. Sxem mühərrikin işə salınmasına hazırdır.

SB1 düyməsi basıldıqda KM kontaktorunun dolağı qidalanır, kontaktor işə düşür, özünü bloklayır və mühərrikin lövbər dövrəsində KM güc kontaktını qapayır.

Mühərrik, lövbər dövrəsinə tamamilə daxil edilmiş işəsalma $R_{\Theta 1}$ və $R_{\Theta 2}$ müqavimətlərli birinci işəsalma xarakteristikası üzrə (şəkil 3.28) sürətlənməyə başlayır.



Şək. 3.32. Cərəyan prinsipinə görə idarə olunan sabit cərəyan mühərrikinin rezistor işə salınması

İşəsalma cərəyanının sıçrayışından özünün KA1 açıcı kontaktını qapayan KA1 cərəyan reləsi qoşulur. Müəyyən gecikmə ilə KV1 köməkçi gərginlik reləsi işə düşür. KV1 reləsi özünün KM1 kontaktoru dövrəsindəki KV1 kontaktını sönməyə hazırlamaqla qapayır. Mühərrikin sürətlənməsi ilə onun cərəyanı kiçilir və $I_{\text{çev}}$ qiymətini aldıqda KA1 cərəyan reləsi öz lövbərini buraxır. Açıcı KA1 kontaktı qapanır və KM1 kontaktoru qidalanır, qoşularaq mühərrikin lövbər dövrəsindəki özünün güc kontaktını birinci işəsalma $R_{\Theta 1}$ müqavimətini şuntlayaraq qapayır və özünü bloklayır. Mühərrik ikinci işəsalma xarakteristikasına keçir.

Yenidən lövbər cərəyanının I_{Θ} qiymətini alana qədər sıçrayışı baş verir (şəkil 3.28). KA1 və KA2 cərəyan relələri qoşulur və özlərinin açıcı kontaktlarını açırlar. KA1 cərəyan reləsinin təkrar qoşulması KM1 kontaktorunun ayrılmasını

yaratmır belə ki, qidalanmanı özünün qapayıcı KM1 kontaktından alır. KV2 köməkçi rele KM2 kontaktorunun qidalanma dövrəsini hazırlayaraq işə düşür.

Mühərrikin 2 xarakteristikası üzrə sürətlənməsi ilə onun cərəyanı kiçilir və $I_{\text{çev}}$ qiymətini aldıqda KA2 cərəyan relesi öz lövbərini buraxır. Özünün güc kontaktını mühərrik lövbərinin güc dövrəsində ikinci işəsalma R_{02} müqavimətini şuntlayaraq qapayan KM2 kontaktoru qidalanmağa başlayır və özünü bloklayır. Mühərrik təbii xarakteristikaya keçir və bu xarakteristika üzrə sürətin I_m yükü tərəfindən təyin olunan ω_{y3} qararlaşmış qiymətinə qədər sürətlənir.

Elektrik intiqalının dayandırılması üçün SB2 “Stop” düyməsi basılır. KM kontaktoru qidalanmanı itirir və lövbər dolağını U gərginliyindən ayırır. Elektrik mühərrikinin tormozlanması qaçıqla baş verir. Sürət $\omega = f(t)$ və cərəyanın $I = f(t)$ keçid proseslərinin mühərrikin zaman funksiyasında işəsalma qrafikləri şəkil 3.29-da verilir.

Cərəyan funksiyasında idarəetmə prinsipinə əsaslanan sxemlər bir əsaslı çatışmazlığa malik olur. Əgər hər hansı bir səbəbdən mühərrikin valında yük artarsa, lövbər cərəyanı da $I_{\text{çev}}$ qiymətindən böyük olacaq və işəsalma rezistorları söndürülməmiş qalacaq, deməli onların yanma ehtimalı artacaq. Bundan əlavə, elə mühərrikin sürət funksiyasında mühərrikin işəsalma sxeminin xassələrinə malik olmaqla cərəyan funksiyasında mühərrikin işəsalma sxemi köməkçi gərginlik və cərəyan releləri hesabına bir qədər mürəkkəbdir.

4. ÇEVİRİCİ-SABİT CƏRƏYAN MÜHƏRRİKİ SİSTEMLƏRİ

4.1. Ümumi müddəalar

Sabit cərəyan mənbəyinin sürətinin lövbər dolağı dövrəsində gərginliyi dəyişməklə nizamlanması üçün müxtəlif fiziki təbiətə malik nizamlanan çeviricilər istifadə olunur:

- generator-mühərrik (G-M) sistemi üzrə hazırlanmış elektromaşın;
- tiristor çeviricisi-mühərrik (TÇ-M) sistemi üzrə hazırlanmış dəyişən gərginliyi nizamlanan sabit gərginliyə çevirən tiristor çeviricili yarımkəçirici;
- eninə impulsu çevirici-mühərrik (EİÇ-M) sistemi üzrə hazırlanmış tranzistor gərginlik nizamlayıcılı yarımkəçirici.

4.2. Generator-mühərrik sistemi

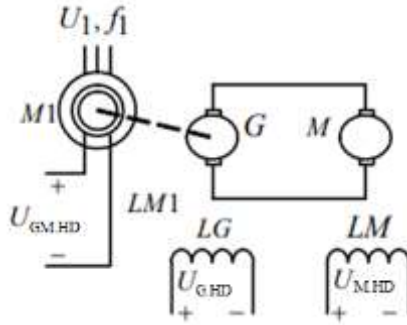
G-M sabit cərəyan sistemi həm mənəvi və həm texniki olaraq köhnəlmişdir, XX əsrin 80-ci illərindən yeni işləmələrdə istifadə olunmur lakin, böyük gücə malik qurğularda məsələn, prokat stanlarının elektrik intiqallarında, ekskavatorlarda hələ də istismar olunur.

G-M sisteminin güc dövrlərinin sxemi şəkil 4.1-də verilmişdir.

G-M sistemində M mühərrik ayrı G generatordan lövbər dolağı dövrəsi üzrə qidalanır. G generator sinxron M1 və ya asinxron mühərriklə fırlanır. İntiqal mühərriki qismində sinxron mühərrik tətbiq olunduğu zaman intiqal bir qayda olaraq qabaqlayıcı $\cos\phi$ ilə işləyir ki, bu da müəssisənin reaktiv gücünü kompensə etməyə imkan verir.

G-M sistemində işəsalma, revers və tormozlanma proseslərinin idarə olunması lövbərin güc dövrəsindən elektrik

maşınlarının az gücə malik həyəcanlanma dolaqları dövrəsinə köçürülür.



Şək. 4.1. Generator-mühərrik sisteminin güc dövrlərinin sxemi

LG generatorun həyəcanlanma dolağına gətirilən gərginliyin nizamlayaraq, onun EHQ-sini dəyişmək olar:

$$E_G = k_G \cdot \Phi_G \cdot \omega_G, \quad (4.1)$$

burada, k_G – sabit cərəyan generatorunun konstruksiya əmsalıdır.

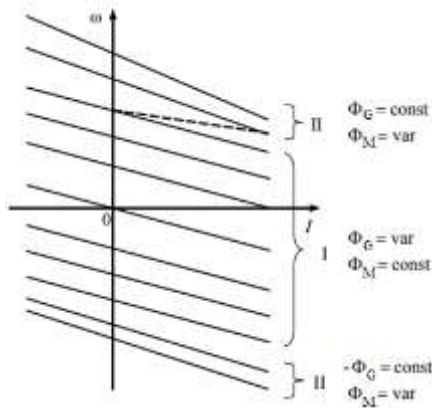
(4.1)-dən görünür ki, G generatorun sabit fırlanma sürətində onun EHQ-si generatorun həyəcanlanma dolağına gətirilən $U_{G,HD}$ gərginliyinin dəyişməsi ilə nizamlanan Φ_G həyəcanlanma seli ilə təyin olunacaqdır.

G-M sistemində işləyən sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərrikli elektrik intiqalının elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları (3.29) və (3.30) ifadələri ilə təyin olunur:

$$\omega = \frac{E_G}{k \cdot \Phi_M} - I \frac{R_{\Theta H} + R_G}{k \cdot \Phi_M}.$$

$$\omega = \frac{E_G}{k \cdot \Phi_M} - M \frac{R_{\partial H} + R_G}{(k \cdot \Phi_M)^2}.$$

Elektrik intiqalının elektromexaniki xarakteristikalarını təsvir edən (3.29) ifadəsinin analizi göstərir ki, G-M sisteminin xarakteristikaları generatorun həyəcanlanma Φ_G selinin və ya E_G EHQ-sinin dəyişməsi zamanı qarşılıqlı paralel xətlərdir, sərtlik sabit qalır və generatorun və mühərrikin lövbər dolaqlarının toplam müqavimətləri ilə təyin olunur. Bu xarakteristikalar generatorun həyəcanlanma dolağının dəyişən gərginliyində sürət nizamlanmasının birinci I zonasında yerləşir. Generatorun həyəcanlanma dolağı gərginliyinin poyarlığı dəyişdikdə (4.1)-dən göründüyü kimi onun EHQ-sinin polyarlığı və nəticə olaraq – M elektrik mühərrikinin fırlanma istiqaməti də dəyişir. G-M sisteminin elektromexaniki xarakteristikaları ailəsi şəkil 4.2-də verilir.



Şək. 4.2. Generator-mühərrik sisteminin elektromexaniki xarakteristikaları ailəsi

G-M sistemi üzrə hazırlanmış elektrik intiqalının elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları dörd kvadrantda

yerləşir. Elektrik mühərrikinin rekuperativ tormozlanma rejiminə keçidi zamanı yəni, ideal yüksüz rejim sürətindən ω_0 böyük bucaq sürətində G generator M1 sürətləndiricini fırladaraq elektrik mühərriki kimi işləyəcək. Bu zaman M1 öz növbəsində şəbəkə ilə paralel işləyən generator kimi olacaq.

G-M sistemi həm də II ikinci sürətin nizamlanma zonasında işləyə bilər. Elektrik intiqalının M mühərrikin dəyişən həyəcanlanma seli şərtində ($\Phi_M = \text{var}$, $\Phi_G = \text{const}$) ikinci zonada işləməsi zamanı mühərrikin fırlanmasının həm müsbət və həm də mənfi istiqamətləri üçün elektromexaniki xarakteristikaları şəkil 4.2-də verilmişdir. Şəkil 4.2-də punktirlə mühərrikin təbii elektromexaniki xarakteristikası göstərilir.

Sabit cərəyan mühərrikinin rele-kontaktor idarəetmə sxemlərindən fərqli olaraq G-M sistemində böyük işəsalma reostatları və həmçinin, işəsalma, revers, tormozlanma, eləcə də sürətin nizamlanması zamanı itkilər mövcud deyil. Sürətin nizamlanma diapazonu adətən $1 \div 30$ qiymətini aşmır.

G-M sisteminin əsas çatışmazlığı – çeviricidə iki fırlanan aqreqatın olmasıdır. Elektrik maşınlarının ümumi gücü icraçı mühərrikin gücündən üç dəfə artıqdır.

4.3. Yarımkəçirici çeviricilərə malik elektrik intiqalları

Fırlanan aqreqatlı enerji çeviricilərinin qeyd olunan çatışmazlıqları nəticəsində elektrik intiqalının bütün inkişaf mərhələlərində statik ventil çeviricili elektromaşın enerji çeviricilərinin dəyişdirilməsinə böyük diqqət yetirilmişdir. XX əsrin 60-cı illərində idarə olunan cıvə düzləndirici-mühərrik (İCD-M) sistemi geniş yayılmışdı. Lakin, İCD-M sisteminin böyük çatışmazlıqları (qövvdə gərginliyin nəzərəcarpacaq dərəcədə düşməsi, böyük qabaritlər, tərkibində cıvə olan cihazların istismarının çətinliyi və təhlükəliliyi) bu sistemə

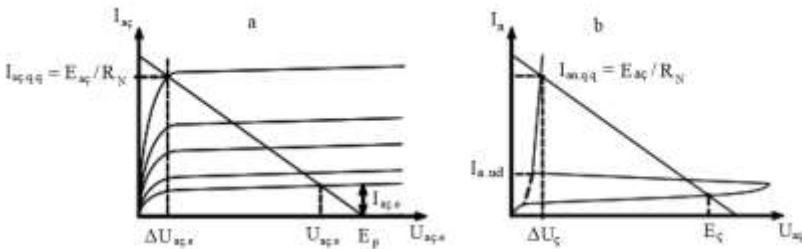
elektromaşın çeviriciləri effektiv şəkildə əvəz etməyə imkan vermədi.

Elektrik enerjisinin statik çeviricilərinin qurulması məsələsi yalnız güclü yarımkeçirici cihazların – tiristor və tranzistorların yaradılması zamanı öz həllini tapdı.

Çevirici güc qurğularında istifadə olunan güclü yarımkeçirici cihazlar yalnız iki dayanıqlı vəziyyəti olan açar rejimində işləyir:

- açıq vəziyyət – maksimal elektrik keçiriciliyi;
- bağlı vəziyyət – minimal elektrik keçiriciliyi.

Bir qədər geniş yayılmış yarımkeçirici tiristor və tranzistor cihazların volt-ampere xarakteristikaları şəkil 4.3-də təqdim olunmuşdur.



Şək. 4.3. Açar rejimində işləyən tranzistorların (a) və tiristorların (b) volt-ampere xarakteristikaları

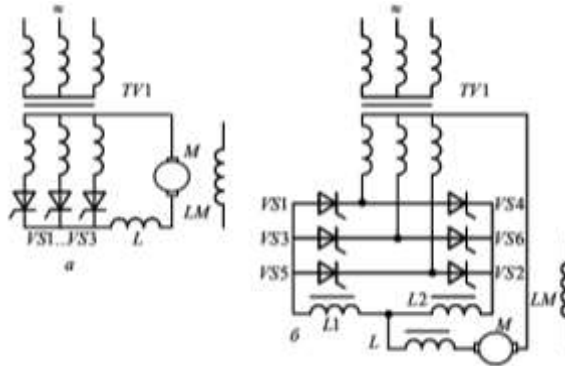
Açar rejimində işləmə zamanı yarımkeçirici cihazlarda aktiv güc $P = U \cdot I$ itkiləri çox kiçikdir belə ki, bu hasilin vuruqlarından biri (I cərəyanə və ya U gərginliyi) minimal mümkün olan qiymət alır. Nəticədə elektrik enerjisi çeviricilərinin yüksək FİƏ-si əldə olunur.

Yarımkeçirici cihazın bağlı vəziyyətindən açıq vəziyyətinə çevrilməsi zamanı (və əksinə) gərginlik və cərəyan sabit cərəyan yükünün xətti üzrə dəyişirlər. Cərəyan və

gərginliyin hasili nəzərəcarpacaq dərəcədə artır. Bu səbəbdən belə çevrilmələrin mümkün olan minimal zaman müddətində baş verməsi vacibdir. Bu şərti hazırda iki tip yarımkeçiricilərin çevriləməsi prosesini sürətləndirən daxili müsbət əks əlaqəli yarımkeçirici cihazlarda – idarəedici elektrodu izolə olunmuş IGBT-tranzistorlarda və ya bipolar tranzistorlarda və tiristorlarda reallaşdırmaq mümkün olmuşdur.

4.3.1. Çevirici-mühərrik tiristor sistemi

Sürəti geniş diapazonda nizamlanan avtomatlaşdırılmış elektrik intiqallarında hazırda sabit cərəyan TÇ-M sistemi üstünlük təşkil edir. Şəkil 4.4-də tiristor çeviricili düzləndirmənin üç fazlı sıfır sxemi əsasında yığılmış elektrik intiqalının sxemi verilmişdir.

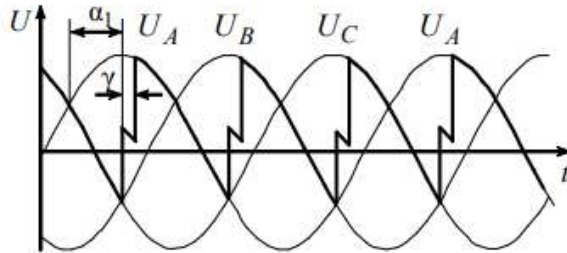


Şək. 4.4. Tiristor çeviricili elektrik intiqallarının sxemi:
a – üç fazlı sıfır qeyri-revers çevirici; b – üç fazlı sıfır revers çevirici

Çeviricilərdə tətbiq olunan tiristorlar – yarımidarə olunan yarımkeçirici cihazlardır. Bu cihazlar idarəetmənin müsbət impulsu idarə olunan elektrodun dövrəsinə qoşulurlar.

Dövrədən tiristorun I_a anod cərəyanı $I_{a.sax}$ saxlama cərəaynından aşağı qiymət aldıqda ayrılırlar (şəkil 4.3,b).

İdarəedici impulslar tiristorlara növbə ilə tiristor çeviricisinin idarəetmə gərginliyindən asılı olan zaman anlarında verilir. İdarəetmənin gərginliyini dəyişərək tiristorları açan α bucağını dəyişmək və deməli, yükləki düzləndirilmiş gərginliyi nizamlamaq olar. Qeyri-revers sıfır tiristor çeviricisinin çıxışında gərginliklər diaqramı şəkil 4.5-də verilmişdir.



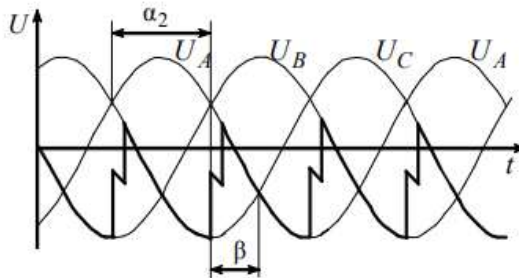
Şək. 4.5. Sıfır tiristor çeviricisinin düzləndirmə rejimində çıxışdakı gərginliklər diaqramı

Tiristor çeviricisi düzləndirmə rejimində $0 < \alpha < 90$ el.dər. idarəetmə bucağında işləyir. Örtmə γ bucağı həddlərində sıfır düzləndirmə sxeminin iki tiristoru eyni zamanda açıq olacaq və bir yükə – mühərrikin lövbərinə qoşulacaqdır. Düzləndirilmiş gərginliyin ani qiyməti bu zaman faza gərginliklərinin ani qiymətlərinin yarım qiyməti qədər azalır. Şəkil 4.5-dən göründüyü kimi tiristorlar TV1 transformatorunun ikinci dolağının mənfi faza gərginliklərində də açıqdır. Bu yalnız o zaman mümkündür ki, düzləndirilmiş cərəyanın dövrəsində böyük induktivlik mövcuddur və lövbər dolağı dövrəsindəki cərəyan öz-özünə induksiya EQ hesabına saxlanılır. Mühərrikin lövbər dolağı dövrəsinin kiçik

induktivliyində tiristorlar TV1 transformatorunun ikinci dolağındakı mənfi gərginliklərdə bağlanır, lövbər dövrəsində cərəyan isə kəsilir. Fasiləli cərəyan zonasının kiçildilməsi üçün elektrik mühərrikinin lövbər dövrəsinə əlavə L induktivliyi qoşulur.

Mühərrikin valında aktiv yük zamanı tiristor çevirici invertor iş rejiminə keçə bilər. Çeviricinin düzləndirici iş rejimindən invertor iş rejiminə çevrilməsi α idarəetmə bucağının 90 el.dər. qiymətindən yuxarı qiymətə qədər artması zamanı baş verir. Üç fazalı sıfır düzləndirmə sxemli çeviricinin invertor iş rejimində sabit cərəyan elektrik maşını generator olur, tiristorlar isə TV1 transformatorunun ikinci dolağının gərginliyinin mənfi qiymətlərində açılır. Tiristor çeviricisinin həm düzləndirici və həm də invertor rejimlərində işləməsi zamanı tiristorlardan cərəyan yalnız bir istiqamətdə axır.

Qeyri-revers sıfır tiristor çeviricisinin invertor iş rejimi zamanı çıxışında gərginliklər diaqramı şəkil 4.6-da verilmişdir.



Şək. 4.6. Qeyri-revers sıfır tiristor çeviricisinin invertor iş rejimi zamanı çıxışında gərginliklər diaqramı

Kəsilməz cərəyan rejimində tiristor çeviricisinin orta gərginliyi aşağıdakı bərabərlikdən tapılır:

$$U_{T\zeta} = E_{T\zeta 0} \cos \alpha - I \cdot R_{\zeta}, \quad (4.2)$$

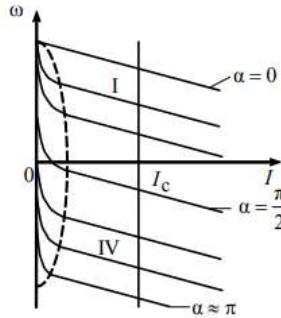
burada, $E_{T\zeta 0}$ – tiristor çeviricisinin düzləndirmə sxemindən asılı olan EHQ-si; R_{ζ} – tiristor çeviricisinin ekvivalent aktiv müqavimətidir.

TÇ-M elektrik intiqalının kəsilməz cərəyan rejimində elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları belə təyin olunur:

$$\omega = \frac{E_{T\zeta} \cdot \cos \alpha}{k \cdot \Phi_M} - I \frac{R_{\partial H} + R_{\zeta}}{k \cdot \Phi_M}, \quad (4.3)$$

$$\omega = \frac{E_{T\zeta} \cdot \cos \alpha}{k \cdot \Phi_M} - M \frac{R_{\partial H} + R_{\zeta}}{(k \cdot \Phi_M)^2}. \quad (4.4)$$

TÇ-M sxemi üzrə hazırlanmış qeyri-revers elektrik intiqalının elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları şəkil 4.7-də verilmişdir.



Şək. 4.7. Tiristor çeviricisi-mühərrik (TÇ-M) sxemi üzrə hazırlanmış qeyri-revers elektrik intiqalının elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları

Xarakteristikalar mühərrikdən axan cərəyan yalnız bir istiqamətdə olduğu zaman sağ dekart koordinat sisteminin birinci və dördüncü kvadrantlarda yerləşir. Elektrik intiqalı dördüncü kvadrantda elektrik mühərrikinin valında aktiv yüklə

düşən yükün hesabına və tiristor çeviricisinin invertor rejimində işləyir.

Şəkil 4.7-də punktir xətlə fasiləli cərəyanın zonası məhdudlanmışdır. Fasiləli cərəyan zonasında tiristor çeviricisi sanki elektromexaniki xarakteristikaların sərtliliyini nəzərəcərpacaq dərəcədə azaldan əlavə daxili müqavimətə malik olur.

Tiristor elektrik intiqalını dörd kvadrantda işləyən reversli hazırlamaq üçün qarşılıqlı-paralel qoşulmaq şərti ilə iki qrup tiristordan istifadə etmək lazımdır. Sıfır tiristor çeviricili reversli elektrik intiqalının sxemi şəkil 4.4,b-də verilir. Tiristor qrupları birgə uzlaşmış rejimdə işləyirlər, VS1, VS3, VS5 tiristorları düzləndirici rejimdə işləyən bir qrup, VS2, VS4, VS6 – tiristorları isə əks invertor rejimində işləyən digər qrupu yaradır. Bu halda:

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \pi, \quad (4.5)$$

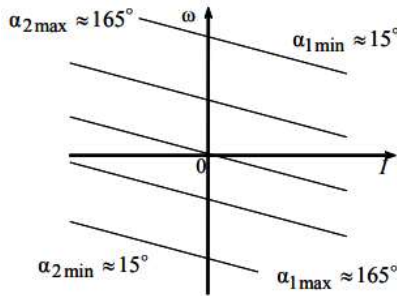
burada, α_1 – düzləndirici rejimdə işləyən tiristorlar qrupunun idarəetmə bucağı; α_2 – invertor rejimində işləyən tiristorlar qrupunun idarəetmə bucağıdır.

Fırılanmanın başqa istiqaməti üçün tiristorlar qrupunun iş rejimi dəyişir lakin, (4.5) şərti ödənilməkdə davam edir.

Düzləndirici və invertor qruplarının EHQ-sinin ani qiymətləri öz aralarında bərabər deyil. Qruplar arasında axna bərabərləşdirici cərəyanların kiçildilməsi üçün elektrik intiqalına L1 və L2 reaktorları daxil edilir.

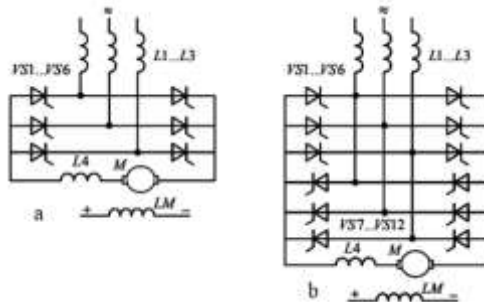
Tiristorlar qruplarının birlikdə uzlaşmış idarəetməsinə malik TÇ-M tipli revers intiqalının elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları şəkil 4.8-də verilmişdir.

Praktikada tiristor çeviricilərin digər sxemləri də tətbiq olunur məsələn, düzləndirmənin transformersuz körpü sxemi (şəkil 4.9). Bu halda tiristor çeviriciləri qidalanmanı L1...L3 hava reaktorlarından alır.



Şək. 4.8. Tiristorlar qruplarının birlikdə uzlaşmış idarəetməsinə malik tiristor çeviricisi-mühərrik (TÇ-M) tipli revers intiqalının elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları

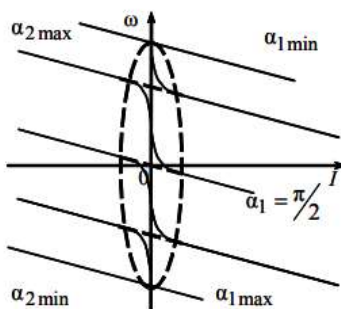
L1...L3 şəbəkə reaktorları qidalandırıcı şəbəkədə tiristorlar tərəfindən yaradılan mümkün olan təhrifləri azaldır və açılan tiristorlardan keçən cərəyanın artma sürətini (dI/dt effekti), həmçinin çeviricidə mexaniki avtomatların işə düşməsi müddətində qısa qapanma cərəyanını da məhdudlaşdırır (sxemdə göstərilməyib).



Şək. 4.9. Tiristor çeviricili elektrik intiqalının sxemləri: a – üç fazlı körpü qeyri-revers çevirici; b – üç fazlı körpü revers çevirici

Yalnız bir qrup VS1...VS6 toiristorlardan ibarət sxemin qeyri-revers variantı şəkil 4.9,a-da göstərilir. İki qarşılıqlı-paralel qoşulmuş VS1...VS6 və VS7...VS12 körpü tiristor çeviricilərdən ibarət sxemin revers variantı isə şəkil 4.9,b-də verilir. Baxılan sxemdə həmişə yalnız bir qrup tiristor işləyir məsələn, VS1...VS6, digər qrup – VS7...VS12 bağlıdır və ya əksinə. Hər iki tiristorlar qrupuna açan impulsların verilməsi zamanı qısa qapanma baş verəcək. Tiristorlar qrupunun belə idarə olunması ayıran idarəetmə adlanır. İşləmək üçün tiristorların bu və ya digər qrupunun seçilməsi mühərrikin fırlanma istiqamətindən asılı olacaqdır. Tiristorlar qrupunun çevrilməsini məntiqi çevirmə qurğusu izləyir. Məntiqi çevirmə qurğusu sonrakı qrupun qoşulmasına yalnız əvvəlki qrupun ayrılmasından müəyyən müddət keçəndən sonra icazə verir, işdən ayrılan qrupda tiristorların tam bağlanması ilə əlaqəli olur.

Körpü düzləndiriciyə malik qeyri-revers elektrik intiqalının elektromexaniki xarakteristikaları şəkil 4.7-də verilmiş xarakteristikalara analojidir lakin, körpü çeviricisinin təbiiqi zamanı fasiləli cərəyanlar zonası kəçilir.



Şək. 4.10. Körpü düzləndiriciyə və tiristorlar qrupunun ayrılmış idarəetməsinə malik elektrik intiqalının elektromexaniki xarakteristikaları

Körpü düzləndiriciyə və tiristorlar qrupunun ayrılmış idarəetməsinə malik elektrik intiqalının elektromexaniki xarakteristikaları şəkil 4.10-da verilmişdir.

Tiristor-mühərrik sistemləri aşağıdakılara imkan verdi:

- qapalı sistemlərdə sürətin nizamlanma diapazonunu $D = 1:10000$ qiymətinə qədər genişləndirilməsi;
- sürətin hamar nizamlanmasını $\varphi_h \rightarrow 1$ təmin edilməsi;
- mexaniki xarakteristikaların lazımi sərtliliyinin $k_\beta \rightarrow \infty$ alınması;
- Yüksək FİƏ $\rightarrow 0,95$ təmin edilməsi.

Tiristor çeviricili elektrik intiqalının ən əsas çatışmazlığı çox kiçik güc əmsəlidir. Təxmini olaraq hesab etmək olar ki:

$$\cos\varphi \approx \cos\alpha.$$

Beləliklə, əgər elektrik intiqalı uzun müddət kiçik sürətlə işləməyə davam etsə deməli, aşağı güc əmsalında işləyəcəkdir.

Güclü tiristor çeviriciləri qidalanma şəbəkəsinin gərginliyinin formasına təhriflər daxil edəcəklər.

Göstərilən çatışmazlıqlara baxmayaraq, TÇ-M sistemləri XX əsrin sonlarında sürətlərinin nizamlanma diapazonu böyük olan avtomatlaşdırılmış elektrik intiqalları arasında geniş yayılmışdır. Hazırda belə intiqallar sənaye qurğularında üstünlük təşkil edir.

4.3.2. Tranzistor çeviricili sabit cərəyan elektrik intiqalları

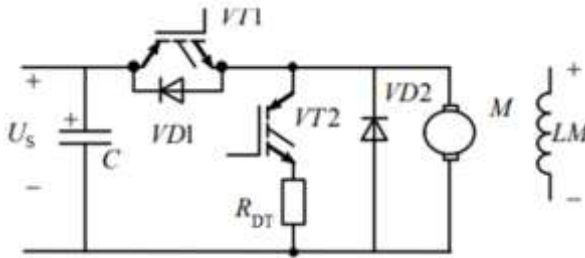
Sabit cərəyan mühərrikinin sürətinin ən effektiv nizamlanması üsulları onun lövbər dolağının gərginliyinin dəyişməsi ilə əlaqədardır. Lövbər dolağının sabit gərginlik mənbəyindən qidalanması zamanı tranzistor çeviriciləri onların tamamilə idarə olunması nəticəsində geniş yayılmışdır. Nizamlanan sabit gərginliyə çevirən sabit gərginlik

çeviricilərində müasir element bazasını hazırda güc tranzistorları təşkil edir:

- MOSFET (induksiya kanallı unipolyar tranzistor);
- IGBT (idarəedici elektrodu izolə olunmuş bipolyar tranzistor).

Belə tranzistorlar 1000 A-ə qədər cərəyanlar və 1500 V gərginliklər üçün buraxılır və 30 kHs tezlikdə açar rejimində işləmək qabiliyyətinə malikdirlər. Bundan əlavə, induktivliyə malik dövrlərdə işləmək üçün tranzistorlar antiparalel yüksək tezlikli diodlarla təchiz edilir.

Lövbər dolağının gərginliyinin tranzistor impuls nizamlanmasına malik olan sabit cərəyan elektrik intiqalının sxemi şəkil 4.11-də təqdim olunur.

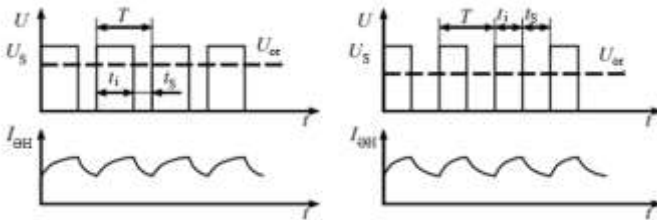


Şək. 4.11. Tranzistor çeviriciyə malik sabit cərəyan elektrik intiqalının sxemi

Bu sxemdə M mühərrikin lövbər dolağı VT1 tranzistor açarı ilə periodik olaraq U_s sabit gərginlik mənbəyinə qoşulur. Bu gərginlik bir qayda olaraq qidalandırıcı şəbəkənin dəyişən gərginliyinin idarə olunmayan düzləndirici vasitəsi ilə düzləndirilməsindən alınır. Böyük tutuma malik C elektrolitik kondensatoru düzləndirilmiş U_s gərginliyinin döyünmələrini hamarlayır.

VT1 tranzistoru açıq olduqda M mühərrikin lövbər dolağı üzrə U_s sabit gərginlik mənbəyindən cərəyan axır. VT1

tranzistoru bağlı olduqda mühərrikin lövbər dolağı dövrəsində cərəyan ani olaraq dəyişə bilmir, öz-özünə induksiya EMF-si hesabına VD2 diaodu vasitəsi ilə qapanaraq saxlanılır (şəkil 4.12). VT1 tranzistoru çevrilməsinin böyük tezliyində lövbər dövrəsində cərəyan rəqsləri böyük olmur. Müasir tranzistorlar 5÷20 kHs və daha böyük tezliklərdə yolverilən qızma olmadan işləmək qabiliyyətinə malikdir.



Şək. 4.12. Eninə-impuls modulyasiyası zamanı gərginlik və cərəyanların diaqramı

Elektrik intiqallarının əksər tiplərində VT1 tranzistorunun idarə olunması üçün modulyasiyanın eninə-impuls üsulu istifadə olunur. Bununla əlaqədar olaraq VT1 tranzistor açarı idarəetmə sxemi ilə birlikdə eninə-impuls çeviricisi (EİÇ) adını almışdır. EİÇ idarə olunması zamanı mühərrik lövbərinə gərginlik impulslarının ardıcılıq T periodu sabit qalır, yalnız impulsun t_i müddəti dəyişir. Şəkil 4.12-də göstəriləndiyi kimi lövbər dolağına tətbiq edilmiş orta U_{or} gərginlik impulsun t_i müddətindən asılıdır və aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$U_{or} = U_s \gamma, \quad (4.6)$$

burada, U_s – sabit gərginlik; γ – VT1 tranzistor açarının nisbi qoşulma müddətidir.

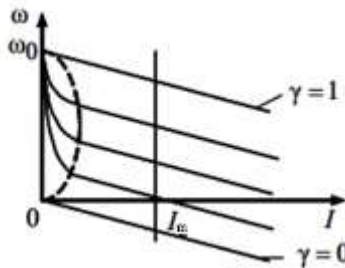
VT1 tranzistor açarının nisbi qoşulma müddəti $0 < \gamma < 0,95$ həddlərində dəyişə bilər.

Eninə-impulsu tranzistor çeviricilərə malik elektrik intiqalının fasiləsiz cərəyan rejimində elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları belə təsvir olunur:

$$\omega = \frac{E_S \cdot \gamma}{k \cdot \Phi_M} - I \frac{R_{\Theta H} + R_S}{k \cdot \Phi_M}, \quad (4.7)$$

$$\omega = \frac{E_{T\zeta} \cdot \gamma}{k \cdot \Phi_M} - M \frac{R_{\Theta H} + R_S}{(k \cdot \Phi_M)^2}. \quad (4.8)$$

EİÇ-M sxemi üzrə hazırlanmış qeyri-revers elektrik intiqalının elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları şəkil 4.13-də verilmişdir.



Şək. 4.13. Eninə impuls çevirici-mühərrik (EİÇ-M) sxemi üzrə hazırlanmış qeyri-revers elektrik intiqalının elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları

EİÇ-M elektrik intiqalında kiçik yeklərdə fasiləli cərəyan rejimi başlayır. Fasiləli cərəyan zonası şəkil 4.13-də punktir xətlə göstərilmişdir. VT1 tranzistor açarının çevrilmə tezliyi tiristor çeviricili elektrik intiqalında impulsar ardıcılığı tezliyindən nəzərəcarpacaq dərəcədə böyük ola bilməsi səbəbindən fasiləli cərəyan zonası kifayət qədər kiçik ola bilər və lövbər cərəyanının döyünmələri amplitudu da azalar.

Şəkil 4.13-dən görüldüyü kimi fasiləli cərəyan rejimində bütün elektromexaniki xarakteristikalar bir nöqtədə – ideal

yüksüz rejim ω_0 sürəti nöqtəsində kəşisir. Bu nöqtə baxılan elektrik intiqalında belə təyin olunur:

$$\omega_0 = U_S/c. \quad (4.9)$$

Girişində idarə olunmayan düzləndiriciyə malik EİÇ-M elektrik intiqalında rekuperativ tormozlanma rejimi mümkün deyil, bu səbəbdən əksər elektrik intiqallarında dinamik tormozlanma tətbiq edilir. Dinamik tormozlanmanı sxemə daxil edilmiş əlavə VT2 tranzistor açarı və dinamik tormozlanma müaviməti R_{DT} təmin edir, lakin bu şərtlər daxilində sxem kifayət qədər mürəkkəbləşir.

Hazırda istehsalatda istismar olunan elektrik intiqallarının əksəriyyəti – sabit cərəyan intiqallarıdır. Əfsuslar olsun ki, XX əsr – nizamlanan sabit cərəyan elektrik intiqalları əsri başa çatmışdır. Onların işlənilməsi və seriya buraxılışı əksər inkişaf etmiş ölkələrdə dayandırılıb. Nizamlanan elektrik intiqallarının gələcəyi dəyişən cərəyan mühərrikləri ilə bağlıdır.

5. DƏYİŞƏN CƏRƏYANLI ELEKTRİK İNTİQALI

5.1. Asinxron mühərrik

Asinxron mühərriklər 1888-1889-cu illərdə Almaniyada elektrotexnik Dolivo-Dobrovolski M.O. tərəfindən yaradılmışdır. Sənayedə geniş yayılmalarına səbəb digər mühərriklərlə müqayidə bir sıra üstünlükləri olmuşdur. Asinxron mühərrik sadədir və istismarda hazırlanmasına az miqdarda əlvan metalar sərf olunan kollektoru olmadığından etibarlıdır. Qabaritləri və maya dəyəri eyni gücə malik sabit və dəyişən cərəyan mühərrikləri ilə müqayisədə çox kiçikdir və nəhayət, asinxron mühərriklər kütləvi şəkildə geniş güc diapazonunda buraxıla bilər.

5.1.1. Asinxron mühərriklərin elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları.

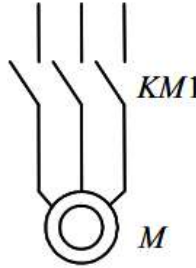
Nizamlanmayan elektrik intiqallarının ən geniş yayılmış tipi qısa qapanmış asinxron elektrik intiqallarıdır. Nizamlanmayan elektrik intiqalları üçün elektrik mühərrikinin işə salınması kontakt aparatlarının köməyi ilə aralıq elektrik enerjisi çeviricilərsiz birbaşa şəbəkəyə qoşulma ilə xarakterikdir.

Qısa qapanmış asinxron mühərrikin güc dövrələrinin işəsalma kontaktlarının köməyi ilə standart qoşulma sxemi şəkil 5.1-də verilmişdir.

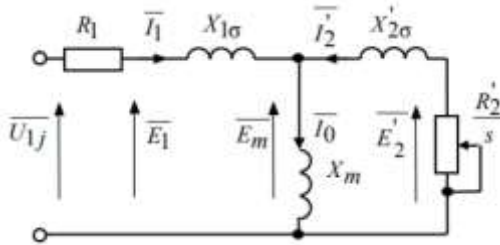
Asinxron mühərriklərin hesablanması üçün bir qayda olaraq, onun ümumi halda müxtəlif əvəzetmə sxemləri ilə təqdim olunan riyazi modelindən istifadə olunur. Ən sadə və mühəndis hesablamaları üçün əlverişli asinxron mühərrikin T-şəkilli əvəzetmə sxemidir (şəkil 5.2).

Şəkil 5.2-də aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

U_{1j} – stator dolağının faza gərginliyi;



Şək. 5.1. Qısa qapanmış asinxron mühərrikin kontakt işəsalmanın köməyi ilə qoşulma sxemi



Şək. 5.2. Asinxron mühərrikin əvəzetmə sxemi

R_1 – stator dolağının aktiv müqaviməti;

$X_{1\sigma}$ – stator dolağı səpilməsinin induktiv müqaviməti;

I_1 – stator dolağının cərəyanı;

E_1 – stator dolağının EQ-si;

R_2 – rotor dolağının stator dolağına gətirilmiş aktiv müqaviməti;

$X_{2\sigma}$ – stator dolağına gətirilmiş rotor dolağı səpilməsinin induktiv müqaviməti;

I_2 – stator dolağına gətirilmiş rotor dolağının cərəyanı;

$s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$ – sürüşmə;

$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / z_p$ – sinxron bucaq sürəti;

ω – asinxron mühərrikin bucaq sürəti;

z_p – cüt qütblərin sayı;

f_1 – stator dolağına gətirilən dəyişən cərəyan gərginliyinin tezliyinin qiyməti;

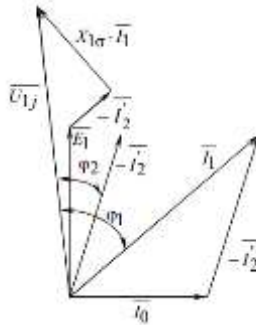
E_m – maşının əsas maqnit selindən EHQ;

E'_2 – stator dolağına gətirilmiş rotor dolağının EHQ-si.

Asinxron mühərrikin qəbul edilən əvəzetmə sxemində uyğun gələn əsas tənliklər belə yazılacaq:

$$\begin{aligned}\overline{U_{1j}} - \overline{E_m} - j \cdot X_{1\sigma} \cdot \overline{I_1} - R_1 \cdot \overline{I_1} &= 0; \\ \overline{E_m} + j \cdot X'_{2\sigma} \cdot \overline{I'_2} + \frac{R'_2 \cdot \overline{I'_2}}{s} &= 0; \\ \overline{I_1} + \overline{I'_2} - \overline{I_0} &= 0.\end{aligned}\quad (5.1)$$

(5.1) tənliklər sistemini ödəyən cərəyan, EHQ və gərginliyin vektor diaqramı şəkil 5.3-də verilir.



Şək. 5.3. Asinxron mühərrikin vektor diaqramı

Asinxron mühərrikin stator dolağına gətirilmiş rotorun I'_2 cərəyanı asinxron mühərrikin birbaşa əvəzetmə sxemindən alınan asılılıqla təyin olunur:

$$I'_2 = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{q,q}^2}}, \quad (5.2)$$

burada, $X_{q,q} = X_{1\sigma} + X'_{2\sigma}$ – qısa qapanmanın induktiv müqavimətidir.

$I'_2 = f(s)$ tənliyi asinxron mühərrikin elektromexaniki xarakteristikası adlanır.

Qısa qapanmış asinxron mühərrik üçün I_1 stator cərəyanının s sürüşmədən asılılığı əks etdirən digər bir elektromexaniki xarakteristika $I_1 = f(s)$ əhəmiyyət kəsb edir. I_1 stator cərəyanı, $\overline{I_0}$ maqnitlənmə cərəyanı vektorunun $\overline{I'_2}$ rotor cərəyanı vektoru ilə toplanması nəticəsində təyin olunur (şəkil 5.3).

$$\overline{I_1} = \overline{I_0} + \overline{I'_2}. \quad (5.3)$$

Asinxron mühərrikin maqnitlənmə I_0 cərəyanını reaktiv qəbul edib, rotorun I'_2 gətirilmə cərəyanı vasitəsi ilə statorun I_1 cərəyanını aşağıdakı düsturla təyin etmək olar:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I'_2)^2 + 2I_0 \cdot I'_2 \cdot \sin\varphi_2}, \quad (5.4)$$

burada,

$$\sin\varphi_2 = \frac{x_{q,q}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + x_{q,q}^2}}. \quad (5.5)$$

Güc intiqalının əsas çıxış koordinatı asinxron mühərrik üçün qiyməti itkilər tənliyindən tapılan elektromaqnit momentidir:

$$M \cdot \omega_0 \cdot s = m_1 (I'_2)^2 \cdot R'_2, \quad (5.6)$$

burada, m_1 – stator fazalarının sayıdır.

(5.6) ifadəsinə (5.2) tənliyində I_2 cərəyanı nəzərə alıb, alınan bərabərliyi M momentinə görə həll etsək:

$$M = \frac{m_1 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + R_2' \cdot s^{-1} \right)^2 + \left(X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' \right)^2 \right]}. \quad (5.7)$$

(5.7) ifadəsinin analizi göstərir ki, asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikası $dM/ds = 0$ şərtində yerləşən kritik moment və kritik sürüşməyə malikdir.

Belə olan halda kritik moment:

$$M_k = \frac{m_1 \cdot U_{1j}^2}{2\omega_0 \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{q,q}^2} \right)}, \quad (5.8)$$

kritik sürüşmə isə:

$$s_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{q,q}^2}}. \quad (5.9)$$

«+» işarəsi kritik moment və sürüşmə mühərrik rejiminə, «-» – işarəsi isə rekuperativ tormozlanmanın generator rejiminə aiddir.

Asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikasının (5.7) tənliyini istifadə üçün daha əlverişli ifadəyə – Kloss düsturuna çevirmək olar:

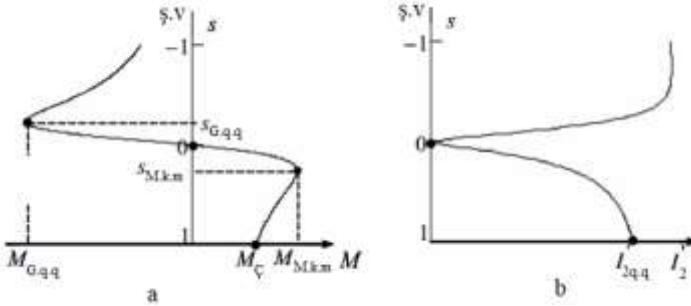
$$M = \frac{2 \cdot M_k (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k} + 2 \cdot a \cdot s_k}, \quad (5.10)$$

burada, $a = R_1/R_2'$ – əmsaldır.

Böyük və orta gücə malik mühərriklər kiçik aktiv R_1 müqavimətə malikdirlər, bu halda əmsalı nəzərə almamaq olar, (5.10) ifadəsi isə Klossun sadələşdirilmiş düsturuna çevriləcəkdir:

$$M = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}}, \quad (5.11)$$

Sürüşməni qiymətləndirərək (5.10) və (5.2) tənliklərinə görə uyğun olaraq asinxron mühərrikin şəkil 5.4-də göstərilən mexaniki və elektromexaniki xarakteristikalarını qurmaq olar.



Şək. 5.4. Asinxron mühərrikin statik xarakteristikaları: a – mexaniki; b – elektromexaniki

$0 < s < 1$ sürüşmələrində asinxron maşın mühərrik, $s < 0$ olduqda şəbəkəyə paralel generator (rekuperativ tormozlanma), $s > 1$ olduqda isə – şəbəkəyə ardıcıl olaraq generator və ya əks qoşulmaqla tormozlanma rejimində işləyir.

Şəkil 5.4a-da göstərilən mexaniki xarakteristikalar mühərrik rejimində üç xarakterik nöqtəyə malikdir:

1) $s = 0$; $M = 0$, bu zaman mühərrikin sürəti sinxron sürətə bərabərdir: $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / z_p$;

2) $s = s_k$; $M = M_{M.k.m}$, mühərrik rejiminin kritik sürüşmə və kritik momentinə uyğun gələn nöqtə;

3) $s = 1$, bu zaman mühərrikin sürəti sıfır, moment isə işəsalma qiymətinə bərabərdir: $M = M_{i.s.}$.

Şəkil 5.4b-də verilən elektromexaniki xarakteristikalar mühərrik rejimində iki xarakterik nöqtəyə malik olur:

1) $s = 0$; $I_2' = 0$, bu zaman mühərrikin sürəti sinxron qiymətə malikdir: $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / z_p$;

2) $s = 1$, bu zaman mühərrikin sürəti sıfır, rotor cərəyanı isə – qısa qapanma cərəyanına bərabər olacaqdır: $I_2' = I_{2q,q}$).

Asinxron mühərrikin mexaniki və elektromexaniki xarakteristikaları hətta ölçüsüz vahidlərdə qurulsalar da üst-üstə düşümlər. Asinxron mühərrikin təbii və süni mexaniki xarakteristikaları ayrılır. Asinxron mühərrikin təbii mexaniki xarakteristikaları dedikdə, mühərrikin M momentinin mühərrikin nominal qoşulma sxemində, qidalanma şəbəkəsinin nominal parametrlərində (U_{1N} , f_{1N}) və mühərrikin dövrələrində əlavə müqavimətlərin olmadığı zaman onun s sürüşməsindən asılılığı nəzərdə tutulur. Bütün qalan xarakteristikalar süni adlanır. Asinxron mühərrikin süni xarakteristikalarının köməyi ilə onun sürəti texnoloji prosesin tələblərinə uyğun nizamlanır.

Asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikasının (5.7) tənliyindən görünür ki, onun sürətini nizamlamaq bir və ya bir neçə paarmetri dəyişməklə nizamlamaq mümkündür:

U_{1j} – mühərrikin stator dolaqlarının faza gərginliyi;

$R_{1\theta}$ – statorun əlavə aktiv müqaviməti;

$X_{1\theta}$ – statorun əlavə induktiv müqaviməti;

$R_{2\theta}'$ – rotorun stator dolağına gətirilmiş əlavə aktiv müqaviməti;

$X_{2\theta}'$ – rotorun stator dolağına gətirilmiş əlavə induktiv müqaviməti;

$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / z_p$ – qütblərin cüt z_p sayının və ya tezliyin f_1 tezliyini dəyişməklə sinxron bucaq sürəti.

Asinxron mühərrikin süni mexaniki xarakteristikaların bütün rəngarəngliyindən hazırda yalnız aşağıdakı nizamlanma üsulları praktiki maraq kəsb edir:

- faza rotorlu asinxron mühərrikin rotor dolağı dövrəsindəki əlavə aktiv müqavimətin dəyişməsi ilə sürətin nizamlanması;

- qısa qapanmış asinxron mühərrikin faza gərginliyinin dəyişməsi ilə sürətin nizamlanması;

- qısa qapanmış asinxron mühərrikin sürətinin tezlik nizamlanması.

Asinxron mühərriklərin statik mexaniki və elektromexaniki xarakteristikaları mühərriklərin birbaşa şəbəkəyə qoşulması üçün daha əlverişlidir. Mühərrikin işə salınması kifayət qədər tez baş verdiyindən cərəyana görə qısa müddətli hətta 6 – 8 dəfə yenidən yüklənmə mühərrik üçün nə böyük dinamik zərbə momentləri nə də ki, eyni gücə malik sərbəst həyəcanlanma sabit cərəyan mühərriklərinin təbii xarakteristikasının işəsalma cərəyanlarından çox kiçik olan böyük işəsalma cərəyanları baxımından təhlükəli deyil. Asinxron mühərriklərin birbaşa işə salınmasına məhdudiyyətlər mühərriklərin özləri tərəfindən deyil, qidalandırıcı şəbəkə tərəfindən qoyulur.

Əgər şəbəkə məhdud gücə və ya böyük daxili müqavimətə malikdirsə, mühərrikin işəsalma cərəyanları bu şəbəkədə gərginliyin böyük düşgüsünü yaradacaqdır. Təbiidir ki, deyilənlər enerjinin digər istehlakçıların iş rejimində özünü göstərəcəkdir.

Qaydalara görə asinxron mühərriklərini birbaşa işə salmaq, yalnız onların gücü aşağıdakı şərti ödəyən zaman mümkündür:

$$P_{\partial H} \leq 0,25 \cdot Q_{\text{şəbəkə}}, \quad (5.12)$$

burada, $Q_{\text{şəbəkə}}$ – əgər şəbəkədən işıqlandırıcı aparatlar qidalanırsa, qidalandırıcı transformatorun gücüdür.

Ümumi şəbəkədən işıqlandırıcı aparatlar qidalanan zaman asinxron mühərriki şəbəkəyə birbaşa qoşmaqla işə salmaq olar. Belə olan halda:

$$P_{\partial H} \leq 0,05 \cdot Q_{\text{şəbəkə}}, \quad (5.13)$$

Əgər (5.12) və (5.13) şərtləri ödənilmirsə, cərəyanın məhdudlanması üsulları asinxron mühərrikin qısa qapanma cərəyanı tənliyindən çıxır.

5.1.2. Asinxron mühərrikin parametrlərinin arayış verilənlərinə görə əvəzetmə sxeminin təyini

Nisbətən tam sorğu kitablarında asinxron mühərriklər üçün mühərrikin əvəzetmə sxeminin parametrlərinin təyini üçün aşağıdakı fiziki kəmiyyətlər verilir:

P_N – mühərrikin nominal gücü, kVt;

U_{1N} – nominal faza gərginliyi, V;

η_N – nominal güc rejimində faydalı iş əmsalı (100 %-li yük), %;

$\cos \varphi_N$ – nominal güc rejimində güc əmsalı (100 %-li yük), ş.v.;

R'_1 – stator dolağının aktiv müqaviməti, ş.v.;

$X'_{1\sigma}$ – stator dolağı səpilməsinin induktiv müqaviməti, ş.v.;

R''_2 – stator dolağına gətirilmiş rotor dolağının aktiv müqaviməti, ş.v.;

$X''_{2\sigma}$ – stator dolağına gətirilmiş rotor dolağı səpilməsinin induktiv müqaviməti, ş.v.;

X'_m – maqnitlənmə konturunun induktiv müqaviməti (əsas induktiv müqavimət), ş.v.

Bu halda asinxron mühərrikin əvəzetmə sxeminin parametrlərinin tapılması heç bir çətinlik yaratmır və aşağıdakı ardıcılıqla həyata keçirilir.

Mühərrik statorunun nominal cərəyanı təyin edilir:

$$I_{1N} = \frac{P_N}{m_1 \cdot U_{1N} \cdot \cos \varphi_N \cdot \eta_N}. \quad (5.14)$$

Bazis müqaviməti hesablanır:

$$Z_b = U_{IN}/I_{IN}. \quad (5.15)$$

Fiziki kəmiyyətlərdə mühərrikin əvəzetmə sxeminin parametrləri tapılır:

Stator dolağının aktiv müqaviməti

$$R_l = R'_l \cdot Z_b, \quad OM. \quad (5.16)$$

Stator dolağı səpilməsinin induktiv müqaviməti

$$X_{l\sigma} = X'_{l\sigma} \cdot Z_b, \quad OM. \quad (5.17)$$

Stator dolağına gətirilmiş rotor dolağının aktiv müqaviməti:

$$R'_2 = R''_2 \cdot Z_b, \quad OM. \quad (5.18)$$

Stator dolağına gətirilmiş rotor dolağı səpilməsinin induktiv müqaviməti:

$$X'_{2\sigma} = X''_{2\sigma} \cdot Z_b, \quad OM. \quad (5.19)$$

Maqnitlənmə konturunun induktiv müqaviməti

$$X_m = X'_m \cdot Z_b, \quad OM. \quad (5.20)$$

Əvəzetmə sxeminin tapılan parametrləri asinxron mühərrikin statik xarakteristikalarını məsələn, Kloss düsturuna görə yəni, dişlərin səpilmə sahələrindən doymasını və “dələ qəfəsinin” millərindən cərəyanın sıxışdırılması nəzərə almamaqla hesablamağa imkan verir.

Məsələ 5.1. 4A112MB6Y3 tip qısa qapanmış asinxron mühərrik üçün T-şəkilli əvəzetmə sxeminin parametrlərini təyin etməli.

Mühərrik aşağıdakı texniki verilənlərə malikdir:

- mühərrikin nominal gücü $P_N = 4 \text{ kVt}$;
- nominal faza gərginliyi $U_{1N} = 220 \text{ V}$;
- nominal güc rejimində faydalı iş əmsalı (100%-li yük)

$$\eta_N = 82,0 \ %;$$

- nominal güc rejimində güc əmsalı (100%-li yük) $\cos\varphi_N = 0,81$ ş.v.;

- stator dolağının aktiv müqaviməti $R'_1 = 0,077$ ş.v.;

- stator dolağı səpilməsinin induktiv müqaviməti $X'_{1\sigma} = 0,073$ ş.v.;

- stator dolağına gətirilmiş rotor dolağının aktiv müqaviməti $R''_2 = 0,062$ ş.v.;

- stator dolağına gətirilmiş rotor dolağı səpilməsinin induktiv müqaviməti $X''_{2\sigma} = 0,11$ ş.v.;

- maqnitlənmə konturunun induktiv müqaviməti (əsas induktiv müqavimət) $X'_m = 2,0$ ş.v.

Həlli. Mühərrik statorunun nominal cərəyanı

$$I_{1N} = \frac{P_N}{m_1 \cdot U_{1N} \cdot \cos\varphi_N \cdot \eta_N} = \frac{4000}{3 \cdot 220 \cdot 0,81 \cdot 0,82} = 9,125 \text{ A}.$$

Bazis müqaviməti

$$Z_b = U_{1N}/I_{1N} = 220/9,125 = 24,1 \text{ ş.v.}$$

Mühərrikin əvəzetmə sxeminin fiziki kəmiyyətlərdə parametrləri:

Stator dolağının aktiv müqaviməti

$$R_l = R'_1 \cdot Z_b = 0,077 \cdot 24,1 = 1,856 \text{ OM}.$$

Stator dolağı səpilməsinin induktiv müqaviməti

$$X_{l\sigma} = X'_{l\sigma} \cdot Z_b = 0,073 \cdot 24,1 = 1,759 \text{ } \Omega.$$

Stator dolağına gətirilmiş rotor dolağının aktiv müqaviməti:

$$R'_2 = R''_2 \cdot Z_b = 0,062 \cdot 24,1 = 1,494 \text{ } \Omega.$$

Stator dolağına gətirilmiş rotor dolağı səpilməsinin induktiv müqaviməti:

$$X'_{2\sigma} = X''_{2\sigma} \cdot Z_b = 0,11 \cdot 24,1 = 2,651 \text{ } \Omega.$$

Maqnitlənmə konturunun induktiv müqaviməti

$$X_m = X'_m \cdot Z_b = 2,0 \cdot 24,1 = 48,2 \text{ } \Omega.$$

5.1.3. Asinxron mühərrikin parametrlərinin kataloq verilənlərinə görə əvəzetmə sxeminin təyini

Bir qayda olaraq kataloqlarda asinxron mühərriklər üçün aşağıdakı texniki verilənlər göstərilir:

P_N – mühərrikin nominal gücü, kVt;

U_{1N} – nominal faza gərginliyi, V;

n_N – nominal fırlanma tezliyi, dövr/dəq (və ya s_N – nominal sürüşmə, ş.v.);

η_N – nominal güc rejimində faydalı iş əmsalı (100%-li yük), %;

$\cos\varphi_N$ – nominal güc rejimində güc əmsalı, ş.v.;

$I_{i.s}/I_{1N} = k_{i.s}$ – işəsalma cərəyanının tamlığı, ş.v.;

$M_{i.s}/M_N = k_{i.s}$ – işəsalma momentinin tamlığı, ş.v.

Bu verilənlər əvəzetmə sxeminin parametrlərini aşağıdakı şərtlər daxilində təyin etməyə imkan verir.

- mühərrikdə maqnit və mexaniki itkilər $0,02 \cdot P_N$ təşkil edir ;

- stator və rotor dolaqlarının aktiv müqavimətləri mühərrikin iş rejimindən asılı olmadığı qəbul edilir yəni, sıxışdırılma effektləri nəzərə alınmır.

Asinxron mühərrikin yüksüz iş rejimi cərəyanı təyin edilir:

$$I_0 = \frac{\sqrt{I_{11}^2 - \left[p^* I_{1N} \frac{(1-s_N)}{(1-p^* s_N)} \right]^2}}{1 - \left[p^* \frac{(1-s_N)}{(1-p^* s_N)} \right]^2}, \quad (5.21)$$

burada, I_{1N} – mühərrik statorunun nominal cərəyanı, A; $s_N = (n_0 - n_N)/n_0$ – nominal sürüşmə, ş.v.; n_0 – fırlanmanın sinxron tezliyi, dövr/dəq; U_{1N} – nominal faza gərginliyi, V;

$$I_{11} = \frac{p^* P_N}{m_1 \cdot U_{1N} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} - \quad (5.22)$$

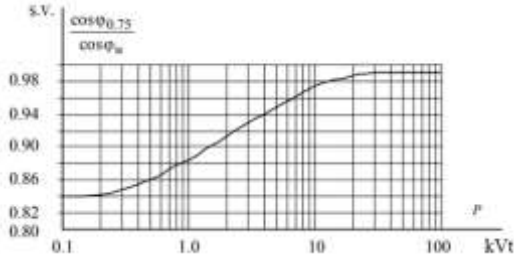
qismən yüklənmədə mühərrik statorunun cərəyanı, A; $\cos \varphi_{p^*}$ – qismən yüklənmədə güc əmsalı, ş.v.; η_{p^*} – qismən yüklənmədə FİƏ, ş.v.; P – qismən yüklənmədə mühərrikin gücüdür, kVt.

Qismən yüklənmə zamanı güc əmsalı və FİƏ texniki ədəbiyyatda nadir hallarda verilir, bir sıra elektrik maşınları üçün isə belə verilənlər texniki ədəbiyyatda ümumiyyətlə yoxdur. Danışılan parametrləri aşağıdakı fərziyyələri qəbul edərək təyin etmək olar:

- müasir asinxron mühərriklər belə layihələndirilir ki, ən böyük FİƏ yüklənmə zamanı nominaldan 10÷15% az olsun. Mühərriklər ona görə belə hesablanır ki, onların əksəriyyəti standart diskret güclər şkalasına görə müəyyən tam olmayan yüklə işləyir. Nəticədə nominal və $p^* = 0,75$ yüklənmədə FİƏ-lər praktiki olaraq bərabərdir yəni, $\eta_N \approx \eta_{0,75}$;

- elə həmin $p^* = 0,75$ yüklənmədə güc əmsalı nominal yüklənmədə olduğundan kəskin fərqlənir, bu fərq

nəzərəcarpacaq dərəcədə mühərrikin gücündən asılı olur və asinxron mühərriklərin məlum seriyalarında praktika üçün kifayət edən dəqiqliklə şəkil 1.5-də göstərilən asılılığa tabe olur.



Şək. 5.5. $\cos \varphi_{0.75} / \cos \varphi_N$ nisbətinin asinxron mühərrikinin gücündən asılılığı

Kloss düsturundan kritik sürüşmənin hesablanması üçün ifadə yazaq:

$$s_k = s_N \frac{k_{max} + \sqrt{k_{max}^2 - [1 - 2 \cdot s_N \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_N \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)}, \quad (5.23)$$

$$\beta = \frac{R_1}{C_1 \cdot R_2'}, \quad (5.24)$$

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1N}}. \quad (5.25)$$

β əmsalının qiyməti $0,6 \div 2,5$ diapazonunda axtarılır.
Əmsalı təyin edək:

$$A_1 = m \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_N) / (2 \cdot C_1 \cdot k_{max} \cdot P_N). \quad (5.26)$$

Belə olan halda asinxron mühərrikin statorunun dolağına gətirilmiş rotorun aktiv müqaviməti:

$$R_2' = A_1 / (\beta + 1/s_k) C_1, \text{ } Om. \quad (5.27)$$

Stator dolağının aktiv müqavimətini aşağıdakı ifadədən təyin etmək olar:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta, \quad O_M. \quad (5.28)$$

Qısa qapanmanın induktiv müqavimətini $X_{q.q.}$ təyin etməyə imkan verən γ parametrini tapaq:

$$\gamma = [(1/s_k^2) - \beta^2]^{1/2}. \quad (5.29)$$

Aydındır ki, kökaltı ifadə (1.29) mənfi qiymət alarsa, β -nin ilkin aldığı qiymət dəyişilməlidir.

Deməli, qısa qapanmanın induktiv müqaviməti:

$$X_{q.q.} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2. \quad (5.30)$$

Qısa qapanmanın induktiv $X_{q.q.}$ müqavimətindən stator $X_{1\sigma N}$ və rotor $X'_{2\sigma N}$ faza səpilməsi müqavimətlərini ayırmaq üçün seriya şəklində buraxılan asinxron mühərriklərdə doğru olan münasibətlərdən istifadə edək.

Stator dolağına gətirilmiş rotor dolağı fazasının səpilmə müqaviməti aşağıdakı ifadədən hesablanı bilər:

$$X'_{2\sigma N} = 0,58 \cdot X_{q.q.} / C_1, \quad O_M. \quad (5.31)$$

Stator dolağının faza səpilmə induktiv müqaviməti belə təyin olunur:

$$X_{1\sigma N} = 0,42 \cdot X_{q.q.}, \quad O_M. \quad (5.32)$$

Vektor diaqramına (şəkil 5.3) görə stator dolağındakı aralıqda yaranan maqnitlənmə budağının EHQ-si (E_m) nominal rejimdə belə olacaq:

$$E_{mN} = \sqrt{(U_{1N} \cdot \cos \varphi_{1N} - R_1 \cdot I_{1N})^2 + (U_{1N} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{1N}} + X_{1\sigma N} \cdot I_{1N})^2}. \quad (5.33)$$

Maqnitlənmə konturunun induktiv müqaviməti:

$$X_{mN} = E_{mN}/I_0. \quad (5.34)$$

Göstərilən metodika hesablanmış mexaniki xarakteristikaların və mexaniki xarakteristikanın işçi sahəsində üç pasport nöqtəsi əsasında yəni, sürüşmənin s-dən 0-a qədər dəyişməsi zamanı qurulan mexaniki xarakteristikalarla yaxınlaşmasının kafi nəticəsini verir.

Məsələ 5.2. 4A112MB6Y3 tip qısa qapanmış asinxron mühərrik üçün T-şəkilli əvəzetmə sxeminin parametrlərini təyin etməli.

Mühərrikin texniki verilənləri bunlardır:

- nominal güc $P_N = 4 \text{ kVt}$;
- nominal faza gərginliyi $U_{1N} = 220 \text{ V}$;
- fırlanmanın sinxron tezliyi $n_0 = 1000 \text{ dövr/dəq}$;
- nominal sürüşmə $s_N = 0,051 \text{ ş.v.}$;
- nominal güc rejimində faydalı iş əmsalı (100 %-li yük)

$\eta_N = 82 \text{ \%}$;

- nominal güc rejimində güc əmsalı $\varphi_N = 0,81 \text{ ş.v.}$;
- işəsalma cərəyanının tamlığı $I_{i.s.}/I_{1N} = k_i = 6 \text{ ş.v.}$;
- işəsalma momentinin tamlığı $M_{i.s.}/M_N = k_{i.s.} = 2 \text{ ş.v.}$;
- maksimal momentin tamlığı $\max M_{\max}/M_N = k_{\max} = 2,2$

ş.v.;

- minimal momentin tamlığı $M_{\min}/M_N = k_{\min} = 1,6 \text{ ş.v.}$

Həlli. Asinxron mühərrikin yüksüz iş rejimi cərəyanı:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[p^* I_{1N} \frac{(1-s_N)}{(1-p^* s_N)} \right]^2}{1 - \left[p^* \frac{(1-s_N)}{(1-p^* s_N)} \right]^2}} = \sqrt{\frac{7,29^2 - \left[0,75 \cdot 9,125 \left(\frac{1-0,051}{1-0,75 \cdot 0,051} \right) \right]^2}{1 - \left[0,75 \cdot 9,125 \left(\frac{1-0,051}{1-0,75 \cdot 0,051} \right) \right]^2}} =$$

$$= 4,046 \text{ A,}$$

burada, $I_{1N} = P_N / m_1 \cdot U_{1N} \cdot \cos \varphi_N \cdot \eta_N = 4000 / 3 \cdot 220 \cdot 0,81 \cdot 0,82 = 9,125 \text{ A}$, – mühərrik statorunun nominal cərəyanı; $m_1 = 3$ – asinxron mühərrikin fazlarının sayı; $I_{11} = \frac{p^* P_N}{m_1 \cdot U_{1N} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{0,75 \cdot 4000}{3 \cdot 220 \cdot 0,76 \cdot 0,82} = 7,29 \text{ A}$ – mühərrik statorunun qismən yüklənmədə cərəyanı; $\cos \varphi_{p^*} = 0,94 \cdot \cos \varphi_N = 0,94 \cdot 0,81 = 0,76$ ş.v. – qismən yüklənmədə güc əmsalı (şəkl. 1.6); $\eta_{p^*} = \eta_N = 0,82$ ş.v. – qismən yüklənmədə FİƏ; $p^* = P / P_N = 0,75$ ş.v. – mühərrikin yüklənmə əmsalıdır.

Kritik sürüşmə:

$$S_k = S_N \frac{k_{max} + \sqrt{k_{max}^2 - [1 - 2 \cdot s_N \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_N \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)} =$$

$$= 0,051 \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - [1 - 2 \cdot 0,051 \cdot 1,3(2,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,051 \cdot 1,3(2,2 - 1)} = 0,2547.$$

β əmsalının qiyməti $0,6 \div 2,5$ diapazonunda axtarılır. $\beta = 1,3$ götürürük.

Əmsalları təyin edək:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1N}} = 1 + \frac{4,046}{2 \cdot 6 \cdot 9,125} = 1,037.$$

$$A_1 = m \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_N) / (2 \cdot C_1 \cdot k_{max} \cdot P_N) = 3 \cdot 220^2 (1 - 0,51) / 2 \cdot 1,037 \cdot 2 \cdot 4000 = 7,55.$$

Asinxron mühərrikin statorunun dolağına gətirilən rotorun aktiv müqaviməti:

$$R'_2 = A_1 / (\beta + 1/s_k) C_1 = 7,55 / (1,3 + 1/0,2435) \cdot 1,037 = 1,393 \text{ Om}.$$

Stator dolağının aktiv müqavimətini aşağıdakı ifadədən təyin etmək olar:

$$R_l = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,037 \cdot 1,393 \cdot 1,3 = 1,878 \text{ Om}.$$

Qısa qapanmanın induktiv müqavimətini $X_{q.q.}$ təyin etməyə imkan verən γ parametrini tapırıq:

$$\gamma = [(1/s_{\kappa}^2) - \beta^2]^{1/2} = [(1/0,2547^2) - 1,3^2]^{1/2} = 3,704.$$

Deməli, qısa qapanmanın induktiv müqaviməti:

$$X_{q.q.} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 3,704 \cdot 1,037 \cdot 1,393 = 5,352 \text{ Om}.$$

Stator dolağına gətirilmiş rotor dolağı fazasının səpilmə müqaviməti aşağıdakı ifadədən hesablanı bilər:

$$X'_{2\sigma N} = 0,58 \cdot X_{q.q.} / C_1 = 0,58 \cdot 5,352 / 1,037 = 2,994 \text{ Om}.$$

Stator dolağının faza səpilmə induktiv müqaviməti belə təyin olunur:

$$X_{1\sigma N} = 0,42 \cdot X_{q.q.} = 0,42 \cdot 5,353 = 2,248 \text{ Om}.$$

Vektor diaqramına (şəkil 5.3) görə stator dolağındakı aralıqda yaranan maqnitlənmə budağının EQ-si (E_m) nominal rejimdə belə olacaq:

$$\begin{aligned} E_{mN} &= \\ &= \sqrt{(U_{1N} \cdot \cos \varphi_{1N} - R_1 \cdot I_{1N})^2 + (U_{1N} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{1N}} + X_{1\sigma N} \cdot I_{1N})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,81 - 1,878 \cdot 9,125)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,81^2} + 2,248 \cdot 9,125)^2} = \\ &= 219,77 \text{ V}. \end{aligned}$$

Maqnitlənmə konturunun induktiv müqaviməti:

$$X_{mN} = E_{mN} / I_0 = 219,77 / 4,046 = 54,47 \text{ Om}.$$

Cədvəl 1.1-də asinxron mühərrikin əvəzetmə sxeminin bu mühərrikin layihə hesablamalarına daxil edilmiş (sətir 2) kataloq verilənlərinə (sətir 1) görə parametrləri və həmçinin hər bir parametrin təyin olunma δ % xətası (sətir 3) göstərilmişdir.

Cədvəl 5.1

Parametr	R_1	$X_{1\sigma}$	R'_2	$X'_{2\sigma}$	X_m
Hesablama	1,878	2,248	1,393	2,994	54,47
Layihə	1,856	1,759	1,494	2,651	48,2
Xəta, %	1,17	21,7	8,0	11,4	11,2

Cədvəl 1.1-də verilmiş nəticələrin analizi göstərir ki, əvəzetmə sxeminin hesablama parametrləri ilə istehsalçı-zavod layihə verilənlərinin uyğunluğu əsasən mühəndis yolvermələri daxilində yerləşir.

Məsələ 5.3.

4A112MB6Y3 tip qısa qapanmış asinxron mühərrik üçün təbii mexaniki və elektromexaniki statik xarakteristikaları hesablamaq və qurmaq.

Asinxron mühərrikin və onun əvəzetmə sxeminin əsas parametrləri bunlardır:

- nominal güc $P_N = 4$ kVt;
- nominal faza gərginliyi $U_{1N} = 220$ V;
- nominal sürüşmə $s_N = 0,051$ ş.v;
- stator dolağının nominal cərəyanı $I_{1N} = 9,125$ A;
- stator dolağı fazasının aktiv müqaviməti $R_1 = 1,878$ OM;
- stator dolağı fazasının səpilməsinin induktiv müqaviməti $X_{1\sigma} = 2,248$ OM;
- stator dolağına gətirilmiş rotorun aktiv müqaviməti $R'_2 = 1,393$ OM;
- stator dolağına gətirilmiş rotor dolağının faza səpilməsinin induktiv müqaviməti $X'_{2\sigma} = 2,994$ OM;

- işəsalma cərəyanının tamlığı $I_{i.s.}/I_{IN} = k_i = 6$ ş.v.;
- maksimal momentin tamlığı $\max M_{\max}/M_N = k_{\max} = 2,2$ ş.v.;

- momentin tamlığı $\max M_{\min}/M_N = k_{\min} = 1,6$ ş.v.

Həlli. Mühərrikin sinxron bucaq sürətini təyin edək:

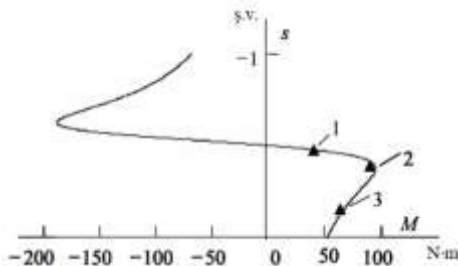
$$\omega_0 = \pi \cdot n_0 / 30 = 3,1415 \cdot 1000 / 30 = 104,7 \text{ rad/san.}$$

Asinxron mühərrikin təbii mexaniki xarakteristikasının hesablanması (1.7) ifadəsinə uyğun olaraq aparılır:

$$M = \frac{m_1 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + R_2' \cdot s^{-1} \right)^2 + \left(X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1,393}{104,7 \cdot s \cdot \left[(1,878 + 1,393 \cdot s^{-1})^2 + (2,248 + 2,994)^2 \right]}.$$

(5.7) ifadəsinə görə MathCAD riyazi sistemində hesablanmış mexaniki xarakteristika şəkil 1.6-da verilmişdir.



Şək. 5.6. Asinxron mühərrikin təbii mexaniki xarakteristikası: 1 – nominal moment, 2 – maksimal moment, 3 – minimal moment

Mühərrikin əlavə parametrlərini təyin edək.

- Mühərrik rejiminin kritik momenti:

$$M_{KM} = \frac{m_1 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{q.q}^2} \right]} = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104,7 \left[1,878 + \sqrt{1,878^2 + 5,242^2} \right]} = 93,216 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

- Kritik sürüşmə:

$$s_{kr} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{q.q}^2}} = \frac{1,393}{\sqrt{1,878^2 + 5,242^2}} = \pm 0,2456 \text{ ş. v.}$$

- Mühərrikin nominal sürəti:

$$\omega_N = \omega_0(1 - s_N) = 104,7(1 - 0,051) = 99,36 \text{ rad/san.}$$

- Mühərrikin nominal momenti:

$$M_N = P_N / \omega_N = 4000 / 99,36 = 40,25 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

- Mühərrikin maksimal momenti:

$$M_{max} = k_{max} \cdot M_N = 2,2 \cdot 40,25 = 88,55 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

- Mühərrikin minimal momenti:

$$M_{min} = k_{min} \cdot M_N = 1,6 \cdot 40,25 = 64,4 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

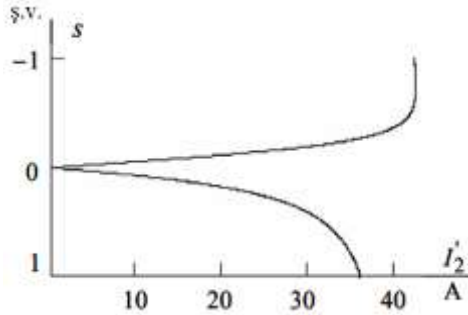
Nöqtələrin nominal, maksimal və minimal moment üçün tapılmış koordinatları asinxron mühərrikin heablanmış təbii mexaniki xarakteristika qrafikində (şəkil 5.6) üçbucaq şəklində qeyd edilmişdir.

Nəticə. Heablamaların analizi göstərir ki, mühərrikin kataloq verilənlərinə uyğun tapılmış kontrol nöqtələr asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikasının hesablanmış qrafiki ilə yaxşı uzlaşır, bu səbəbdən asinxron mühərrikin əvəzetmə sxeminin parametrlərinin kataloq verilənlərinə görə təyin olunma metodikasını kafi hesab etmək olar.

Stator dolağına gətirilmiş I_2' rotor cərəyanının s sürüşmədən asılılığını təyin edək:

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{q,q}^2}} = \frac{220}{\pm \sqrt{\left(1,878 + \frac{1,393}{s}\right)^2 + 5,242^2}}.$$

Elektromexaniki xarakteristikanın (5.2) düsturu üzrə MathCAD riyazi sistemində hesablanmış $I_2' = f(s)$ qrafiki şəkil 5.7-də göstərilir.



Şək. 5.7. Elektromexaniki xarakteristikanın $I_2' = f(s)$ qrafiki

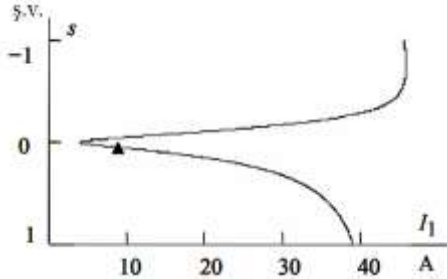
$I_1 = f(s)$ elektromexaniki xarakteristikası (5.2) tənliyindən tapılmış I_2' cərəyanı nəzərə alınmaqla (5.4) ifadəsinə görə hesablayırıq:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I_2')^2 + 2I_0 \cdot I_2' \cdot \sin\varphi_2} = \sqrt{4,046^2 + (I_2')^2 + 2 \cdot 4,046 \cdot I_2' \cdot \sin\varphi_2},$$

burada,

$$\sin\varphi_2 = \frac{x_{q,q}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + x_{q,q}^2}} = \frac{5,242}{\sqrt{\left(1,878 + \frac{1,393}{s}\right)^2 + 5,242^2}}$$

Elektromexaniki $I_1 = f(s)$ xarakteristika şəkil 5.8-də verilmişdir.



Şək. 5.8. Asinxron mühərrikin elektromexaniki $I_1 = f(s)$ xarakteristikası: ▲ – mühərrikin nominal parametrlərinə uyğun nöqtə

Asinxron mühərrikin $s_N = 0,051$ nominal sürüşmədə I_{1N} stator cərəyanını elektromexaniki xarakteristikaya görə təyin edək.

Nominal sürüşmədə mühərrik rotorunun cərəyanı:

$$I'_{2N} = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{q,q}^2}} = \frac{220}{\pm \sqrt{\left(1,878 + \frac{1,393}{0,051}\right)^2 + 5,242^2}} = 7,42 \text{ A.}$$

Faza gərginliyi $\overline{U_{1j}}$ vektoru və rotor cərəyanı – I'_2 qoşma vektoru arasındakı bucağın sinusu (şəkil 1.3):

$$\sin\varphi_{2N} = \frac{x_{q,q}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_N}\right)^2 + x_{q,q}^2}} = \frac{5,17}{\sqrt{\left(1,878 + \frac{1,393}{0,051}\right)^2 + 5,242^2}} = 0,00595.$$

Mühərrik statorunun nominal cərəyanı:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I_2')^2 + 2I_0 \cdot I_2' \cdot \sin\varphi_{2N}} = \sqrt{4,046^2 + 7,242^2 + 2 \cdot 4,046 \cdot 7,242 \cdot 0,00595} = 9,056 \text{ A}.$$

Nəticə. Asinxron mühərrikin elektromexaniki xarakteristikasına görə təyin olunmuş onun nominal stator cərəyanının qiyməti, kataloq verilənlərinə əsasən hesablanmış qiymətlə praktiki olaraq üst-üstə düşür: $I_{1N} = 9,125 \text{ A}$ (məsələn 5.1). Bu isə asinxron mühərriklərin əvəzetmə sxeminin parametrlərinin kataloq verilənlərinə görə təyin olunması metodikasının düzgünlüyünü sübut edir.

5.1.4. Asinxron mühərrikin dinamik mexaniki xarakteristikası

Asinxron mühərrikin dinamik mexaniki xarakteristikası dedikdə sürət (sürüşmə) və elektrik maşınının momentinin anı qiymətləri arasındakı asılılıq başa düşülür (keçid iş rejimində eyni zaman anı üçün).

Asinxron mühərrikin dinamik mexaniki xarakteristikasının qrafikini mühərrikin stator və rotor dövrələrində elektrik tarazlığı differensial tənliklər sistemini və elektromaqnit momentinin tənliklərindən bir ilə birlikdə həll etməklə almaq olar:

$$\frac{d\psi_{1a}}{dt} = U_{1a} - \frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left(\psi_{1a} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2a} \right);$$

$$\begin{aligned}\frac{d\psi_{1b}}{dt} &= U_{1b} - \frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left(\psi_{1a} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2b} \right); \\ \frac{d\psi_{2a}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left(\psi_{2a} - \frac{X_m}{X_1} \psi_{1a} \right) - \omega \psi_{2b}; \\ \frac{d\psi_{2b}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left(\psi_{2b} - \frac{X_m}{X_1} \psi_{1b} \right) + \omega \psi_{2a}; \\ M &= \frac{3 \cdot Z_p \cdot X_m}{2 \cdot X_1} (\psi_{1b} i_{2a} - \psi_{1a} i_{2b})\end{aligned}\quad (5.35)$$

(5.35) tənliklər sistemində aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

U_{1a} – tərpənməz koordinat sisteminin a oxu üzrə yönəlmiş stator dolağının gərginlik vektorunun tərkib hissəsi;

U_{1b} – tərpənməz koordinat sisteminin b oxu üzrə yönəlmiş stator dolağının gərginlik vektorunun tərkib hissəsi;

$X_1 = X_{1\sigma} + X_m$ – stator dolağının səpilməsinin induktiv müqavimətinə və əsas səhədən induktiv müqavimətə bərabər olan ekvivalent induktiv müqaviməti;

$X_2' = X_{2\sigma}' + X_m$ – stator dolağının səpilməsinin induktiv müqavimətinə və əsas səhədən induktiv müqavimətə bərabər olan stator dolağına gətirilmiş rotor dolağının ekvivalent induktiv müqaviməti;

X_m – stator cərəyanlarının toplam təsirinin yaratdığı əsas səhədən (maqnitlənmə konturu) induktiv müqavimət;

ψ_{1a} – tərpənməz koordinat sisteminin a oxu üzrə yönəlmiş stator dolağının sel ilişməsi vektorunun tərkib hissəsi;

ψ_{1b} – tərpənməz koordinat sisteminin b oxu üzrə yönəlmiş stator dolağının sel ilişməsi vektorunun tərkib hissəsi;

ψ_{2a} – tərpənməz koordinat sisteminin a oxu üzrə yönəlmiş rotor dolağının sel ilişməsi vektorunun tərkib hissəsi;

ψ_{2b} – tərpənməz koordinat sisteminin b oxu üzrə yönəlmiş rotor dolağının sel ilişməsi vektorunun tərkib hissəsi;

i_{2a} – tərpənməz koordinat sisteminin a oxu üzrə yönəlmiş rotor dolağının cərəyan vektorunun tərkib hissəsi;

i_{2b} – tərpənməz koordinat sisteminin a oxu üzrə yönəlmiş rotor dolağının cərəyan vektorunun tərkib hissəsi.

Asinxron elektrik intiqalında elektromexaniki proseslər hərəkət tənliyi ilə təsvir olunur: $J_{\Sigma} = \text{const}$ halı üçün:

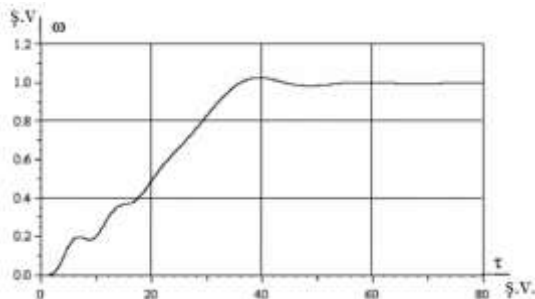
$$M - M_m = J_{\Sigma}(d\omega/dt), \quad (5.36)$$

burada, M_m – mühərrikin valına gətirilmiş yükün müqavimət momenti; J_{Σ} – mühərrikin valına gətirilmiş elektrik intiqalının toplam ətalət momentidir.

Asinxron mühərrikdə dinamik enerji çevrilməsi proseslərinin analizi asinxron mühərrikləri təsvir edən, tənliklərin (dəyişənlərinin hasili ilə şərtlənən) qeyri-xətti olması səbəbindən mürəkkəb məsələdir. Bu səbəbdən asinxron mühərrikin dinamik xarakteristikalarının tədqiqinin hesablama texnikasının vasitələri ilə aparılması məqsəduyğun sayılır.

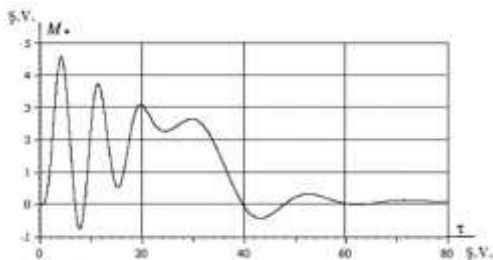
(5.35) və (5.36) tənliklər sisteminin MathCAD proqram mühitində birlikdə həlli ω sürət və M momenti keçid proseslərinin qrafiklərini asinxron mühərrikin əvəzetmə sxeminin parametrlərinin 5.3 məsələsində təyin olunmuş ədədi qiymətlərində hesablamağa imkan verir.

Asinxron mühərrikin dinamik mexaniki xarakteristikasını yalnız keçid proseslərinin hesablanması ilə almaq mümkün olduğundan əvvəlcə sürət (şəkil 5.9) və momentin (şəkil 5.10) keçid proseslərinin asinxron mühərrikin birbaşa şəbəkəyə qoşulmaqla işə salınması zamanı qrafiklərini verək.

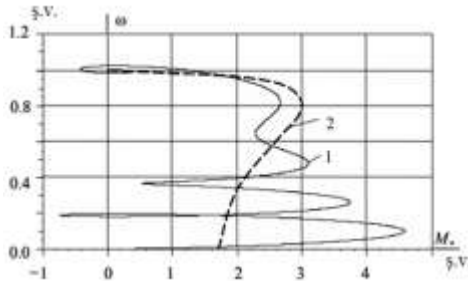


Şək. 5.9. Tərpənməz koordinat sistemində modeləşmədə qısa qapanmış asinxron mühərrikin birbaşa şəbəkəyə qoşulmaqla işə salınması zamanı sürətin keçid prosesi

Keçid proseslərinin $\omega = f(\tau)$ və $M = f(\tau)$ grafikləri asinxron mühərrikin birbaşa şəbəkəyə qoşulmaqla işə salınması zamanı dinamik müxaniki xarakteristikasını qurmağa imkan verir (şəkil 5.11, əyri 1). Müqayisə üçün elə bu şəkildə asinxron mühərrikin əvəzetmə sxeminin həmin parametrləri üçün (5.7) ifadəsindən hesablanmış statik mexaniki xarakteristika (2) verilmişdir.



Şək. 5.10. Tərpənməz koordinat sistemində modeləşmədə qısa qapanmış asinxron mühərrikin birbaşa şəbəkəyə qoşulmaqla işə salınması zamanı elektromaqnit momentin keçid prosesi



Şek. 5.11. Qısa qapanmış asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikaları: 1 – dinamik; 2 – statik

Asinxron mühərrikin dinamik mexaniki xarakteristikasının analizi göstərir ki, işəsalma zamanı maksimal zərbə momentləri statik mexaniki xarakteristikanın M_N nominal momentindən 4,5 dəfə böyükdür və mexaniki gərginliyə görə yolverilməz böyük qiymətlər ala bilər. Asinxron mühərrikin işəsalma və xüsusi ilə də revers zamanı zərbə momentləri istehsal mexanizmlərinin və asinxron mühərrikin özünün kinematikasının sıradan çıxmasına gətirir.

MathCAD proqram mühitində modelləşmə asinxron mühərrikin dinamik mexaniki xarakteristikalarının tədqiqini sadə şəkildə həyata keçirməyə imkan verir. Müəyyən edilmişdir ki, dinamik xarakteristika yalnız asinxron mühərrikin əvəzetmə sxeminin parametrləri ilə deyil, həm də elektrik intiqalının – ekvivalent ətalət J_Σ momenti, valda müqavimət M_m momenti kimi parametrləri ilə də təyin olunur. Deməli, qidalanma mənbəyinin və əvəzetmə sxeminin verilmiş parametrlərində bir statik və çoxlu sayda dinamik mexaniki xarakteristikalara malik olur.

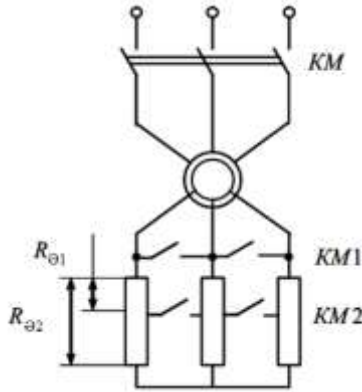
Dinamik xarakteristikaların şəkil 5.9-5.10 analizindən görünür ki, qısa qapanmış asinxron mühərrikin keçid işəsalma prosesi nəinki başlanğıc və həm də son sahədə rəqs xarakterinə

malik ola bilər (bu zaman mühərrikin sürəti sinxron ω_0 sürətindən böyükdür). Praktikada mühərrikin keçid prosesinin son sahəsində bucaq sürəti və momentinin rəqsi hər zaman müşahidə edilmir. Bundan əlavə, belə rəqslərin ləğvi vacib olan böyük miqdarda istehsal mexanizmləri mövcuddur. Xarakterik misal – qaldırıcı mexanizmlər və qaldırıcı kranların yerdəyişməsidir. Belə mexanizmlər üçün yumşaq mexaniki xarakteristikalara və ya yüksək sürüşməyə malik asinxron mühərriklər buraxılır. Müəyyən olunmuşdur ki, asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikasının işçi sahəsi nə qədər yumşaq olarsa, elektrik intiqalının ekvivalent ətalət momenti bir o qədər yüksək, qərarlaşmış sürətə rəqslərin amplitudu çıxışda kiçik olacaq və rəqslər daha tez sönəcəkdir.

Dinamik mexaniki xarakteristikaların tədqiqi nəzəri və praktiki əhəmiyyətə malikdir belə ki, 5.1.1 paragrafında göstərildiyi kimi yalnız statik mexaniki xarakteristikaların nəzərə alınması heç də korrekt nəticələr almağa imkan verməyəcək və asinxron mühərriklərin işə salınması zamanı dinamik yüklənmələrin xarakterinin təhrifinə gətirəcəkdir. Tədqiqatlar göstərir ki, dinamik momentin maksimal qiymətləri mühərrikin nominal momentini şəbəkəyə birbaşa qoşulma ilə işəsalma zamanı 2 – 5 dəfə, mühərrikin reversi zamanı isə 4 – 10 dəfə üstələyər bilər ki, bunları elektrik intiqallarının hazırlanması və işlənilməsi zamanı nəzərə almaq lazımdır.

5.1.5. Asinxron mühərrikin sürətinin lövbər dolağı dövrəsindəki əlavə aktiv müqavimətin dəyişməsi ilə nizamlanması

Nizamlanma üsulu qaldırıcı kranların həm yerdəyişmə və həm də qaldırma mexanizmlərində elektrik intiqalları üçün tətbiq edilir. Adətən, faza rotorlu asinxron mühərrikin rotor dövrəsinə sekiyaləşdirilmiş, pillələri nizamlama kontaktları ilə birləşən rezistor daxil edilir.



Şək. 5.12. Əlavə aktiv müqavimətli rotor dolağı dövrəsinə mslık asinxron mühərrikin güc dövrələrinin sxemi

Əlavə aktiv müqavimətli rotor dolağı dövrəsinə mslık asinxron mühərrikin güc dövrələrinin sxemi şəkil 5.12-də verilmişdir.

Asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikalarının analizini– üç xarakterik nöqtə üzrə baza təbii xarakteristikasına nəzərən aparaq:

1) $s = 0$; $M = 0$, bu zaman mühərrikin sürəti sinxron $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / z_p$ qiymətə bərabər olacaqdır deməli, bütün süni xarakteristikalar bir ω_0 nöqtəsindən çıxacaqdır..

2) İkinci nöqtəyə iki koordinat uyğun gəlir – mühərrik iş rejimində rotor dolağı dövrəsindəki əlavə müqavimətdən asılı olmayan kritik moment:

$$M_k = \frac{m_1 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot (R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{q.q.}^2})} = const,$$

rotor dolağı dövrəsinin aktiv müqavimətinə mütənasib olan kritik sürüşmə:

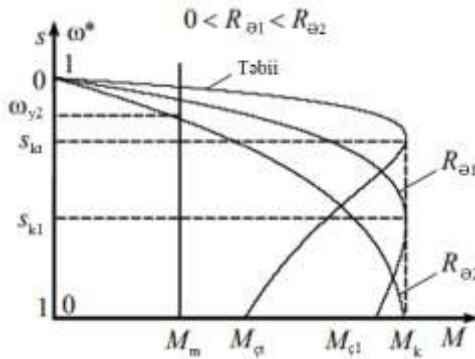
$$s_k = \pm \frac{R'_2 + R'_{2\vartheta}}{\sqrt{R_1^2 + X_{q.q.}^2}} \equiv R'_2 + R'_{2\vartheta}.$$

Deməli, rotor dolağı dövrəsində əlavə $R'_{2\vartheta}$ müqavimətin böyüməsi s_k kritik sürüşmənin artmasına gətirəcəkdir.

3) $s = 1$, bu zaman mühərrikin sürəti sıfır, moment isə işəsalma momentinə $M = M_{i.s.}$ bərabər olacaqdır. Asinxron mühərrikin işəsalma momentini Klossun sadələşdirilmiş düsturundan (5.11) təyin edək. $s = 1$ olduqda:

$$M_{i.s.} = 2 \cdot M_k \cdot s_k / (1 + s_k). \quad (5.37)$$

(5.37) ifadəsinin analizi göstərir ki, s_k -nin kiçik qiymətlərində asinxron mühərrikin işəsalma momenti rotor dolağı dövrəsinin $R'_{2\vartheta}$ əlavə müqavimətinin artması ilə böyüyür, böyük $R'_{2\vartheta}$ müqavimətinin daxil edilməsi $M_{i.s.}$ işəsalma momentinin azalmasına gətirəcəkdir. Faza rotorlu asinxron elektrik mühərrikinin mexaniki reostat xarakteristikaları ailəsi şəkil 5.13-də təqdim olunmuşdur.



Şək. 5.13. Faza rotorlu asinxron elektrik mühərrikinin mexaniki reostat xarakteristikaları

Sürətin reostat nizamlanması bir qayda olaraq, pilləlidir və yük altında həyata keçirilir. Nizamlanmanın istiqaməti – təbii xarakteristikadan aşağı. Sürətin M_m yük altında qərarlaşmış ω_{yi} qiyməti lövbər dolağı dövrəsindəki əlavə müqavimətin artması ilə azalır.

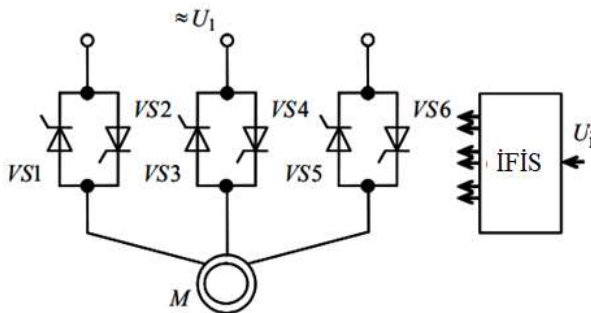
Kiçik sürətlərdə qeyri-stabil iş sürətin nizamlanma diapazonunu nominal yüklənmə zamanı $D = 1:(3 \div 4)$ qiymətinə qədər məhdudlaşdırır.

Sürət nizamlanmasının təhrifi rotorun əlavə müqavimətinin böyüməsi ilə artır.

Sürətin nizamlanması rotorun əlavə müqavimətlərində güc itkiləri ilə müşayiət olunur.

5.1.6. Bucaq sürəti faza nizamlanması olan asinxron elektrik intiqalı

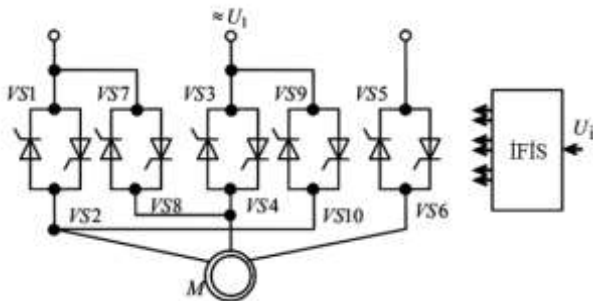
Asinxron mühərrikli elektrik intiqallarının etibarlılığının və qənaətli işləməsinin effektiv artırılması imkanlarından biri gərginliyin tiristor nizamlayıcılarından istifadə olunmasıdır. Gərginliyin qeyri-revers tiristor nizamlayıcılı güc dövrələrinin sxemi şəkil 5.14-də verilmişdir.



Şək. 5.14. Gərginliyin qeyri-revers tiristor nizamlayıcılı güc dövrələrinin sxemi

Sxem üç cüt qarşılıqlı-paralel qoşulmuş impuls-faza idarəetmə sistemindən idarə olunan U_i giriş siqnalı VS1–VS6 tiristorlardan ibarətdir. İdarəetmə gərginliyini dəyişərək gərginliyin mühərrikin statorunun dolaqlarındakı təsiredici qiymətini hamar şəkildə idarə etmək olar.

Şəkil 5.14-dəki sxemə daha iki cüt tiristorun əlavə edilməsi, mühərrikin iki istiqamətdə fırlanması imkanını təmin edən revers sxemini almağa imkan verir (şəkil 5.15). Gərginliyin elə də böyük gücə malik olmayan tiristor nizamlayıcılarında tiristorlar cütü əvəzinə simmetrik tiristorlar – simistorlar həmçinin, müxtəlif o cümlədən optron tip tiristor modulları istifadə olunur.



Şək. 5.15. Gərginliyin reversiv tiristor nizamlayıcısının güc dövrələrinin sxemi

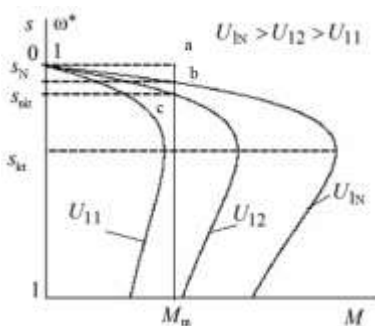
Asinxron mühərrikin gərginliyin dəyişməsi ilə sürətin nizamlanması zamanı mexaniki xarakteristikası 1.10 ifadəsi ilə təyin olunur:

$$M = \frac{2 \cdot M_k (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s_k + s}{s} + 2 \cdot a \cdot s_k},$$

burada, $s_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{q,q}^2}}$ – kritik sürüşmə,

$M_k = \frac{m_1 \cdot U_{1j}^2}{2\omega_0(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{q,q}^2})}$ – kritik momentdir.

Faza gərginliyinin U_{1j} azalması zamanı mühərrikin sinxron ω_0 sürəti və kritik s_k sürüşməsi sabit qalır, kritik M_k moment isə faza gərginliyinin kvadratına mütənasib olaraq azalır. Uyğun olaraq, mexaniki xarakteristikanın işçi hissəsinin sərtliyi də azalır. Sabit M_m yüklənmə zamanı sürətin nizamlanması ω_0 -dan $\omega_0(1 - s_{kt})$ qiymətinə qədər diapazonda mümkündür. Qısa qapanmış rotora malik asinxron mühərrikin stator dolağının gərginliyinin dəyişməsi zamanı mexaniki xarakteristikaları şəkil 5.16-da göstərilir.



Şək. 5.16. Qısa qapanmış rotora malik asinxron mühərrikin stator dolağının gərginliyinin dəyişməsi zamanı mexaniki xarakteristikaları

Qidalandırıcı gərginliyin 30% düşməsi zamanı asinxron mühərrikin kritik momenti təxminən iki dəfə azalır və statik

moment kofayət qədər olduqda mühərrik dayana bilər və işəsalma cərəyanı altında qalar. Göstərilən hallar zəif elektrik şəbəkələrdə (kənd yerləri) baş verir. Deməli, elektrik intiqalının idarəetmə sistemində mühərrikin yolverilməz cərəyan altında uzun müddət qalmasının qarşısını alan zaman-cərəyan müdafiəsi olmalıdır.

Eyni zamanda stator dolaqlarına verilən gərginliyin bilərəkdən azaldılması asinxron mühərrikin sürətinin nizamlanması və işəsalmanın hamarlığı üçün tez-tez istifadə olunur.

Stator dolağı gərginliyinin dəyişməsi ilə asinxron mühərrikin sürətinin nizamlanması onun rotorunun qızması ilə müşayət olunur və müəyyən şərtlər daxilində aparıla bilər:

- sürətin nominala nəzərən kiçik diapazonda azalması;
- nominal momentə nəzərən mühərrikin valında müqavimətin azaldılması;
- mühərrikin yüksək sürüşmə ilə istifadə olunması zamanı. Tutaq ki, mühərrik valında müqavimət momenti sabit qalır və nominala bərabərdir ($M_m = M_N$). Gərginliyin U_{12} qiymətinə qədər azalması zamanı mühərrik s_p sürüşməsi və $\omega_p = \omega_0(1 - s_p)$ sürəti ilə işləyəcəkdir. İtkilər şəklində ayrılan ΔP_{M2} gücü aşağıdakı ifadə ilə hesablanacaq:

$$\Delta P_{M2} = M_m \cdot \omega_0 \cdot s_p = 3 \cdot (I_2')^2 \cdot R_2'.$$

və $0.05s_p$ düzbucaqlısının sahəsinə mütənasib olacaqdır.

Mühərrikin konstruksiyası hesablanmış sürüşmənin səpilməyə nominal gücü $0.05s_N$ sahəsinə mütənasibdir, “c” nöqtəsində işləyən mühərrikin rotorunda olan itkilərdən təxminən iki dəfə azdır. Təbiidir ki, göstərilən rejimdə mühərrikin rotoru qızacaqdır. Bu səbəbdən asinxron mühərrikin statorun gərginliyinin dəyişməsi ilə sürətinin nizamlanması yalnız sürətin azalması zamanı M_m müqavimət momentinin nominal momentdən nəzərəcarpacaq dərəcədə azalması şərtində

mümkündür. Sürətin azalması ilə müqavimət momentinin azalması xasəsinə ventilyator yüklənmələri malik olur:

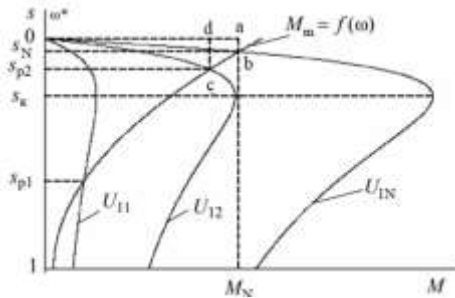
$$M_m = M_0 + a \cdot \omega^x, \quad (5.38)$$

burada, M_0 – sürtünmə qüvvələrindən olan moment, N·m; a – əmsal, N·m·san/rad; $x = 3$ – mərkəzəqaçma nasosları üçündür.

Ventilyator yüklənmələri halı üçün mexaniki xarakteristikalar şəkil 5.17-də verilmişdir.

Sürətin ω_N qiymətindən $\omega_0(1 - s_p)$ qiymətinə qədər azalması ilə M_m müqavimət momenti sürətin azalma qiymətindən kvadrat dəfə kiçildiyindən rotor dolağında ΔP_{M2} güc itkiləri sürətin azalması ilə sabit yüklənmədə olduğundan az dərəcədə artır.

Elektrik intiqalının qərarlaşmış iş rejimlərinə uyğun gələn sürətləri qrafiki olaraq asinxron mühərrikin $M = f(\omega)$ mexaniki xarakteristikaların və ventilyatorun $M_m = f(\omega)$ mexaniki xarakteristikasının kəsişdiyi nöqtələrə əsasın təyin etmək olar.



Şək. 5.17. Asinxron mühərrikin statorun gərginliyinin nizamlanması və yüklənmənin ventilyator momenti zamanı mexaniki xarakteristikaları

Sürət və ya sürüşmənin qərarlaşmış qiymətlərinə uyğun gələn s_N , s_{p1} , s_{p2} nöqtələr dayanıqlı və ya dayanıqsız tarazlığa uyğun gələ bilər.

Elektrik intiqalının ventilyator yüklənmədə s_{p1} sürüşməsi zamanı işləməsinin dayanıqlığı haqqında sual yaranır.

Elektrik intiqalının işinin dayanıqlıq kriteriyası aşağıdakı bərabərsizliyin ödənilməsi sayılır:

$$k_\beta - k_{\beta c} < 0, \quad (5.39)$$

burada, $k_\beta = dM/d\omega$ – qərarlaşmış rejim nöqtəsində mühərrikin mexaniki xarakteristikasının sərtliyi; $k_{\beta m} = dM_m/d\omega$ – mexanizmin (ventilyatorun) qərarlaşmış rejim nöqtəsində mexaniki xarakteristikasının sərtliyidir.

Ventilyatorun mexaniki xarakteristikasının sərtliyini analitik olaraq 5.38 ifadəsindən asanlıqla tapmaq olar:

$$k_{\beta m} = \frac{dM_m}{d\omega} = \frac{d(M_0 + a \cdot \omega^2)}{d\omega} = 2 \cdot a \cdot \omega. \quad (5.40)$$

(1.40) ifadəsindən alınır ki, ventilyatorun $k_{\beta m}$ sərtliyi onun sürəti böyüdükcə xətti artır və sürət nizamlanmasının bütün diapazonunda müsbətdir.

Mühərrikin mexaniki xarakteristikasının sərtliyini təyin etmək üçün (5.7) ifadəsində sürüşmənin $s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$ qiymətini nəzərə alaraq çevrilmə aparaq:

$$M = \frac{m_m \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{(\omega_0 - \omega) \left[\left(R_1 + R_2' \cdot \left(\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \right)^{-1} \right)^2 + \left(X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' \right)^2 \right]}. \quad (5.41)$$

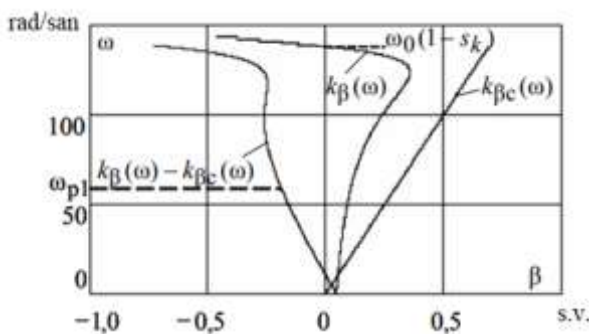
Belə olan halda:

$$k_{\beta} = \frac{dM}{d\omega} = \frac{d \left\{ \frac{m_m \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{(\omega_0 - \omega) \left[\left(R_1 + R_2' \cdot \left(\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \right)^{-1} \right)^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2 \right]} \right\}}{d\omega}. \quad (5.42)$$

Ventilyator və mühərrikin məlum parametrlərində $k_{\beta m}$ və k_{β} -nin qiymətləri (5.40) və (5.42) ifadələrinin MathCAD riyazi sistemində ədədi differensiasiya yolu ilə sadə şəkildə təyin olunur. $k_{\beta m}$ və k_{β} -nin hesablamalarının həmçinin statorun U_{11} gərginliyi üçün tapılmış $k_{\beta m} - k_{\beta}$ fərqi şəkil 5.18-də verilir.

5.18 şəklindəki qrafik asılılıqların analizi göstərir ki, (5.39) şərti sürətin $\omega_{p1} = \omega_0(1 - s_{p1})$ qiyməti ətrafında ödənilir. Bu səbəbdən ventilyatorun s_{p1} sürüşməsində fırlanması dayanıqlı olacaqdır.

Ventilyatorların sürətinin gərginliyin dəyişməsi ilə nizamlanması zamanı s_{p1} sürüşməsindən böyük sürüşmələrdə ventilyatorun dayanıqlı fırlanması praktiki tədqiqatlarla müxtəlif növ ventilyatorlar üçün sübut olunur.



Şək. 5.18. Asinxron mühərrikin k_{β} və ventilyatorun $k_{\beta m}$ sərtliliyinin sürətdən asılılıqları

Nəticə. Ventilyatorun mexaniki xarakteristikasının xüsusiyyəti asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikasının s_k -dan böyük sürüşmə sahəsində işləməyə imkan verir ki, bu da

praktiki olaraq digər növ yüklənmələr üçün mümkün deyildir. Lakin, böyük sürüşmələrdə iş asinxron mühərrikin rotorunda böyük itkilər yaradır.

Asinxron mühərrikdə tam elektromaqnit itkilər:

$$\Delta P_{EM} = \Delta P_{M1} + \Delta P_{M2} + \Delta P_{p1}, \quad (5.43)$$

burada, ΔP_{M1} – statorun misində itkilər, Vt; ΔP_{M2} – rotor dolağında itkilər, Vt; ΔP_{p1} – rotorun poladında itkilərdir, Vt.

Təbii xarakteristikada işləyən zaman bu itkilər aşağıdakı ifadələrdən tapılır:

$$\Delta P_{m1} = \left[\frac{I_0}{I_{1N}} + \left(1 - \frac{I_0}{I_{1N}} \right) \mu_s^2 \right] \Delta P_{m1N};$$

$$\Delta P_{m2} = \mu_s^2 \cdot \Delta P_{m2N};$$

$$\Delta P_{p1} = [B + (1 - B)\mu_s^2] \Delta P_{p1N}. \quad (5.44)$$

burada, $\Delta P_{m1N} = 3 \cdot I_{1N}^2 \cdot R_1$ – stator misində nominal itkilər, Vt; $\Delta P_{m2N} = 3 \cdot (I'_{1N})^2 \cdot R'_2$ – rotor dolağında nominal itkilər, Vt; $\Delta P_{p1N} = \Delta P_N - [\Delta P_{m1N} + 1,5 \cdot 10^{-2} P_N + 10^{-2} (P_N \cdot s_N / (1 - s_N))]$ – rotor poladında nominal itkilər, Vt; $\Delta P_N = P_N (1 - \eta_N) / \eta_N$ – mühərrikdə toplam itkilər, Vt; $\mu_s = M_m / M_N$ – statik yüklənmə momentinin nisbi qiyməti, ş.v.; B – asinxron mühərrikin seriyasından asılı olan konstruksiya əmsalı, ş.v. $B = 0,96 - 0,98$ – 4A seriyalı asinxron mühərriklər üçün; $B = 0,94 - 0,97$ – kran-metallurgiya seriyaları üçün.

Stator dolağı gərginliyinin azalması hesabına reallaşan nizamlayıcı xarakteristikada işləyən zaman asinxron mühərrikdə tam elektromaqnit itkilər aşağıdakı ifadələrə uyğun təyin olunur:

$$\Delta P_{m1} = 1,1 \cdot \mu_s^2 \left[\frac{I_0 \cdot s_N}{I_{1N} \cdot s} + \left(1 - \frac{I_0}{I_{1N}} \right) \frac{s_N}{s} \right] \Delta P_{m1N};$$

$$\Delta P_{m2} = 1,1 \cdot \mu_s^2 \left(\frac{s}{s_N} \right) \cdot \Delta P_{m2N};$$

$$\Delta P_{p1} = \mu_s^2 \cdot \left[B \frac{s_N}{s} + (1 - B) \frac{s_N}{s} \right] \Delta P_{p1N}. \quad (5.45)$$

(5.45) ifadəsinin analizi göstərir ki, azaldılmış gərginlik xarakteristikasında işləyən zaman rotor dolağında ΔP_{m2} itkilər artır lakin, stator misində ΔP_{m1} və poladında ΔP_{p1} itkilər isə azalır. Onların nisbəti elə olur ki, azaldılmış gərginlik xarakteristikasında işləyən zaman ümumi elektromaqnit itkilər ΔP_{EM} təbii xarakteristikada işləyən zaman olduğundan kiçik alınır.

Texniki ədəbiyyatda verilənlərə görə gərginliyin azaldılması ilə sürətin nizamlanması zamanı ventilyator yüklənməsinə lazım olan elektrik enerjisi 1,5 – 2 dəfə azalır. Elektrik enerjisinin qənaəti mühərrikin momenti nominal qiymətlə müqayisədə kiçik olduqca böyük alınacaqdır.

Məsələ 5.4. 4A112MB6Y3 tip qısa qapanmış asinxron mühərrik üçün mexaniki və elektromexaniki statik xarakteristikaları statorun dolağının gərginliyinin aşağıdakı qiymətlərində hesablamalı və qurmalı: $U_{11} = 0,7 \cdot U_{1N}$; $U_{12} = 0,8 \cdot U_{1N}$; U_{1N} .

Asinxron mühərrikin və onun əvəzetmə sxeminin əsas parametrləri:

- nominal güc $P_N = 4 \text{ kVt}$;
- nominal faza gərginliyi $U_{1N} = 220 \text{ V}$;
- nominal sürüşmə $s_N = 0,051 \text{ ş.v}$;
- stator dolağının nominal cərəyanı $I_{1N} = 9,125 \text{ A}$;
- stator dolağı fazasının aktiv müqaviməti $R_1 = 1,878$

Ω_M ;

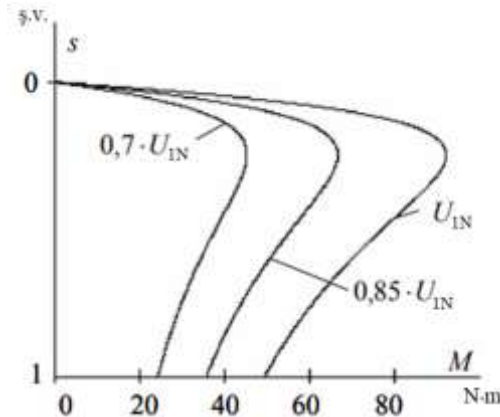
- stator dolağı fazasının səpilməsinin induktiv müqaviməti $X_{1\sigma} = 2,248 \Omega_M$;

- stator dolağına gətirilmiş rotorun aktiv müqaviməti $R'_2 = 1,393 \text{ OM}$;
- stator dolağına gətirilmiş rotor dolağının faza səpilməsinin induktiv müqaviməti $X'_{2\sigma} = 2,994 \text{ OM}$;
- işəsalma cərəyanının tamlığı $I_{i.s.}/I_{1N} = k_i = 6 \text{ ş.v.}$;
- maksimal momentin tamlığı $\max M_{\max}/M_N = k_{\max} = 2,2 \text{ ş.v.}$;
- minimal momentin tamlığı $M_{\min}/M_N = k_{\min} = 1,6 \text{ ş.v.}$

Həlli. Asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikalarının hesablanması (5.7) ifadəsinə uyğun aparırıq:

$$M = \frac{m_m \cdot U_{1j}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + R'_2 \cdot s^{-1} \right)^2 + \left(X_{1\sigma} + X'_{2\sigma} \right)^2 \right]} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot 1,393}{104,7 \cdot s \cdot \left[(1,878 + 1,393 \cdot s^{-1})^2 + (2,248 + 2,294)^2 \right]}$$

Stator dolağının müxtəlif gərginlikləri üçün hesablanmış mexaniki xarakteristikalar şəkil 5.19-da verilir.



Şək. 5.19. 4A112MB6Y3 tip asinxron mühərrikin stator dolağının müxtəlif gərginlikləri üçün statik mexaniki xarakteristikalar

Elektromexaniki xarakteristika $I_2' = f(s)$ aşağıdakı asılılıqla təyin olunur:

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{q,q}^2}} = \frac{U_{1j}}{\left(1,878 + \frac{1,393}{s}\right)^2 + 5,242^2}.$$

Stator dolağının müxtəlif gərginlikləri üçün $I_2' = f(s)$ elektromexaniki xarakteristikaları şəkil 5.20-də təqdim olunur.

Statik elektromexaniki xarakteristikalar $I_1 = f(s)$ aşağıdakı ifadədən təyin edilir:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I_2')^2 + 2I_0 \cdot I_2' \cdot \sin\varphi_2},$$

burada,

$$\sin\varphi_2 = \frac{x_{q,q}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{q,q}^2}}.$$

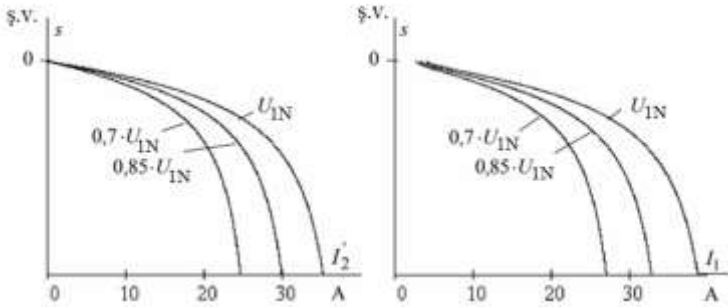
Asinxron mühərrikin sürətinin nizamlanması stator dolağının gərginliyinin dəyişməsi ilə həyata keçirildiyindən yüksüz iş rejimi I_0 cərəyanı stator dolağı gərginliyinin funksiyasıdır və onu əvəzetmə sxeminə (şəkil 5.2) uyğun belə bir ifadə ilə tapmaq olar:

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_m)^2}} \quad (5.46)$$

Ədədi qiymətlər yerinə qoyulsa:

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{1,878^2 + (2,248 + 54,47)^2}}$$

Elektromexaniki $I_2 = f(s)$ və $I_1 = f(s)$ xarakteristikalarının stator dolağının müxtəlif gərginlikləri üçün qrafikləri şəkil 5.20-də verilir.



Şək. 5.20. Qısa qapanmış asinxron mühərrik üçün stator dolağının müxtəlif gərginliklərində elektromexaniki xarakteristikalarının qrafikləri

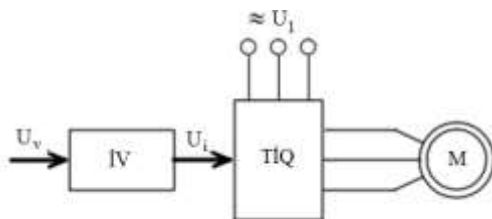
Nəticə. Statorun gərginliyi dəyişəndə asinxron mühərrikin kritik və işəsalma momentləri faza gərginliyinin kvadratına mütənasib olaraq azalır. Eyni zamanda gərginliyə mütənasib olaraq yüksüz iş rejimi cərəyanı da kiçilir. Bu xassələrdən asinxron mühərrikin işə salınması zamanı cərəyan sıçrayışlarının məhdudlaşdırılması üçün istifadə edirlər. Sürətin nizamlanması xarakteristikaların sərtliyinin dəyişməsi hesabına baş verir. Praktikada ventilyatorların bəzi tipləri üçün sürətin nizasmlanma diapazonu $D = 1:10$ qiymətində alınması mühərrikin s_k -dan böyük sürüşmə olan sahələrdə işləməsi hesabına mümkün olur.

5.1.7. Asinxron mühərrikli elektrik intiqallarında tiristor işəsalma qurğuları

Asinxron mühərrikli elektrik intiqallarının işinin etibarlılığının və qənaətliyinin effektiv artırılması imkanı onların strukturunda tiristor işəsalma qurğularının istifadə olunması ilə əlaqədardır. Tiristor işəsalma qurğusu (TİQ) asinxron mühərrikin statorunda tezliyin sabit qaldığı zaman gərginliyin nizamlanması üçün nəzərdə tutulan faza idarəli dəyişən cərəyan gərginliyinin xüsusiləşdirilmiş nizamlayıcısıdır (şəkil 5.14 və 5.15). Sxemlərinin sadəliyi, kiçik kütlə və qabaritləri ilə fərqlənən qurğular aşağıdakılara imkan verir:

- işəsalma, revers və tormozlanmada mühərrikin valında cərəyan və momentin məhdudlanmasına;
- elektrik intiqalının özünün elementlərinə, texnoloji avadanlıqların kinematik sxemlərinə və elektrik təchizatı sistemlərinə elektrik, mexaniki və istilik yüklənmələrini azaldılması və nəticədə istismar müddətinin artmasına;
- güclü mühərriklərin işə salınması zamanı qidalandırıcı şəbəkədə gərginlik düşməsinə nəzərəcarpacaq dərəcədə azalmasına.

Tiristor işəsalma qurğusuna və girişdə intensivlik vericisinə malik asinxron mühərrikin funksional sxemi şəkil 5.21-də təqdim olunmuşdur.



Şək. 5.21. Tiristor işəsalma qurğusuna və girişdə intensivlik vericisinə malik asinxron mühərrikin funksional sxemi

Hazırda tiristor işəsalma qurğuları praktiki olaraq sənayenin bütün sahələrində, inşaatda, mənzil-komunal təsərrüfatında geniş tətbiq olunur.

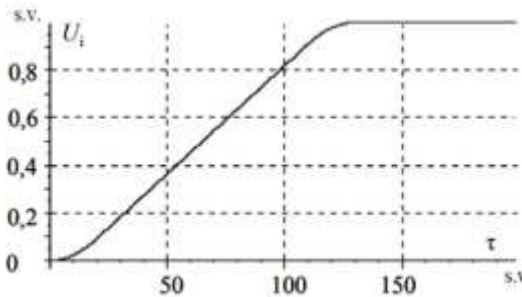
Tiristor işəsalma qurğusunun girişinə quraşdırılmış intensivlik vericisi (İV) asinxron M mühərrikin lövbər dolağında gərginliyin artma tempini formalaşdırır. Bir qayda olaraq, intensiv vericisinin çıxış gərginliyi – xətti-artandır lakin, yalnız elektrik intiqalının sürətlənməsini və həm də onun sıçrayışını təyin edən idarəetmə gərginliyinin dəyişməsinin daha mürəkkəb qanunu (şəkil 5.22) formalaşa bilər.

Mühərrikin işə salınması və tormozlanması zamanı $d\omega/dt$ təcili intensivlik vericisinin U_i signalının dəyişmə tempi ilə təyin olunur. Signalın dəyişməsi ilə təcil arasında əlaqə belə yazılır:

$$dU_i/dt \approx (d\omega/dt)_{ver}. \quad (5.47)$$

$(d\omega/dt)_{ver}$ təcilinin qiyməti adətən elə seçilir ki, yüklənmənin sürətdən məlum xarakteri $M_m = f(\omega)$ və elektrik intiqalının verilmiş J_Σ ətalət momentində mühərrikin aşağıdakı ifadə ilə təyin olunan M_M momenti yolverilən $M_{M.\Theta}$ qiyməti aşmamalıdır:

$$M_M = J_\Sigma \cdot (d\omega/dt)_{ver} + M_m \leq M_{M.\Theta}. \quad (5.48)$$



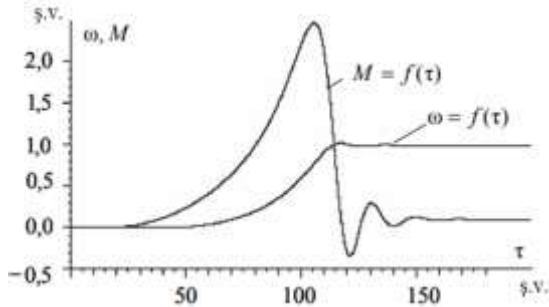
Şək. 5.22. S-şəkilli xarakteristikaya malik intensivlik vericisinin çıxış gərginliyi

Tiristor işəsalma qurğuları diskret elementlərdir. Növbəti tiristoru qoşduqdan sonra mühərrikin dolaqlarındakı gərginliyi yalnız müəyyən zaman keçdikdən, impuls-faza idarəetmə sistemi digər tiristorun açılması üçün impuls formalaşdırdıqdan sonra dəyişmək mümkün olacaqdır. Beləliklə, tiristor işəsalma qurğusu gecikməyə malik olan qeyri-xətti dinamik bənd sayılacaqdır.

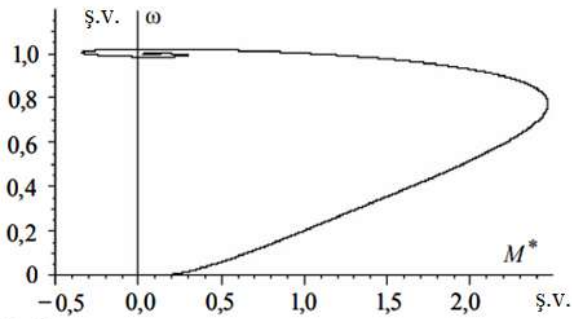
İmitasiya modellərində tədqiqatlar göstərdi ki, tiristor işəsalma qurğusunu gecikməyə malik bənd və yaxud birinci tərtib aperiodik bənd qismində təqdim olunması eyni bir nəticəni verir. Sürət və momentin keçid proseslərinin modelləşmə nəticəsində alınmış qrafikləri şəkil 5.23-də, dinamik mexaniki xarakteristika isə şəkil 5.24-də verilmişdir.

Nəticələr. Sürət və momentin keçid proseslərinin həmçinin, mühərrikin birbaşa şəbəkəyə qoşulmaqla işə salınması zamanı (şəkil 5.9-5.11) dinamik mexaniki xarakteristikaların qrafiklərinin müqayisəli analizi göstərir ki, idarəetmə U_i gərginliyinin dəyişməsi nəticəsində uyğun qanunun formalaşması aşağıdakılara imkan verir:

- işəsalmanın başlanğıc sahəsində mühərrikin dinamik momentinin sıçrayışlarını ləğv etməyə;
- mexaniki xarakteristikanın işçi sahəsində işəsalmanın sonunda maksimal yenidən nizamlanmanı azaltmağa.



Şək. 5.23. Sürət və momentin keçid proseslərinin asinxron mühərrikin tiristor işəsalma qurğusu ilə işə salınması zamanı alınan qrafiklər



Şək. 5.24. Asinxron mühərrikin tiristor işəsalma qurğusu ilə işə salınması zamanı dinamik mexaniki xarakteristika

5.1.8 Qısa qapanmış asinxron mühərrikin bucaq sürətinin tezlik nizamlanması sistemləri

Qısa qapanmış asinxron mühərriklərin sürətinin effektiv nizamlanma üsulları statorun elektromaqnit sahəsinin fırlanma sürətinin dəyişməsi ilə əlaqədardır:

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / z_p. \quad (5.49)$$

(1.49)-dan elektromaqnit sahəsinin fırlanma sürətinin iki əsas nizamlanması üsulu alınır:

- cüt qütblərin p_z sayının dəyişməsi ilə;
- mühərrikin stator gərginliyinin f_1 tezliyinin dəyişməsi ilə.

Cüt qütblərin sayının dəyişməsi ilə asinxron mühərrikin sürətinin nizamlanması üsulu işçi sürətlərin bir neçə fiksə olunmuş qiymətlərini almağa imkan verir. Məsələn, 4A-6A seriyalı asinxron mühərriklər iki-, üç-, və dördsürətli buraxılır və kran elektrik intiqallarında tətbiq edilir. Bir qayda olaraq, belə elektrik maşınları üçün sürətin hamar nizamlanması tətbiq olunmur yəni, çoxsürətli asinxron mühərriklər idarə olunan elektrik intiqalları sistemləri üçün istifadə olunmur.

Qısa qapanmış asinxron mühərrikli dəyişən cərəyan elektrik intiqallarının sürətinin tezlik nizamlanması üsulları texnikanın müxtəlif sahələrində daha geniş tətbiqini tapırlar. Qidalandırıcı şəbəkənin dəyişən gərginliyinin nizamlanan tezlik, gərginlik və cərəyanlı dəyişən gərginliyə çevrilməsini tezlik çeviriciləri həyata keçirir. Hazırda tezlik çeviriciləri yarımkeçirici güc açarları bazasında hazırlanır. Tezlik çeviricilərinin sürətli artımı idarəedici elektrodu izolə olunmuş bir neçə min amper cərəyanlara, bir neçə kilovatta qədər gərginliyə və 20 kHs (və yuxarı) kommutasiya tezliyinə hesablanmış bipolyar tranzistorların meydana çıxması ilə mümkün oldu.

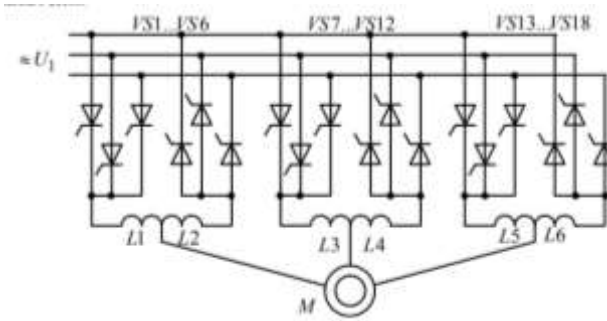
Qidalandırıcı şəbəkə ilə əlaqə tipinə görə yarımkeçirici lementlər üzərində yaradılmış tezlik çeviriciləri iki böyük sinfə bölünür:

- birbaşa əlaqəli tezlik çeviriciləri;
- sabit cərəyan bəndli tezlik çeviriciləri. Öz növbəsində sabit cərəyan bəndli tezlik çeviriciləri də bölünür:
- avtonom cərəyan invertorları (ACİ);
- avtonom gərginlik invertorları (AGİ)

Avtonom invertorlar öz strukturlarında düzləndirici, güc süzgəci və sabit gərginliyi (cərəyanı) verilmiş tezlikli dəyişən gərginliyə (cərəyan) çevirən invertoru birləşdirir.

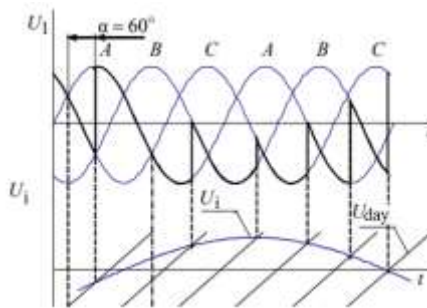
5.1.9. Birbaşa əlaqəli tezlik çeviriciləri

Birbaşa əlaqəli tezlik çeviricisinin güc sxeminin əsası reversiv tiristor çeviricisidir. Birbaşa əlaqəli tezlik çeviricisinin çoxfazlı çıxışı bir neçə birfazlı çıxışa malik (şəkil 5.25) reversiv çeviricinin istifadə olunması ilə əldə olunur.



Şək. 5.25. Birbaşa tezlik çeviricisi – asinxron mühərrik sistemi

Aşağı tezlikli f_{1j} birfazlı çıxış gərginliyi tiristorların açılma bucaqlarının tsiklik dəyişməsi ilə təmin olunur. Birbaşa eyni istiqamətli tezlik çeviricisi cərəyanının hər qrupun tiristorları ilə kommutasiyası şəbəkənin gərginliyi vasitəsilə həyata keçirilir (şəkil 5.26).



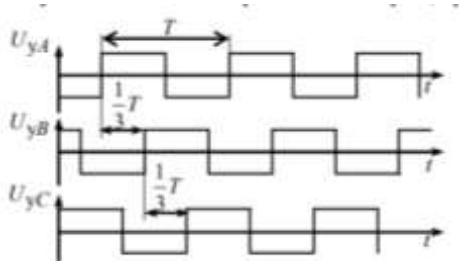
Şək. 5.26. Birbaşa tezlik çeviricisinin birfazlı çıxış gərginliyi

Əksər birbaşa tezlik çeviriciləri reversiv tiristor qruplarının birlikdə idarə olunmasını nəzərdə tutur. Bu halda bərabərləşdirici cərəyanların məhdudlanması üçün məhdudlaşdırıcı reaktorlar $L1...L6$ istifadə olunur ki, nəticədə çeviricinin kütləsi və qabarit ölçüləri artır, energetik göstəricilər isə azalır.

Gərginlik diaqramlarında (şəkil 5.26) idarəetmə α idarəetmə bucağının dəyişən qiymətlərində baş verir. Birbaşa tezlik çeviricisində idarəedici gərginliyin U_i dəyişmə qanunu xüsusi verici ilə təyin olunur. Baxılan halda idarəedici gərginlik sinusoidal qanunla dəyişir. Bəzi hallarda düz bucaq formalı idarəedici gərginlik tətbiq olunur.

Düz bucaq formalı idarəedici gərginliklərin hər bir faza üçün 120 el.dər. qədər sürüşmüş üçfazlı sistemi şəkil 5.27-də təqdim olunur.

Əgər birbaşa tezlik çeviricisinin hər bir idarəedici düzləndiriciləri cərəyana görə dərin mənfi əks əlaqə ilə əhatə olunsay, çevirici cərəyan mənbəyi xassələrinə malik olur.



Şək. 5.27. Düz bucaq formalı idarəedicilərin gərginliklərin üçfazlı sistemləri

Beləliklə, birbaşa tezlik çeviriciləri gərginlik ya da cərəyan mənbəyi rejimində işləyə bilər.

Birbaşa tezlik çeviricilərinin üstünlükləri aşağıdakılardır:

- çeviricinin yüksək FİƏ-sini təyin edən bir dəfəlik çevirmə;
- reaktiv gücün həm şəbəkədən yükə və həm də əksinə keçməsi imkanı.

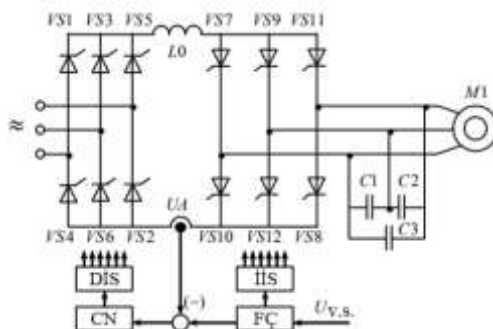
Çatışmazlıqlar:

- idarəetmə qurğusunun mürəkkəbliyi. Böyük sayda tiristor çoxlu sayda impuls-faza idarəetmə sistemləri tələb edir;
- çeviricinin güc əmsalı vahiddən nəzərəcarpacaq dərəcədə azdır ($\cos\varphi \approx 0,15$);
- qidalandırıcı şəbəkənin gərginliyinin forması kifayət qədər təhrif olunur;
- qidalandırıcı şəbəkənin tezliyinə yaxın tezliklərin alınması çətinliyi. Sıfır sxem üçün çıxış gərginliyinin maksimal tezliyi adətən məhdudlanır: $f_{\text{imax}} = 16$ Hs. Körpü sxeminə keçdikdə işçi diapazonu dəyişir: $f_{\text{imax}} = 25$ Hs.

Bu səbəbdən, birbaşa tezlik çeviricilərə malik asinxron elektrik intiqalları reduktorsuz orta və böyük gücə malik elektrik intiqalları üçün tətbiq olunur.

5.1.10. Cərəyanın avtonom inverterləri

Üçfazlı körpü cərəyan inverterunun güc dövrələrinin sxemi şəkil 1.28-də verilmişdir.



Şək. 5.28. Üçfazlı körpü cərəyan inverterunun güc dövrələrinin sxemi

Şəkil 5.28-də qəbul edilmiş şərti işarələr:

DİS – düzləndiricinin idarəetmə sxemi;

CN – cərəyan nizamlayıcısı;

İİS – inverterun idarəetmə sxemi;

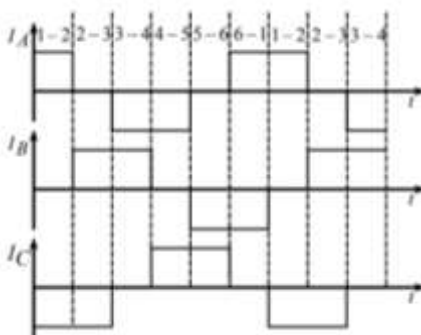
FÇ – funksional çevirici.

İkipilləli çevirici qurğular şəbəkənin üçfazlı dəyişən gərginlik düzləndiricisi və düzləndirilmiş gərginliyi dəyişən üçfazlı dəyişən idarəolunan tezlikli və amplitudlu gərginliyə çevirən avtonom inverter əsasında hazırlanır. Enerjinin ikiqat çevrilməsinə və bu zaman FİƏ-nin müəyyən azalmasına baxmayaraq, aralıq sabit cərəyan bəndli tezlik çeviriciləri nizamlanan elektrik intiqallarında geniş yayılmışdır.

Avtonom cərəyan inverterunda VS1...VS6 tiristorlar üzərində qurulan idarə olunan düzləndirici cərəyan nizamlayıcısı rejimində işləyir, VS7...VS12 tiristorları üzərində

hazırlanmış inverter isə çıxış cərəyanının tələb olunan tezliyini formalaşdırır.

Üçfazlı körpü sxemi üzrə qoşulmuş cərəyan inverterunun VS7...VS12 tiristorları 120 el.dər. müddətində cərəyan buraxır. Çevirmə 60^0 periodikliklə, tiristorların nömrələrinə uyğun ardıcılıqla baş verir. İnverterun hər bir fazası üçün cərəyan diaqramları şəkil 1.29-da verilmişdir.



Şək. 5.29. İnverterun hər bir fazası üçün cərəyan diaqramları

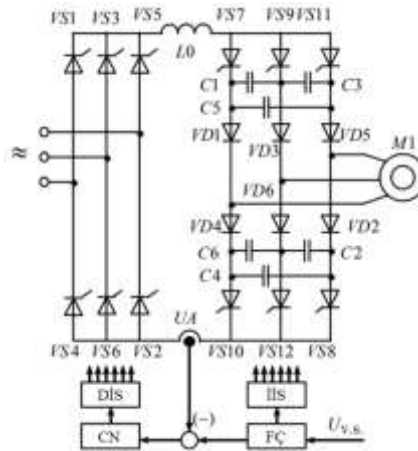
Cərəyanın kommutasiyası və reaktiv gücün kompensə olunması C1...C3 kondensatorları ilə dəyişən cərəyan tərəfdə həyata keçirilir. Aktiv-induktiv yüklənmədə inverterun çıxışında və VS7...VS12 tiristorlarında kommutasiya momentində yükün öz-özüə EHQ-sinin təsiri ilə şərtlənən nəzərəcərpacaq gərginlik artımı baş verə bilər. Onların məhdudlanması uyğun tutumların qurulması ilə əldə olunur. Tezliyin azalması və mühərrik valının sabit momentində kondensatorların tutumu tezliyin kvadratına əks mütənasib olaraq artır.

Avtonom cərəyan inverterundan qidalanan mühərrikin generator rejiminə keçidi zamanı düzləndirici iş rejiminə keçən inverterun EHQ-yə əks istiqaməti dəyişir ki, nəticədə sabit

cərəyan bəndində cərəyanın çoxalması yaranar. Lakin, düzləndiricini əhatə edən cərəyana görə güclü mənfi əks əlaqə hesabına sabit cərəyan bəndində cərəyan əvvəlki səviyyədə saxlanılır, düzləndirici isə şəbəkə tərəfindən idarə olunan inverter rejiminə keçirilir. Nəticədə enerjinin qidalandırıcı şəbəkəyə sabit cərəyan bəndində cərəyanın istiqaməti dəyişilmədən rekuperasiyası baş verir.

Beləliklə, avtonom cərəyan inverterlərində şəbəkəyə enerjinin rekuperasiyası ilə mühərrikin tormozlanma rejimləri reallaşır. Bu şərt isə avtonom cərəyan inverterlərinin reversiv elektrik intiqallarında tətbiqinə üstünlük verir.

Belə sinifin daha mükəmməl sxemi kəsici diodlu avtonom cərəyan inverteru sxemidir (şəkil 5.30).



Şək. 5.30. kəsici diodlu avtonom cərəyan inverterunun güc dövrələrinin sxemi

Avtonom cərəyan inverteru sxemində (şəkil 5.30) C1...C6 kondensatorları yükədən VD1...VD6 diodlarının köməyi ilə ayrılmışdır. Bu səbəbdən kondensatorlar inverterin işində yalnız kommutasiyanın nisbətən çox kiçik zaman müddətində

iştirak edir, qalan müddətdə isə onlardan cərəyan axmır. Bu isə kondensatorların tutumunu nəzərəcarpacaq dərəcədə azaltmağa imkan verəcəkdir.

Avtonom cərəyan inverterlu tezlik çeviricilərinin əsas üstünlüyü:

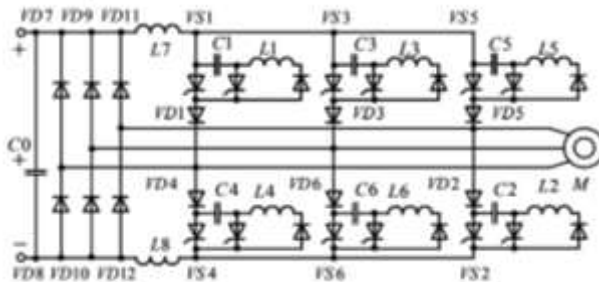
- enerjinin şəbəkəyə rekuperasiyası imkanı;
- sinusoidala yaxın çıxış gərginliyi;
- yüklə qısa qapanma rejiminin qəzasız olması.

Çatışmazlıqlar:

- çıxış tezliyinin $100 \div 125$ Hs səviyyəsində məhdudlanması;
- tiristorlarda güc sxemini mürəkkəbləşdirməyə məcbur edən kommutasiya gərginlik artmaları;
- qrup yükünə işləməyin imkansızlığı;
- induktiv süzgəcin kütlə və qabaritlərinin kifayət qədər olması.

5.1.11. Gərginliyin avtonom inverterları

Əgər tezlik çeviricisindən çoxmühərrikli elektrik intiqalını qidalandırmaq lazım gələrsə, çevirici kəsici və reaktiv cərəyan diodlu gərginlik inverteru sxemi üzrə qurulmalıdır (şəkil 5.31).



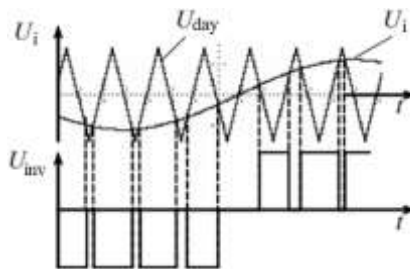
Şək. 5.31. Avtonom gərginlik inverterlu asinxron elektrik intiqalının sxemi

Dəyişən gərginliyin sabit gərginliyə çeviricisi şəkil 5.31-də göstərilməyib. Düzləndirilmiş gərginlik C_0 kondensatoru üzərində hazırlanmış tutum süzgəci vasitəsi ilə süzülür.

Kəsici VD1...VD6 diodları C1...C6 kondensatorları asinxron M mühərrikdən ayırır ki, nəticədə kommutasiyanın qısa müddətli intervalında kondensatorların işini məhdudlaşdırır və onlarda yüklərin sonrakı kommutasiya başlayana qədər saxlanılmasını təmin edir.

Yükün induktivliyində ehtiyatda olan enerji yenidən sabit cərəyan mənbəyinə VD7...VD12 diodları vasitəsilə qayıdır. Ventillərin işləmə ardıcılığı: VS1 – VS2; VD7 – VD12; VS2 – VS3; VD12 – VD9; VS3 – VS4; VD9 – VD8; VS4 – VS5; VD8 – VD11.

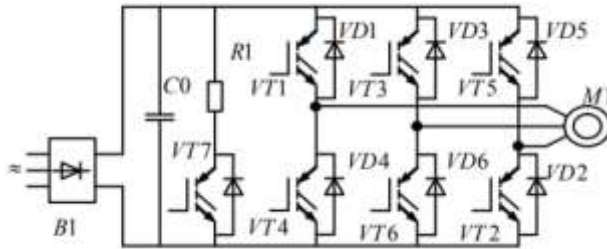
Sxemdə istənilən işçi tiristorun verilən zaman müddətində digər tiristorların vəziyyətindən asılı olmayaraq ayrılması mümkündür ki, nəticədə yükdəki gərginliyin təsiredici qiymətini işçi tiristorun açıq vəziyyətinin zaman müddətinin dəyişilməsi ilə nizamlamağa imkan yaranır. Avtonom invertorun belə qurulması sabit gərginliyin alınması üçün idarə olunmayan düzləndiricinin istifadə olunmasına imkan yaradır. Sinusoidal eninə-impuls modulyasiyanın (EİM) prinsipi şəkil 5.32-də verilmişdir.



Şək. 5.32. Sinusoidal eninə-impuls modulyasiyanın (EİM) prinsipi

EİM-da idarəetmə sxemi yarımkeçirici cihazların kommutasiya momentlərini dayaq üçbucaq gərginliyinin U_{day} və idarəedici sinusoidal U_i gərginliyinin bərabərliyi zamanı təyin edir.

Böyük gücə malik olmayan elektrik intiqalları üçün son zamanlar açar qismində IGBT və MOSFET tipli güc tranzistorları tətbiqini tapmışdır. IGBT-tranzistorlar üzərində gazırlanmış avtonom gərginlik invertorlu asinxron elektrik intiqalı şəkil 5.33-də verilir.



Şək. 5.33. IGBT-tranzistorlar üzərində gazırlanmış avtonom gərginlik invertorlu asinxron elektrik intiqalı

Yükün induktiv xarakteri VT1...VT6 tranzistor açarlarına paralel olaraq, stator dolaqlarında onların qidalanma mənbəyindən ayrılması zamanı cərəyan axan dövrənin kəsilməzliyini və süzgəcin C_0 kondensatoruna ehtiyatda olan elektromaqnit enerjinin qaytarılmasını təmin edən VD1...VD6 diodlarının qoşulması ilə nəzərə alınır.

IGBT-tranzistorlar tiristor açarlarından fərqli olaraq kifayət qədər böyük tezliklərdə çevrilə bildiyindən mühərrik dolaqlarından axan cərəyanın forması sinusoidal formaya nəzərəcarpacaq dərəcədə yaxın olur. Aydın ki, EİM-in aparıcı tezliyi nə qədər yuxarı olarsa, mühərrikin stator dolaqlarında cərəyan rəqslərinin amplitudu bir o qədər kiçik olacaqdır. Şəkil

5.34-də asinxron mühərrikin statorunun cərəyanlarının EİM modulyatorunun dayaq gərginliyinin aşağı və yuxarı aparıcı tezliklərində ossilloqramları göstərilmişdir.



Şək. 5.34. asinxron mühərrikin statorunun cərəyanlarının EİM modulyatorunun dayaq gərginliyinin aşağı (a) və yuxarı (b) aparıcı tezliklərində ossilloqramları

Lakin, aparıcı tezliyin artıq dərəcədə yüksəldilməsi mühərrikin və invertor açarlarının qızmasına gətirə bilər. Açarların kommutasiya tezliyi nə qədər böyük olarsa, onlarda enerji itkisi də bir o qədər artıq olacaqdır.

İş tsiklində fırlanan hissələrində ehtiyatlanmış enerjinin rekuperasiya sahələri və ya tormozlanma rejimlərinin yüksək intensivliyi olan elektrik intiqallarında effektiv tormozlanma üçün əlavə VT7 açarından və R1 rezistorundan ibarət enerjinin xüsusi atılması düyünü nəzərdə tutulur. VT7 açarı C_0 tutumunda gərginliyin yolverilən qiymətdən ifrat artımı zamanı açılır, nəticədə enerjinin bu enerjini səpən R1 rezistoruna “atılması” baş verir..

Cərəyana görə mənfi əks əlaqə ilə əhatə olunmuş avtonom gərginlik invertorlu elektrik intiqallarının strukturlarında invertor cərəyan mənbəyi xassələrini alır.

Avtonom gərginlik invertorlu elektrik intiqallarında vektor idarəolunma rejimi mümkündür ki, bu da onların dinamikaya və işəsalma momentinə yüksək tələblər qoyulan proseslər üçün istifadə olunmasına imkan verir. Bundan əlavə, belə çeviricilər asinxron mühərriklərlə birlikdə bir çox hallarda

daha baha olan sabit cərəyan elektrik intiqallarını əvəz etməyə imkan verir.

5.1.12. Bucaq sürətinin tezlik nizamlanması olan asinxron elektrik intiqalı

Asinxron mühərrikin qidalanma gərginliyinin tezliyinin dəyişməsi, tezliyin dəyişməsi ilə mütənasib dəyişən – həm onun sinxron ω_0 və həm də reaktiv müqavimətinə təsir edir:

$$X_{1\sigma j} = X_{1\sigma N} f_{1j}/f_{1N}; X'_{2\sigma j} = X'_{2\sigma N} f_{1j}/f_{1N}; X_s = X_{sN} f_{1j}/f_{1N}, \quad (5.50)$$

burada, f_{1N} – asinxron mühərrikin stator gərginliyinin tezliyinin nominal qiyməti; $X_{1\sigma j}$, $X'_{2\sigma j}$ – uyğun olaraq stator və stator dolağına gətirilmiş rotor dolaqları səpilməsinin induktiv müqavimətləridir (qidalandırıcı şəbəkənin nominal tezliyi f_{1N}).

Əgər f_{1j} tezliyi ilə eyni zamanda asinxron mühərrikin stator dolağının dəyişən U_{1j} gərginliyini də dəyişsək, tezlik çeviricisi – asinxron mühərrik sistemlərində (TÇ-AM) sürət nizamlanmasının müxtəlif qanunlarını reallaşdırmaq imkanı yaranır. Nizamlanmanın bu qanunlarının müqayisəli qiymətləndirilməsi üçün güclər balansı ifadəsindən istifadə edək:

$$P_2 = P - \Delta P_2 = \omega \cdot (1 - s) \cdot M, \quad (5.51)$$

burada, P – statordan rotora verilən elektromaqnit güc; ΔP_2 – rotorda itkilər gücüdür.

(5.51)-dən alınır ki, asinxron mühərrikin sürətinin nizamlanmasının istənilən üsulunda mühərrikin nizamlanma mexaniki xarakteristikalarını onun yükü ilə uzlaşdırmaq lazımdır.

Mexanizmin momenti ilə onun sürəti arasında asılılığın $M_s = f(\omega)$ xarakterinə görə istehsal mexanizmlərinin aşağıdakı mexaniki xarakteristikalarını ayırmaq olar:

- bucaq sürətindən asılı olmayan mexaniki xarakteristika

$$M_s = \text{const}; P_s = k \cdot \omega; \quad (5.52)$$

- qeyri-xətti – azalan mexaniki xarakteristika və ya sabit güclə işləmə

$$M_s = k \cdot \omega^{-1}; P_s = \text{const}; \quad (5.53)$$

- qeyri-xətti – artan mexaniki xarakteristika və ya ventilyator yüklənmə

$$M_s = k \cdot \omega^2; P_s = k \cdot \omega^3. \quad (5.54)$$

Tezlik-nizamlanan dəyişən cərəyan elektrik intiqallarında (5.52)-(5.54) asılılıqları mühərriklərin elektromaqnit momentləri üçün də formalaşdırmaq olar. Məsələn, yükün sabit momentində $M_s = \text{const}$ asinxron mühərrikin stator gərginliyi və cərəyanının idarə olunması aşağıdakı qanun üzrə həyata keçirilməlidir:

$$U_{1j}/f_{1j} = \text{const}. \quad (5.55)$$

Qeyri-xətti azalan yüklə $M_s = k \cdot \omega^{-1}$ – gərginlik və tezliklə idarəetmə qanunu belə şəkllə düşür:

$$U_{1j}^2/f_{1j} = \text{const}. \quad (5.56)$$

Nəhayət, “ventilyator” yüklənmədə $M_m = k \cdot \omega^2$ gərginlik və tezlik aşağıdakı asılılığa uyğun şəkildə dəyişməlidirlər:

$$U_{1j}/f_{1j}^2 = \text{const}. \quad (5.57)$$

Gərginlik, tezlik və yük xarakterini əlaqələndirən (5.55)-(5.57) idarəetmə qanunları M.P. Kostenko düsturu ilə təsvir olunur:

$$U_{1j} = U_{1N} \cdot \frac{f_{1j}}{f_{1N}} \cdot \sqrt{\frac{M_s}{M_N}}, \quad (5.58)$$

burada, U_{1N} – qidalandırıcı şəbəkənin nominal gərginliyi, V; U_{1j} – tezlik çeviricisinin çıxışında gərginlik, V; M_s – verilmiş f_{1j} yüklə asinxron mühərrikin valındakı momentdir.

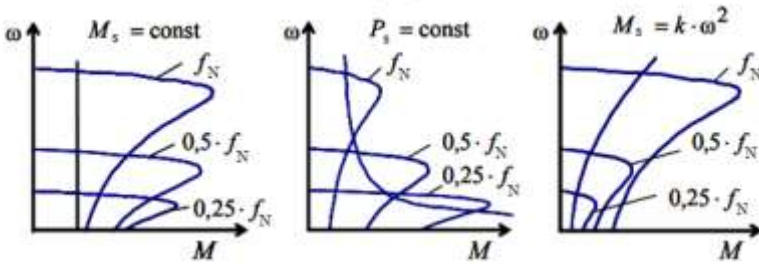
(5.33)-dən alınır ki, məsələn. Sabit güclə işləyən intiqal üçün sürətin dörd dəfə artması statik M_s momentin də dörd dəfə kiçilməsinə gətirir. Bu zaman poladda və maqnitlənməyə olan itkilər azalır, mühərrikin yenidən yüklənmə qabiliyyəti isə təxminən sabit qalır:

Bu zaman poladda və maqnitlənməyə olan itkilər azalır, mühərrikin yüklənmə qabiliyyəti isə təxminən sabit qalır:

$$M_s/M_k = const, \quad (5.59)$$

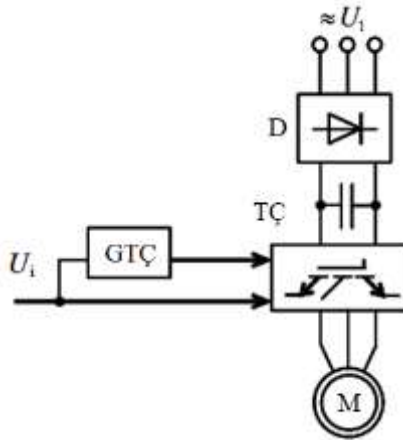
burada, M_k – mühərrikin kritik momentidir, N·m.

Beləliklə, asinxron mühərrikin tezlik idarə olunması prinsiplərini effektiv reallaşdırmaq üçün mühərrik yükünün növünə uyğun olaraq statora gətirilmiş stator tezliyinin dəyişməsi ilə əlaqəli olan gərginliyi idarə etmək lazımdır. Sadalanan idarəetmə rejimləri əksər mexanizmlər üçün kifayət edir. Lakin, (5.58) idarəetmə qanunu birinci analitik yaxınlaşmada – statorun R_1 aktiv müqaviməti nəzərə alınmadıqda doğrudur. Həqiqətdə isə tezliyin kiçik qiymətlərində ($f_1 \leq 0,5 \cdot f_{1N}$) R_1 müqavimətində gərginlik düşgüsü maqnitlənmə konturuna tətbiq olunmuş gərginliyin qiymətini nəzərəcərpacaq dərəcədə azaldır və asinxron mühərrikin kritik moment kiçilir. R_1 müqavimətində gərginlik düşgüsünü nəzərə alan daha dəqiq analiz zamanı mexaniki xarakteristikalar şəkil 5.35-də göstərildiyi kimi şəkil alır. Məsələn, kritik momentin sabitliyini fərz edən $U_{1j}/f_{1j} = const$ idarəetmə qanununda f_{1j} tezliyin azalması ilə kritik momentin kiçilməsi müşahidə olunur.



Şək. 5.35. İstehsal mezanizmlərinin və tezlik çeviricisi – asinxron mühərrik intiqallarının mexaniki xarakteristikaları

Tezlik çeviricisi – asinxron mühərrik sistemi üzrə hazırlanmış U_{1j}/f_{1j} sinfinin müxtəlif qanunlarını reallaşdıran elektrik intiqalının funksional sxemi şəkil 5.36-da təqdi olunmuşdur.



Şək. 5.36. Asinxron mühərrikin sürətinin skalyar tezlik idarə olunmasının funksional sxemi

Bu sxemdə U_i idarəetmə signalı stator gərginliyinin modulunu təyin edir. Gərginlik – tezli çeviricisi (GTÇ) gərginlik

idarəetmə funksiyasında $\alpha_1 = f_{1*} = f_{1j}/f_{1N}$ nisbi tezliyin U_{1j}/f_{1j} sinfinin nizamlanma qanunlarından (5.55)-(5.57) birinin əsasında dəyişməsinə təmin edir.

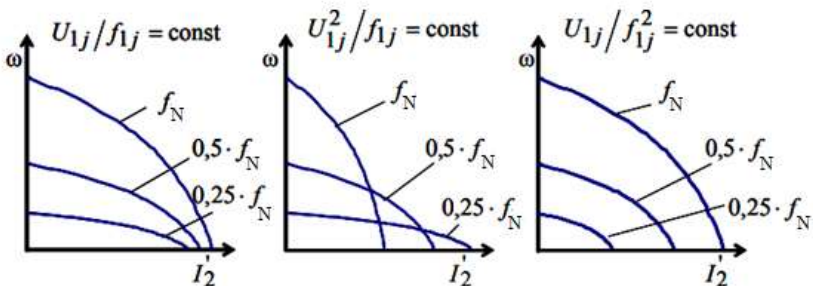
Asinxron mühərrikin sürətinin tezlik nizamlanmasında mühərrikin reaktiv müqavimətləri qidalandırıcı gərginliyin tezliyindən asılı olduğunu nəzərə almaq lazımdır. Tezliyin f_{1j} azalması zamanı aktiv R_1 müqaviməti maşının reaktiv müqavimətləri ilə yaxın qiymətlər alır.

Rotorun gətirilmiş cərəyanının sürüşmədən asılılığını təyin edən elektromexaniki xarakteristika belə təsvir olunur:

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{q.q.}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu N} \cdot f_{1*}}\right)^2}} \quad (5.60)$$

burada, U_{1j} – asinxron mühərrikin stator dolaqlarının faza gərginliyi; $f_{1*} = f_{1j}/f_{1N}$ – qidalandırıcı mənbənin nisbi tezliyinin qiymətidir.

(5.60) ifadəsinə görə nizamlanmanın U_{1j}/f_{1j} sinfinin üç qanununa əsasən qurulmuş xarakteristikalar $I_2' = f(\omega)$ şəkil 5.37-də göstərilmişdir [$\omega = \omega_0(1 - s)$].



Şək. 5.37. Nizamlanmanın U_{1j}/f_{1j} sinfinin üç qanununa əsasən qurulmuş xarakteristikalar $I_2' = f(\omega)$

Qısa qapanmış asinxron mühərrik üçün əsas olaraq stator I_1 cərəyanının ω sürətdən (s – sürüşmədən) asılılığını əks etdirən elektromexaniki xarakteristika $I_1 = f(\omega)$ sayılır. Stator I_1 cərəyanı maqnitlənmə cərəyanı vektorunun \vec{I}_0 və rotor cərəyanı vektoru \vec{I}_2 ilə toplanmasından təyin olunur. Belə hallarda adətən, dairəvi diaqramdan istifadə olunur.

Asinxron mühərrikin maqnitlənmə cərəyanını reaktiv qəbul edib, rotor cərəyanından I_2 gətirilmiş stator I_1 cərəyanını aşağıdakı ifadə ilə tapa bilərik:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I_2')^2 + 2I_0 \cdot I_2' \cdot \sin\varphi_2}, \quad (5.61)$$

burada:

$$\sin\varphi_2 = \frac{X_{q,q} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{q,q} \cdot f_{1*}}}. \quad (5.62)$$

Asinxron mühərrikin qidalanma gərginliyinin tezliyi və qiymətlərinin dəyişməsi zamanı mexaniki xarakteristikası belə təyin olunur:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 j \cdot s \cdot \left[X_{q,q}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + R_2' \cdot s^{-1}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu N} \cdot f_{1*}}\right)^2 \right]}. \quad (5.63)$$

Asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikası $dM/ds = 0$ nəzərə almaqla adi üsulla təyin olunan kritik moment və kritik sürüşməyə malikdir. Belə olan halda kritik moment:

$$M_{kj} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{\omega_0 j \cdot \left[R_1 \pm \sqrt{(R_1^2 + X_{q,q}^2 \cdot f_{1*}^2) \left(1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu N}^2 \cdot f_{1*}^2}\right)} \right]}, \quad (5.64)$$

burada, $\omega_{0j} = 2 \cdot \pi \cdot f_{1j} / z_p$ – sinxron bucaq sürəti; U_{1j} – asinxron mühərrikin stator dolağının faza gərginliyidir.

Kritik sürüşmə:

$$s_{kj} = \pm R_2' \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu N} \cdot f_{1*}} \right)^2}{R_1^2 + X_{q.q.}^2 \cdot f_{1*}^2}}. \quad (5.65)$$

«+» işarəsi kritik moment və sürüşmənin mühərrik rejiminə, «-» işarəsi isə rekuperativ tormozlanmanın generator rejiminə aid olduğunu göstərir.

Məsələ 5.5. Qısa qapanmış gərginlik invertoru – asinxron mühərrik avtonom sistemdə işləyən 4A112MB6Y3 tip asinxron mühərrik üçün stator dolağı gərginliyi tezliyinin 50, 25, 10, 5 Hs qiymətlərində statik mexiniki və elektromexaniki xarakteristikaları sürətin tezlik nizamlanması zamanı $U_{1j}/f_{1j} = \text{const}$ nizamlanma qanununa uyğun olaraq hesablamalı və qurmalı.

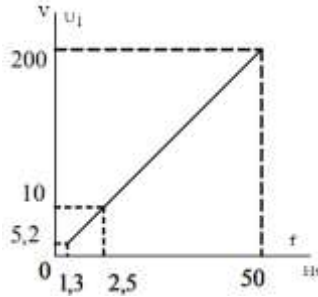
Asinxron mühərrikin əsas parametrləri və əvəzetmə sxemi məsələ 5.1-də olduğu kimidir.

Həlli. Sənaye tərəfindən buraxılan sabit cərəyan bəndli tezlik çeviriciləri və ya gərginlik inverterləri şəkil 1.38-də göstərilən qrafikə uyğun $U_{1j}/f_{1j} = \text{const}$ asılılığını formalaşdırır. Sənaye elektrik intiqallarının standart köklənməsi nizamlanma qanununun üç approksimasiya nöqtəsini daxil etməyə imkan verir: maksimal f_{\max} , orta f_{or} və minimal f_{\min} və onlara uyğun çeviricinin maksimal $U_{1\max}$, orta $U_{1\text{or}}$ və minimal $U_{1\min}$ gərginlik koordinatları.

Əgər f_{1j} tezliyi və U_{1j} gərginliyi $U_{1j}/f_{1j} = \text{const}$ qanununa və 1.38 qrafikinə uyğun olaraq nizamlansa $f_{1N} = 50$ Hs və $U_1 = 200$ V qiymətlərində mütənasiblik əmsalı:

$$\gamma = U_1 / f_{1N} = 200 / 50 = 4,$$

belə olan halda $f_{1N} = 50$ Hs, $f_{12} = 25$ Hs, $f_{13} = 10$ Hs, $f_{14} = 5$ Hs nizamlanma tezlikləri üçün faza gərginlikləri $U_{11} = 200$ V, $U_{12} = 100$ V, $U_{13} = 40$ V, $U_{14} = 20$ V qiymətlərini alacaqdır.



Şək. 5.38. Sənaye tərəfindən buraxılan avtonom gərginlik invertorlarında gərginliyin tezlikdən asılılığı

Asinxron mühərrikin qidalanma gərginliyinin dəyişən qiymət və tezliyində mexaniki xarakteristikası (5.63) ifadəsi ilə təyin olunur:

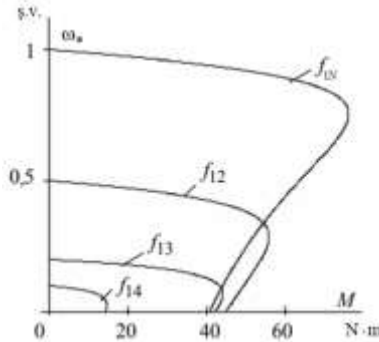
$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 j \cdot s \cdot \left[X_{q,q}^2 \cdot f_{1*}^2 + (R_1 + R_2' \cdot s^{-1})^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu N} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

və asinxron mühərrikin əvəzetmə sxeminin parametrlərinin ədədi qiymətləri yerinə qoyulduqda $f_{1N} = 50$ Hs tezliyi üçün:

$$M = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1,393}{104,7 \cdot s \cdot \left[5,234^2 \cdot 1 + (1,878 + 1,393 \cdot s^{-1})^2 + \left(\frac{1,878 \cdot 1,393}{s \cdot 54,47 \cdot 1} \right)^2 \right]}$$

burada, $s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$ – sürüşmədir.

(5.63) ifadəsinə görə MathCAD riyazi sistemində hesablanmış mexaniki xarakteristikalar şəkil 5.39-da göstərilir. Sürət nizamlanmasının əyani təsəvvür etmək məqsədi ilə şəkildəki mexaniki xarakteristikalar $M = f(\omega^*)$ koordinatlarında verilmişdir.



Şək. 5.39. 4A112MB6Y3 tip asinxron mühərrik üçün sürətin $U_{1j}/f_{1j} = \text{const}$ nizamlanma qanununa uyğun tezlik nizamlanması zamanı mexaniki xarakteristikalar

Xarakteristikaların analizi sürətin $U_{1j}/f_{1j} = \text{const}$ nizamlanma qanununa uyğun tezlik nizamlanması zamanı asinxron mühərrikin kritik momentinin nəzərəcarpacaq dərəcədə azaldığını göstərir.

Sürətin veriliş nizamlanma qanununa uyğun elektromexaniki $I'_2 = f(\omega)$ xarakteristikaları (5.60) ifadəsinə görə hesablanı bilər:

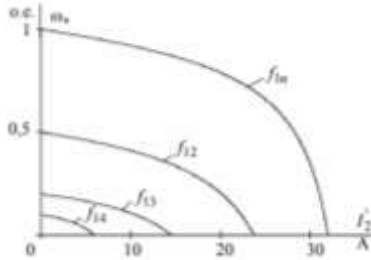
$$I'_2 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{q.q.}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu N} \cdot f_{1*}}\right)^2}}$$

Sürüşmənin s sürətə ω əsasən hesablanmasını $\omega = \omega_0(1 - s)$ ifadəsinə uyğun aparaq.

Tezliyin $f_{1N} = 50$ Hz qiyməti üçün parametrlərin ədədi qiymətləri yerinə qoyulduqda elektromexaniki xarakteristikaların ifadəsi belə yazılır:

$$I'_2 = \frac{200}{\sqrt{\left(1,878 + \frac{1,393}{s}\right)^2 + 5,352^2 \cdot 1 + \left(\frac{1,878 \cdot 1,393}{s \cdot 54,323 \cdot 1}\right)^2}}$$

(5.60) ifadəsinə əsasən MathCAD riyazi sistemində hesablanmış elektromexaniki xarakteristikalar şəkil 5.40-da verilir.



Şəkil. 5.40. 4A112MB6Y3 tip asinxron mühərrik üçün sürətin $U_{1j}/f_{1j} = \text{const}$ nizamlanma qanununa uyğun tezlik nizamlanması zamanı elektromexaniki xarakteristikalar

$I_1 = f(\omega^*)$ elektromexaniki xarakteristikaların hesablanması (1.61) ifadəsinə görə apararaq:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I_2')^2 + 2I_0 \cdot I_2' \cdot \sin\varphi_2},$$

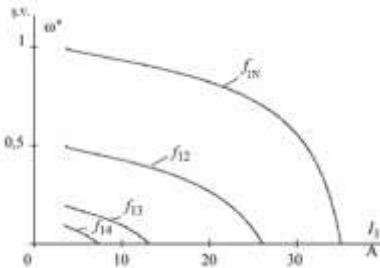
burada:

$$\sin\varphi_2 = \frac{X_{q.q} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{q.q} \cdot f_{1*}}}$$

Hər bir xarakteristika üçün s sürüşmənin ω bucaq sürətinə əsasən hesablanmasını $\omega = \omega_0(1 - s)$ ifadəsinə uyğun apararaq. Tezliyin f_{1N} və stator gərginliyinin U_{1j} dəyişməsi ilə I_0 yüksüz iş rejimi cərəyanı dəyişdiyindən, bu cərəyanın hər bir tezlik üçün qiymətini aşağıdakı tənlikdən təyin edəcəyik:

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma N} + X_{mN})^2 \cdot f_{1*}^2}}. \quad (5.66)$$

Elektromexaniki xarakteristikaların analizi (şəkil 5.43 – 5.45) göstərir ki, stator tezliyinin dəyişməsi ilə sürətin $U_{1j}/f_{1j} = \text{const}$ nizamlanma qanununa uyğun nizamlanması işəsalma cərəyanlarının nəzərəcarpacaq dərəcədə azalmasına, baxılan məsələdə isə nəticə olaraq – elektrik intiqalının mühərrik iş rejimi üçün yüklənmələrin yolverilən diapazonunun kiçilməsinə gətirir.



Şək. 5.41. 4A112MB6Y3 tip asinxron mühərrik üçün sürətin $U_{1j}/f_{1j} = \text{const}$ nizamlanma qanununa uyğun tezlik nizamlanması zamanı elektromexaniki $I_1 = f(\omega^*)$ xarakteristikalar

Elektrik mühərrikinin gücünün artması ilə R_1 müqavimətinin şərti vahidlərdə qiyməti azalır, böyük gücə malik mühərriklərdə isə f_1 tezliyinin azalması zamanı yüklənmələrin işçi diapazonunun kiçilməsi isə bir qədər aşağı dərəcədə olacaqdır.

5.2. Sinxron mühərrik

Sinxron mühərriklər sənayedə get-gedə daha geniş tətbiq sahələri tapır, bu onların yüksək texniki-iqtisadi göstəriciləri ilə izah olunur:

- digər tip elektrik maşınları ilə müqayisədə sinxron mühərriklərin üstünlüyü onların $\cos\varphi = 1$ şərtində işləmə

qabiliyyətinin olmasıdır. Sinxron mühərrikin reaktiv gücünün kompensatoru qismində işləmə qabiliyyəti xüsusi ilə mühüm əhəmiyyət kəsb edir, çünki elektrik emərjisinin əsas istifadəçiləri aktiv-induktiv yüklərdir;

- müasir sinxron mühərriklər 96-98 % qiymətini alan yüksək FİƏ-yə malikdir ki, bu da həmin gücə malik asinxron mühərriklərdə olduğunda 1-2% çoxdur;

- sinxron mühərrik mütləq sərt mexaniki xarakteristikaya malikdir;

- sinxron mühərrikin yüklənmə qabiliyyətini həyəcənlanma dolağının cərəyanı vasitəsi ilə nizamlamaq olar, belə olan halda yüklənmə qabiliyyəti asinxron mühərriklərdə olduğundan (bu asılılıq kvadratik xarakter daşıyır) qidalandırıcı şəbəkənin gərginliyindən zəif asılıdır;

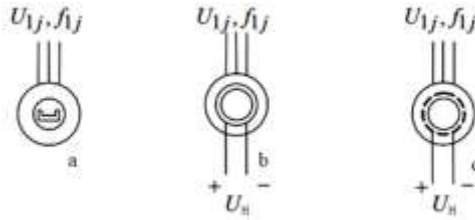
- sinxron mühərriklərin mühüm konstruksiya üstünlüyü böyük hava aralığının olmasıdır, nəticədə onlar asanlıqla xarici ventilyatorla soyudulurlar;

- sinxron mühərriklərin konstruksiyasının xüsusiyyətləri onları onlarla meqavatt gücündə hazırlamaq imkanı verir.

Sinxron maşınlar elektromexaniki enerji çeviriciləri kimi daha perspektivli satılır, onların yaxın zamanlarda mükəmməlləşdirilməsi avtomatlaşdırılmış elektrik mühərrikinin inkişafında növbəti sıçrayışa səbəb olacaqdır.

5.2.1. Sinxron mühərriklərin konstruksiyalarının xüsusiyyətləri, qoşulma sxemi

Sinxron mühərrikin dolaqlarının qoşulma sxemi şəkil 5.42-də verilmişdir. Sinxron mühərrikin statoru asinxron mühərrikin statoruna analoji olaraq 120 dərəcə sürüşmüş üç dolaqlı şıxtlanmış elektrotexniki poladdan hazırlanır. Stator dolaqlarına şəbəkənin və ya dəyişən cərəyan çeviricisinin üçfazlı sinusoidal gərginliyi verilir.



Şək. 5.42. Sinxron üçfazlı mühərriklərin şərti qrafiki işarələri: a – sabit maqnitlərdən həyəcanlanma; b – qeyri-aşkar qütblü dolağa malik rotor; c – aşkar qütblü dolağa malik rotor

Sinxron mühərrikin rotorunun maqnit hərəkətverici qüvvəsi ya kiçik gücə malik xüsusi təyinatlı mühərriklərə xas olan sabit maqnitlər (şəkil 5.42, a), ya da ki, həyəcanlanma dolaqları tərəfindən yaradılır.

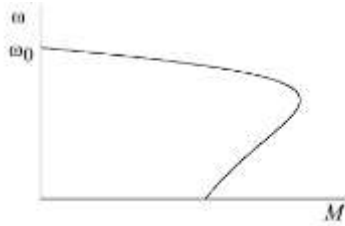
Həyəcanlanma dolaqlı rotorların konstruktiv hazırlanmasına görə aşağıdakı tip sinxron mühərriklər seçilir:

- massiv rotorlu turbomühərriklər adlanan qeyri-aşkar qütblü mühərriklər və onlarda həyəcanlanma dolaqlarını yerləşdirmək üçün açılan pəzlər (şəkil 5.42, b);
- qütblərinə sarğaclar otuzdurulmuş aşkar qütblü və həyəcanlanma dolaqlı mühərriklər (şəkil 5.42, c);

Sinxron mühərrikin rotorunda əlavə qısa qapanmış “dələ qəfəsi” şəklində olan işəsalma dolağı mövcuddur. Prinsipial sxemlərdə işəsalma “dələ qəfəsi” bütöv çevrə ilə təsvir olunur.

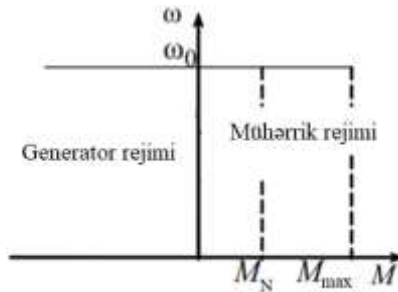
İşəsalma “dələ qəfəsi” sinxron mühərrikin asinxron mühərrikin xarakteristikasına analoji olan işəsalma mexaniki xarakteristikasını (şəkil 5.43) təmin edir, başqa sözlə desək, sinxron mühərriklərin işə salınması – asinxronudur.

Sinxron mühərrik sinxrolluğu keçdikdə onun sürəti valdakı yük momentinin hər hansı M_{\max} maksimal qiymətinə qədər dəyişdiyi zaman sabit qalır və sinxron sürətə bərabər olur: $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / z_p$.



Şək. 5.43. Sinxron mühərrikin işəsalma mexaniki xarakteristikası

Sinxron mühərrikin statik mexaniki xarakteristikası (şəkil 5.44) momentlərin oxuna paralel olan üfüqi xətdir. Əgər yük momenti M_{\max} qiymətini aşarsa, sinxron mühərrik sinxrolluqdan çıxacaqdır.



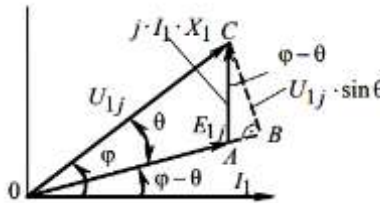
Şək. 5.44. Sinxron mühərrikin statik mexaniki xarakteristikaları

Sinxron mühərrikin maksimal M_{\max} momentini təyin etmək üçün bucaq sürəti istifadə olunur. Sinxron mühərrikin bucaq xarakteristikası M momentin sinxron mühərrikin rotorunun daxili fırlanma θ bucağından asılılığı deməkdir. θ bucağı statorun EHQ vektoru \mathbf{E}_{1j} ilə qidalandırıcı şəbəkənin faza gərginliyi vektoru \mathbf{U}_{1j} arasında və yaxud başqa sözlə desək, sinxron mühərrikin statorunun dolaqları tərəfindən yaradılmış

maqnit sahəsinin oxu ilə onun qütblərinin oxu arasındakı sürüşmə bucağıdır.

5.2.2. Qeyri-aşkar qütblü sinxron mühərriklərin elektromexaniki xassələri

Qeyri-aşkar qütblü sinxron mühərrikin bucaq xarakteristikasını mühərrik stator dolağının aktiv müqaviməti nəzərə alınmadıqda ($R_1 \approx 0$) asanlıqla təyin oluna bilər. Qəbul edilən şərt nəzərə alınmaqla sinxron mühərrikin işini əks etdirən vektor diaqramı şəkil 5.45-də təqdim olunur.



Şək. 5.45. Qeyri-aşkar qütblü sinxron mühərrikin sadələşdirilmiş vektor diaqramı

Şəkil 5.45-də aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir: I_1 – sinxron mühərrikin stator dolaqlarının cərəyanı; X_1 – stator dolağı fazasının induktiv müqaviməti; φ – faza gərginliyi vektoru ilə stator dolağı cərəyanının vektoru arasındakı bucaqdır.

Sinxron mühərrikə gətirilmiş gücü elektromaqnit gücə bərabər qəbul edək:

$$P_1 = P_{EM} = 3 \cdot U_{1j} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi. \quad (5.67)$$

Belə olan halda sinxron mühərrikin elektromaqnit momenti:

$$M = P_{EM} / \omega_0 = 3 \cdot U_{1j} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi / \omega_0. \quad (5.68)$$

5.45 şəklindəki vektor diaqramında görünür ki:

$$U_{Ij} \cdot \cos \varphi = E_{Ij} \cdot \cos(\varphi - \theta). \quad (5.69)$$

ABC üçbucağı aşağıdakını təyin etməyə imkan verir:

$$\cos(\varphi - \theta) = U_{Ij} \cdot \sin \theta / I_1 \cdot X_1. \quad (5.70)$$

(5.70) ifadəsini (5.69)-da nəzərə alsaq və alınan tənliyi $\cos \varphi$ -yə görə həll etsək:

$$\cos \varphi = E_{Ij} \cdot \sin \theta / I_1 \cdot X_1. \quad (5.71)$$

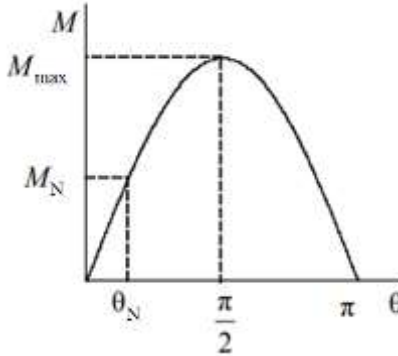
(5.69) ifadəsi (5.68)-də nəzərə alınsa, sinxron mühərrikin bucaq xarakteristikasının tənliyini alarıq:

$$M = M_{\max} \cdot \sin \theta, \quad (5.72)$$

burada, $M_{\max} = 3 \cdot U_{Ij} \cdot E_{Ij} / \omega_0 \cdot X_1$ – sinxron mühərrikin maksimal momentidir.

(5.72) ifadəsinin analizi göstərir ki, qeyri-aşkar qütblü sinxron mühərrikin bucaq xarakteristikası maşının daxili bucağının sinusoidal funksiyasıdır (şəkil 5.46).

Qeyri-aşkar qütblü sinxron mühərrikin momenti maksimal qiymətini $\theta = \pi/2$ sürüşmə bucağında alır. M_{\max} maksimal momenti sinxron mühərrikin yüklənmə qabiliyyətini xarakterizə edir. Bucağın böyük qiymətlərində sinxron mühərrik sinxromizmdən çıxır. Mühüm kəmiyyət kimi nominal momentə uyğun gələn sürüşmənin nominal bucağı $\theta_N = 25^0 \div 30^0$ sayılır.



Şək. 5.46. Qeyri-aşkar qütblü sinxron mühərrikin bucaq xarakteristikası

Sinxron mühərrik dönən maşındır yəni, onun həyəcanlanmasını asılı olmayan dolaq tərəfindən təmin olunduğundan bütün əsas enerji rejimlərində işləyə bilər: mühərrik, şəbəkəyə paralel və ya şəbəkədən asılı olmadan generator rejimlərində.

Məsələ 5.6. СТДП6300-2УХЛ4 tipli qeyri-aşkar qütblü sinxron mühərrikin bucaq və mexaniki xarakteristikalarını hesablamaq və qurmaq.

Mühərrikin texniki verilənləri:

- nominal güc: $P_N = 6300 \text{ kVt}$;
- nominal faza gərginliyi: $U_{1N} = 6000 \text{ V}$;
- nominal fırlanma tezliyi: $n_N = n_0 = 3000 \text{ dövr/dəq}$;
- momentə görə yenidən yüklənmə qabiliyyəti: $M_{\max}/M_N = 2,2$;
- nominal FİƏ: $\eta_N = 97,4 \%$;
- stator dolağının induktiv müqaviməti: $X_1 = 7,3 \text{ OM}$.

Həlli. Mühərrikin sinxron bucaq sürətini tapmaq:

$$\omega_0 = \omega_N = \pi \cdot n_0 / 30 = 3,1415 \cdot 3000 / 30 = 314,15 \text{ rad/san.}$$

Mühərrikin nominal momentini təyin edək:

$$M_N = P_N / \omega_N = 6300000 / 314,15 = 20054,114 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Qidalandırıcı şəbəkənin nominal gərginliyində mühərrikin maksimal momenti:

$$M_{\max} = 2,2 \cdot 20054,114 = 44119 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

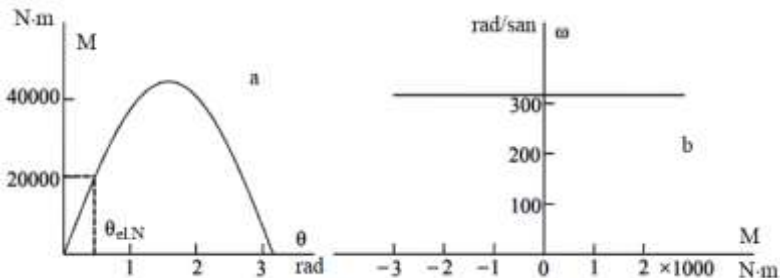
Mühərrikin nominal EHQ-si:

$$E_{IN} = 0,95 \cdot U_{IN} = 0,95 \cdot 6000 = 5700 \text{ V}.$$

Qeyri-aşkar qütblü sinxron mühərrikin bucaq sürətinin tənliyi:

$$M = (3 \cdot U_{Ij} \cdot E_{Ij} / \omega_0 \cdot X_1) \sin \theta = (3 \cdot 6000 \cdot 5700 / 314,15 \cdot 7,3) \sin \theta = 44739,1 \sin \theta.$$

Alınmış ifadəyə uyğun bucaq xarakteristikası şəkil 5.47a-da verilmişdir. Sinxron mühərrikin statik mexaniki xarakteristikası şəkil 5.47b-də təqdim olunur.

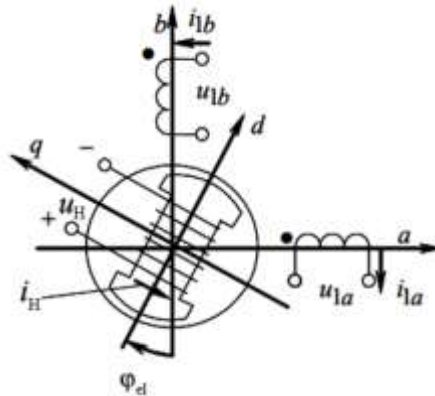


Şək. 5.47. Qeyri-aşkar qütblü sinxron mühərrikin bucaq (a) və mexaniki (b) xarakteristikaları

Sinxron mühərrikin bucaq xarakteristikasından təyin olunmuş nominal bucaq $\theta_{el.N} = 26,92^0$. Sinxron mühərrikin statik mexaniki xarakteristikası – absis oxuna paralel düz xətdir.

5.2.3. Açıq qütblü sinxron mühərriklərin elektromexaniki xassələri

Seriya şəklində buraxılan sinxron mühərriklərin əsas əksəriyyəti həyəcanlanma dolağı yerləşən aşkar qütblü rotorla hazırlanır. Həyəcanlanma dolağının qidalanması sabit gərginlik mənbəyindən kontakt halqalar vasitəsi ilə həyata keçirilir, statorun üçfazlı dolağı isə dəyişən gərginlik mənbəyinə qoşulur. Belə maşının ikifazlı əvəzetmə sxemi şəkil 1.48-də verilmişdir.



Şək. 5.48. Aşkar qütblü rotora malik ikifazlı sinxron mühərrikin qoşulma sxemi

Şəkil 5.48-dən görünür ki, ikifazlı sinxron mühərrikin stator fazalarının dolaqları fazaları 90 elektrik dərəcəsi qədər sürüşmüş iki dəyişən gərginlik mənbəyindən qidalanır:

$$U_{1a} = U_{1max} \sin \omega_{0e} \cdot t;$$

(5.73)

$$U_{1b} = U_{1max} \sin \left(\omega_{0e} \cdot t - \frac{\pi}{2} \right) = -U_{1max} \cdot \cos \omega_{0e} \cdot t,$$

burada, $\omega_{0e} = 2 \cdot \pi \cdot f_1$ – qidalandırıcı gərginliyin bucaq sürətidir.

Sinxron mühərrikin həyəcanlanma dolağı d oxuna simmetrik aşkar qütblü rotorda yerləşdirilmişdir və sabit gərginlik mənbəyinə u_H qoşulmuşdur.

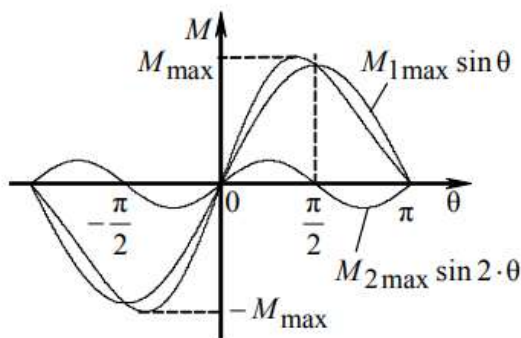
Aşkar qütblü sinxron mühərrikin bucaq xarakteristikasının tənliyi aşağıdakı ifadədən təyin olunacaqdır:

$$M = \frac{3 \cdot U_1 \cdot E_1 \cdot \sin \theta_{el}}{\omega_0 \cdot x_{1d}} + \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot x_{1d}} \left(\frac{1}{x_{1q}} - \frac{1}{x_{1d}} \right) \sin 2\theta_{el}, \quad (5.74)$$

burada, x_{1d} – sinxron mühərrikin stator dolağının uzununa d oxu üzrə induktiv müqaviməti; x_{1q} – sinxron mühərrikin stator dolağının eninə d oxu üzrə induktiv müqavimətidir.

(5.74) tənliyinin analizi göstərir ki, aşkar qütblü sinxron maşının elektromaqnit momenti iki toplanana malikdir: birincisi, rotor və stator sahələrinin qarşılıqlı təsiri zamanı yaranan M_1 elektromaqnit momenti, ikincisi isə maşının maqnit dövrəsinin qeyri-simmetrikliyi sayəsində və bununla bağlı rotorun statorun sahəsinin oxuna görə oriyentasiya etməyə cəhd etdiyi üçün yaranan M_2 reaktiv momentidir. Maşının aşkar qütblüyü nəticəsində maqnit sahəsinin enerjisi, rotorun stator sahəsi ilə istənilən iki mümkün olan eynioxlu vəziyyətlərində maksimal olacaqdır. Bu şərt isə reaktiv momentin ikiqat θ_{el} bucağından asılılığını təyin edəcəkdir. Aşkar qütblü rotara malik sinxron maşının bucaq xarakteristikası şəkil 5.49-da təqdim olunur. Xarakteristikanın analizi göstərir ki, θ_{el} bucağının artması başlanğıc sahədə elektromaqnit momentinin xəttiyyə yaxın olmaqla çoxalmasını yaradır. Nominal elektromaqnit momentdə $\theta_{el,N}$ bucağı adətən 20 – 30 dərəcə olur. Aşkar qütblü rotora malik sinxron maşının yenidən yüklənmə qabiliyyəti: λ_{max}

$= M_{\max}/M_N = 2 - 3$ ş.v. Aşkar qütblü rotora malik sinxron maşının reaktiv momentı bucaq xarakteristikasının işçi sahəsinin dikliyini yüksəldir və mühərrikin yenidən yüklənmə qabiliyyətini artırır.



Şəl. 5.49. Aşkar qütblü rotora malik sinxron mühərrikin bucaq xarakteristikası

Aşkar qütblü rotora malik sinxron maşının hətta həyəcanlanma cərəyanı mövcud olmadıqda belə momentı – reaktiv moment hesabına artır. Sinxron maşının bu xassəsi sinxron reaktiv mühərriklər bazasında həyəcanlanmasız sinxron elektrik intiqallarının yaradılmasının əsasını təşkil edir. Belə maşınlarda eninə və uzununa oxlar üzrə induktiv müqavimətlər nəzərəcarpacaq dərəcədə fərqlənir ki, nəticədə mühərrikin valında qiymətinə görə kifayət edən reaktiv moment yaranır.

Məsələ 5.7. СДКП2-16- 29-10КУХЛ14 seriyalı aşkar qütblü sinxron mühərrikin bucaq və mexaniki xarakteristikalarını hesablamaq və qurmaq.

Mühərrikin texniki verilənləri:

- nominal güc: $P_N = 500$ kVt;

- nominal xətti gərginliyi: $U_{1N} = 6000 \text{ V}$;
- nominal fırlanma tezliyi: $n_N = n_0 = 600 \text{ dövr/dəq}$;
- statorun nominal cərəyanı: $I_{1N} = 57 \text{ A}$;
- nominal FİƏ: $\eta_N = 94 \%$;
- nominal güc əmsalı: $\cos\varphi_N = 0,9$;
- işəsalma momentinin tamlığı: $M_{i.s.}/M_N = k_{i.s.} = 0,8$;
- mühərrikin momentə görə yenidən işəsalma qabiliyyəti: $M_{\max}/M_N = k_{\max} = 2,0$;
- asinxron işəsalma rejimində mühərrik tərəfindən yaradılan momentin tamlığı: $s = 0,05$, $M_{s=0,5}/M_N = 1,5$;
- işəsalma cərəyanının tamlığı: $I_{i.s.}/I_{1N} = k_i = 5,0$;
- rotorun ətalət momenti: $J = 0,53 \cdot 10^3 \text{ kq} \cdot \text{m}^2$;
- stator dolağının uzununa d oxu üzrə induktiv müqaviməti: $x_{1d} = 31,2 \text{ Om}$;
- stator dolağının eninə q oxu üzrə induktiv müqaviməti: $x_{1q} = 19,4 \text{ Om}$.

Həlli. Mühərrikin sinxron bucaq sürətini tapaq:

$$\omega_0 = \omega_N = \pi n_0 / 30 = 3,1415 \cdot 600 / 30 = 62,83 \text{ dövr/dəq.}$$

Mühərrikin nominal momentini təyin edək:

$$M_N = P_N / \omega_N = 500000 / 62,83 = 7957,98 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

Qidalandırıcı şəbəkənin nominal gərginliyində mühərrikin maksimal momenti:

$$M_{\max} = 2,0 \cdot 7957,98 = 15915,96 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

Mühərrikin nominal faza gərginliyi:

$$U_1 = U_{1N} / 3^{1/2} = 6000 / 3^{1/2} = 3464,1 \text{ V.}$$

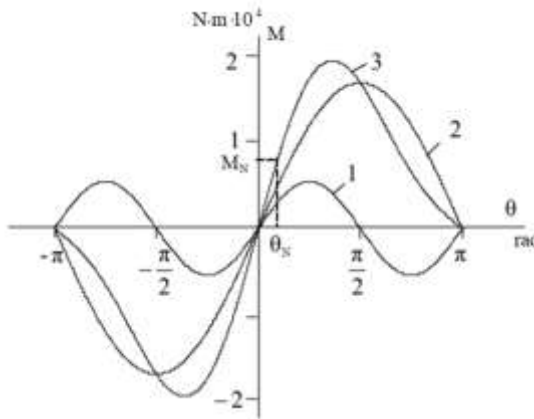
Mühərrikin nominal faza EHQ-si:

$$E_{1N} = 0,95 \cdot U_{1N} / 3^{1/2} = 0,95 \cdot 6000 / 3^{1/2} = 3290,89 \text{ V.}$$

Aşkar qütblü sinxron mühərrikin bucaq sürətinin tənliyi:

$$M = (3 \cdot U_1 \cdot E_1 \sin \theta_{el} / \omega_0 \cdot X_{1d}) + (3 \cdot U_1^2 / 2\omega_0) \cdot (1/x_{1q} - 1/x_{1d}) \sin 2\theta_{el} \\ = 17446 \cdot \sin \theta_{el} + 5601 \sin 2\theta_{el}.$$

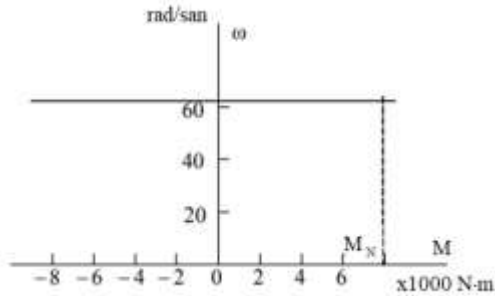
Aşkar qütblü sinxron mühərrikin alınmış ifadəyə uyğun bucaq xarakteristikası şəkil 5.50-də verilir.



Şək. 5.50. Aşkar qütblü СДКП2-16-29-10КУХЛ4sinxron mühərrikin bucaq xarakteristikası

Şəkil 5.50-nin analizi göstərir ki, СДКП2-16-29-10КУХЛ4 sinxron mühərriki nominal $M_N = 7957,98 \text{ N}\cdot\text{m}$ momentinə $\theta_N = 0,4 \text{ rad}$ (22,9 dər) nominal sürüşmə bucağında malik olacaqdır. Aşkar qütblü sinxron mühərrikin momentinin reaktiv toplananı (əyri 1) aktiv toplananla (əyri 2) müqayisə ediləndir və son xarakteristikaya (əyri 3) nəzərəcarpacaq dərəcədə təsir edir.

Sinxron mühərrikin statik mexaniki xarakteristikası şəkil 5.51-də göstərilmişdir.



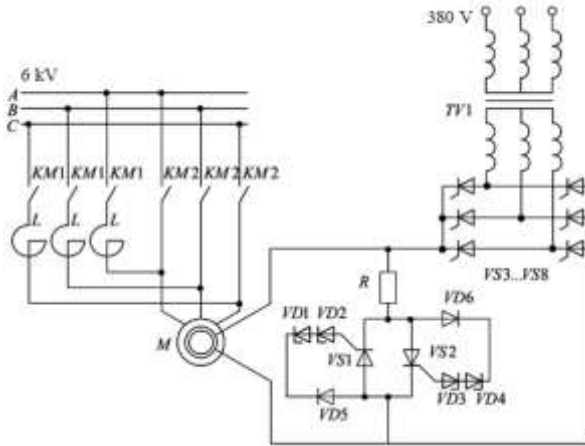
Şək. 5.51. Sinxron mühərrikin statik mexaniki xarakteristikası

Aşkar qütblü sinxron mühərrikin statik mexaniki xarakteristikası absis oxuna paralel olan düz xətdir. Sinxron mühərrikin nominal momenti yəni, sinxron mühərrikin qızmadan istənilən müddətdə işləyə bilməsi momenti $M_N = 7957,98 \text{ N}\cdot\text{m}$ -dir. Qidalandırıcı şəbəkənin nominal gərginliyində mühərrikin maksimal momenti $M_{\max} = 15915,96 \text{ N}\cdot\text{m}$ olacaqdır.

5.2.4. Sinxron mühərriklərin sinxronlaşdırılması və işə salınması

Sinxron mühərriklərin işə salınması və sinxronlaşdırılması elektrik intiqallarının iştirak etdiyi texnoloji proseslərin xüsusiyyətlərindən asılı olaraq fərqlənir. Sinxron mühərrikin yüngül və ağır işə salınması fərqləndirilir. Sinxron mühərrikin yüngül işə salınması elektrik intiqalının kiçik J_Σ ətalət momentlərində və kiçik müqavimət M_m momentlərində baş verir. Ağır işə salınma isə böyük zaman müddətində baş verir və mühərrikin sinxronlaşdırmaya girişi çətinləşir.

Güclü mühərriklər üçün güc dövrələrinin sxemi praktiki olaraq nəzərə alınmayan variasiyalarla şəkil 1.52-də təqdim olunan bir sxemə gətirilir.



Şək. 5.52. Sinxron mühərrikin güc dövrələrinin sxemi

Sinxron mühərrikin işə salınması asinxron rejimdə həyata keçirilir. Əksər hallarda gücü bir neçə yüz kilovatt olan sinxron mühərriki birbaşa şəbəkəyə qoşmaqla işə salınır. İşəsalma cərəyanının tamlığı birbaşa işəsalma zamanı belə tapılır: $k_i = I_{i.s.}/I_{1N} = 4 \div 5$.

Gücü bir neçə meqavatt olan sinxron mühərriklərin işə salınması zamanı işəsalma cərəyanlarının məhdudlandırılması məcburiyyəti yaranır. İşəsalma cərəyanlarının məhdudlandırılması üsulları asinxron mühərrikin qısa qapanma cərəyanının tənliyindən çıxır:

$$I'_{2q.q.} = \frac{U_{1j}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2}}, \quad (5.75)$$

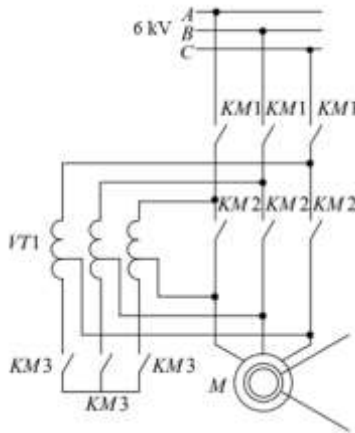
burada, U_{1j} – sinxron mühərrikin asinxron işəsalma zamanı stator dolağının faza gərginliyi; R_1 , $X_{1\sigma}$ – uyğun olaraq stator

dolağının səpilməsinin aktiv və induktiv müqavimətləri; R'_2 , $X'_{2\sigma}$ – uyğun olaraq stator dolağına gətirilmiş rotor dolağının səpilməsinin aktiv və induktiv müqavimətləridir.

Qısa qapanma cərəyanı üçün (5.75) ifadəsinin analizi göstərir ki, sinxron mühərrikin asinxron işə salınması zamanı cərəyan məhdudlanmasının üç mümkün üsulu mövcud olur:

- işəsalma zamanı stator dolağı dövrələrinə əlavə aktiv $R_{1\theta}$ müqavimətinin daxil edilməsi;
- işəsalma zamanı stator dolağı dövrələrinə əlavə reaktiv $X_{1\theta}$ müqavimətinin daxil edilməsi;
- işəsalma zamanı stator dolağının faza gərginliyinin qısa müddətli azalması.

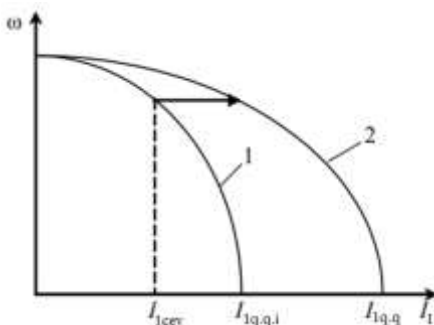
Sinxron mühərriklərin işəsalma zamanı cərəyan məhdudlandırılması əksər hallarda stator dolağı dövrələrinə qoşulan L reaktorlarının istifadə olunması ilə həyata keçirilir. Bəzi hallarda L reaktorları əvəzinə aktiv rezistorlar tətbiq olunur.



Şək. 5.53. Sinxron mühərrikin işəsalma zamanı güc dövrələri cərəyanının avtotransformator tətbiq olunmaqla məhdudlanma sxemi

Stator dolaqlarının gərginliyinin qısa müddətli azalması sxemə transformator və ya avtotransformatorların qoşulması ilə əldə olunur. Stator cərəyanının avtotransformator tətbiq olunmaqla sinxron mühərrikin işəsalma zamanı məhdudlanma sxeminin variantı şəkil 5.53-də verilmişdir.

Sinxron mühərrikin cərəyan məhdudlandırılması ilə işə salınması prosesini izah edən statik elektromexaniki xarakteristikalar şəkil 5.54-də verilmişdir.



Şək. 5.54. Sinxron mühərrikin cərəyan məhdudlandırılması ilə işə salınması prosesini izah edən statik elektromexaniki xarakteristikalar

Mühərrikin işə salınması stator dolağı dövrəsində əlavə L induktivliyi və ya stator dolağının U_{1j} gərginliyinin azalması ilə 1 xarakteristikası üzrə başlayır. Müəyyən zaman keçdikdən sonra (işəsalma cərəyanı çevrilmə cərəyanının $I_{1q\text{çev}}$ qiymətinə qədər azaldıqda) stator dolağı dövrəsindən əlavə induktivliklər (şəkil 5.52) çıxarılır və işəsalma prosesi 2 xarakteristikası üzrə davam edir.

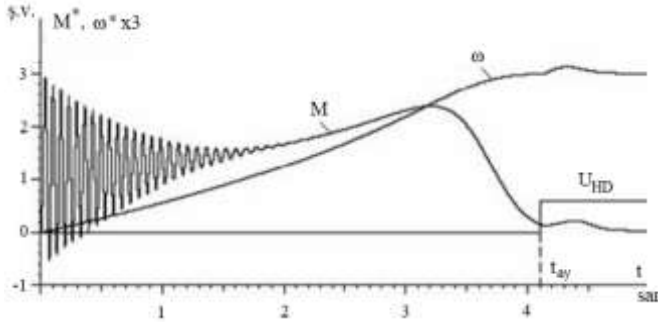
Asinxron rejimdə işəsalma zamanı VS3...VS8 tiristorlarına idarəetmə impulsları verilmir və idarəedici düzləndiricinin gərginliyi sıfıra bərabər olur. Sinxron mühərrikin həyəcanlanma dolağında, təsirindən VD1, VD2 və VD3, VD4

stabilitronları vasitəsi ilə köməkçi VS1 və VS2 tiristorları açılan dəyişən sürüşmə EHQ-si induksiya olunur. Asinxron işəsalma peosesində sinxron mühərrikin həyəcanlanma dolağı boşaldıcı R müqavimətinə qısa qapanır. Mühərrik sinxron sürətə yaxın sürətə malik olduqda sürüşmə EHQ-si və VS1, VS2 tiristorların idarəedici elektrodlarında gərginlik də azalır, onlar daha qoşula bilmir. Boşaldıcı müqavimət həyəcanlanma dolağından ayrılır. Bundan sonra həyəcanlanma dolağına VS3... VS8 idarə olunan düzləndiricidən sabit cərəyan verilir.

Sinxron mühərrikin işəsalma “dələ qəfəsi” qısa müddətli bir qayda olaraq 20÷50 saniyə iş rejiminə hesablanır (asinxron rejimdə uzun müddətli iş rejimi yolverilməzdir). İşəsalma rejiminin təmin olunmasından əlavə “dələ qəfəsi” mühərrikin sinxron rejimdə işləməsi zamanı keçid proseslərini stabilləşdirərək dempfirləyici dolaq rolunu oynayır.

Gücü bir neçə yüz kilovatt olan sinxron mühərriklər üçün aralıq işəsalma xarakteristikaları olmadan şəbəkəyə birbaşa qoşulmaqla işəsalma mümkündür. Sinxron mühərrikin birbaşa işə salınması zamanı M momenti və ω sürəti keçid proseslərinin elektromaqnit keçid prosesləri nəzərə alınmaqla təxmini görünüşü şəkil 5.55-də verilmişdir. Sinxron mühərrik asinxron rejimdə sinxronaltı $\omega_{s.a.}$ sürətinə qədər sürətlənir, bundan sonra t_{ay} zaman anında həyəcanlanma dolağına həyəcanlanma U_{HD} gərginliyi verilir və mühərrik sinxronizmə dartılır. Sinxronizmə daxilolma prosesinə prinsipial olaraq gərginliyin həyəcanlanma dolağına qoşulma anı təsir edir. Həyəcanlanma gərginliyinin qoşulmasının ən əlverişli anı gətirilmiş EHQ-nin ani qiymətinin həyəcanlanma dolağında sıfıra bərabər olduğu an sayılır. Lakin, xüsusi tədqiqatlar göstərir ki, rotorun stator dolaqları vasitəsi ilə yaradılan maqnit sahəsinə nəzərən nisbi vəziyyəti nə keçid prosesinin keyfiyyəti, nə də ki, prosesin başa çatma müddəti baxımından böyük praktiki əhəmiyyətə malik deyil. Bu səbəbdən əksər praktiki hallarda idarəetmə sxemi ən əlverişli

zaman anında həyəcanlanmanın qoşulmasını təmin edən qurğuların daxil olunması yolu ilə mürəkkəbləşmir.



Şək. 5.55. Sinxron mühərrikin işə salınması zamanı M moment və ω sürət keçid proseslərinin ayrılması

Aşağıdakı ifadədən istifadə etməklə sinxronizmə daxil olma şərtini yoxlamaq olar:

$$\omega_{s.a.} \geq \omega_0 \left(1 - 0,0564 \sqrt{\frac{M_{max}}{J_{\Sigma} \cdot \omega_0^2}} \right), \quad (5.76)$$

burada, M_{max} – sinxron maşının maksimal momenti; J_{Σ} – elektrik intiqalının mühərrikin valına gətirilmiş toplam ətalət momentidir.

Sinxronizmə dartılma prosesi əsasən iki parametrdən asılıdır: sinxronaltı sürətin $\omega_{s.a.}$ qiyməti və elektrik intiqalının mühərrikin valına gətirilmiş toplam ətalət J_{Σ} momenti.

5.2.5. Sinxron mühərriklərin sürətinin nizamlanması

Sinxron mühərrikin sinxronizmə daxil olması zamanı valda yük momentinin müəyyən M_{max} qiymətinə qədər

dəyişməsi ilə onun sürəti sabit qalır və sinxron qiymətə bərabər olur:

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi f_1 / z_p.$$

Seriya şəklində buraxılan mühərriklərin cüt qütblərinin sayının z_p dəyişməsi tətbiq olunmadığından, tezlik nizamlanması sinxron mühərriklərin bucaq sürətlərinin nizamlanmasının yeganə üsulu olacaqdır. Bu nizamlanma əsasən qısa qapanmış asinxron mühərriklərin sürətinin tezlik nizamlanması kimi göstəricilərlə xarakterizə olunur. Belə nizamlanma hamar və iki zonalıdır. Nizamlanma diapazonu nominal sinxron sürətdən yuxarı rotorun mexaniki mihkəmliyi, onun balanslaşdırılması və diyircəkli mexanizmlərin keyfiyyəti ilə məhdudlanır. Nizamlanma diapazonu nominal sinxron sürətdən aşağı $D = 1 : (50 \div 100)$ və daha yuxarı qiymətlərini ala bilər (mühərrikin mexaniki xarakteristikalarının mütləq sərtliliyi nəzərə alınmaqla və qidalanma gərginliyinin sinusoidallığı təmin olunmaqla). Sürətin stabilliyi yüksəkdir. Sabit həyəcanlanmada və sərbəst ventilyasiyada yolverilən yük nominal momentə uyğun gəlir.

Yarımkeçirici tezlik çeviricilərinin istifadə olunması tezlik-nizamlanan sinxron elektrik intiqallarında statik və keçid proseslərinin formalaşması nöqtəyi-nəzərindən böyük imkanlar açır.

Qısa qapanmış asinxron mühərrikdən fərqli olaraq, sürətin tezlik nizamlanmasında sinxron mühərrik momentin idarə olunmasının üç kanalına malik olur: həyəcanlanma cərəyanının I_H dəyişməsi, stator dolaqlarının gərginliklərinin U_{1j} dəyişməsi və stator dolaqlarının gərginliyinin tezliyinin f_{1j} dəyişməsi.

Aşkar qütblü sinxron mühərrik üçün elektromaqnit momentinin tənliyi alına bilər (tənliyin çıxarılışı texniki ədəbiyyatlarda verilir):

$$M = \frac{3 \cdot z_p}{2} L_{12d} \frac{U_{1j} \cdot I_{Hj} \cdot \sin \theta_{el}}{X_{1qj}} + \frac{3 \cdot z_p}{2} (L_{1d} - L_{1q}) \frac{U_{1j} (E_{1j} - U_{1j}) \sin \theta_{el} \cdot \cos \theta_{el}}{X_{1qj} \cdot X_{1dj}}. \quad (5.77)$$

(5.77) ifadəsində j indeksi uyğun parametrlərin dəyişməsinə göstərir.

(5.77) ifadəsində elektromaqnit momentin ikinci toplananını nəzərə almasaq:

$$M = A \frac{U_{1j} \cdot I_{Hj}}{f_{1j}} \sin \theta_{el}, \quad (5.78)$$

burada, A – sabit əmsaldır.

Əgər sinxron mühərrikin sürətinin tezlik nizamlanmasında dayanıqlıq ehtiyatının sabit qaldığını qəbul etsək, aşağıdakı şərt ödənilməlidir:

$$\theta_{el,j} = \theta_{el.N}$$

və ya

$$\sin \theta_{el,j} = \sin \theta_{el.N}. \quad (5.79)$$

burada, θ_j – sinxron mühərrikin rotorunun M_m müqavimət momenti, stator dolağı gərginliyinin f_{1j} tezliyi, stator dolaqlarının U_{1j} gərginliyinin, I_{Hj} həyəcanlanma selinin birlikdə dəyişməsi zamanı dönmə bucağıdır

(5.78) tənliyini $\sin \theta_{el}$ -ə görə həll etsək:

$$\sin \theta_{el} = \frac{M \cdot f_{1j}}{A \cdot U_{1j} \cdot I_{Hj}}. \quad (5.80)$$

(5.80) ifadəsi (5.79) tənliyində nəzərə alınsa:

$$\frac{M \cdot f_{1j}}{U_{1j} \cdot I_{Hj}} = \frac{M_N \cdot f_{1N}}{U_{1N} \cdot I_{HN}},$$

burada,

$$\frac{U_{1j} \cdot I_{Hj}}{U_{1N} \cdot I_{1N}} = \frac{M \cdot f_{1j}}{M_N \cdot f_{1N}}. \quad (5.81)$$

(5.81) şərtinin ödənilməsindən sinxron mühərrikin sürətinin tezlik nizamlanmasının aşağıdakı qanunları alınır:

- $f_{1j} = \text{var}$; $I_H = I_{H.N} = \text{const}$; $U_{1j} = U_{1N} = \text{const}$. Sürətin nizamlanması sabit gücdə həyata keçirilir. Verilən nizamlanma üsulunda bucaq sürətinin azalması zamanı sinxron mühərrik nəzərəcərpacaq maksimal M_{\max} momentə malik olur. Lakin, maksimal momentin aşağı bucaq sürətlərində artması maşının reaktiv müqavimətlərinin azalması nəticəsində stator cərəyanının böyüməsi ilə müşayət olunur. Nizamlanma üsulu nominal ω_{0N} sürətdən yuxarı nizamlanmada tətbiq oluna bilər;

- $f_{1j} = \text{var}$; $I_H = I_{H.N} = \text{const}$; $U_{1j}/U_{1f} = \text{const}$. Sürətin nizamlanması sabit momentdə həyata keçirilir. Nizamlanma qanunu istehsal mexanizminin bucaq sürətindən asılı olmayan mexaniki xarakteristikasında tətbiq olunur yəni, $M_m = \text{const}$.

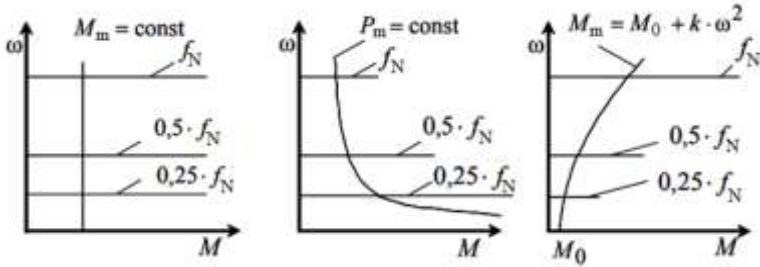
- $f_{1j} = \text{var}$; $I_H = I_{H.N} = \text{const}$; $U_{1j}/(f_{1f})^{1/2} = \text{const}$. Sürətin nizamlanması ω_{0N} nominal sürətdən aşağı sabit gücdə ($P_m = \text{const}$) həyata keçirilir.

- $f_{1j} = \text{var}$; $I_H = I_{H.N} = \text{const}$; $U_{1j}/f_{1f}^2 = \text{const}$. Sürətin nizamlanması ventilyator yükündə yəni, $M_m = M_0 + k \cdot \omega^2$ olduqda həyata keçirilir.

Istehsal mexanizmlərinin və tezlik çeviricisi – sinxron mühərrik elektrik intiqallarının $U_{1j}/f_{1j} = \text{const}$ sinfinin nizamlanma qanunları üçün mexaniki xarakteristikaları şəkil 5.56-da verilmişdir.

Sinxron mühərrikin sürətinin tezlik nizamlanmasının baxılan idarəetmə qanunları yalnız birinci yaxınlaşmada, əsasən

də aşkar qütblü sinxron mühərriklər üçün düzgündür belə ki, reaktiv elektromaqnit momentinin nəzərə alınmaması mühərrikin mexaniki xassələrinin nəzərəçarpacaq (20 %-ə qədər) xətalılarına gətirir.



Şək. 5.56. İstehsal mexanizmlərinin və tezlik çeviricisi – sinxron mühərrik elektrik intiqallarının mexaniki xarakteristikaları

Sinxron mühərrik çox mühüm xassəyə malikdir – stator dolaqlarına sabit gərginlik ($f_1 = 0$) verildikdə, tərpənməz rotorda onun verilmiş vəziyyətdə mexaniki fiksə olunmasını təmin edərək tormozlanma momenti yaranır.

6. ELEKTRİK İNTİQALLARININ QAPALI SİSTEMLƏRİ

6.1. Sabit cərəyan elektrik intiqalları

Əksər istehsal mexanizmlərinin elektrik intiqalının funksional sxeminin seçilməsi yükün xarakteri ilə təyin olunur. Avadanlığın mexaniki hissələrinin dağılmasına gətirə bilən ən ağır yüklənmələr texnoloji prosesin normal axını zamanı iş prosesinin axıra kimi mümkün olduğu maşın və mexanizmlərdə yaranır. Bu halda mühərrikin momentinin yolverilən həddə avtomatik məhdudlanmasını təmin etmək lazımdır. Sabit cərəyan elektrik intiqalları üçün momentin məhdudlanması lövbər cərəyanının məhdudlanması ilə həyata keçirilir:

$$I_{M.max} \leq M_{y.v.}/c, \quad (6.1)$$

burada, $M_{y.v.}$ – istehsal mexanizminin mexaniki möhkəmliyi ilə təyin olunan onun maksimal yolverilən momenti; c – elektromaqnit momentin əmsalıdır.

Cərəyanın məhdudlanması keçid rejimlərində mühərrik və çeviricinin artıq yüklənmələrdən qorumaq üçün vacibdir. Mühərrik lövbərin maksimal cərəyanı $I_{M.max}$ aşağıdakı səviyyədə məhdudlanmalıdır:

$$I_{M.max} \leq I_N \lambda_I, \quad (6.2)$$

burada, λ_I – mühərrikin cərəyana görə yolverilən yüklənmə əmsalıdır.

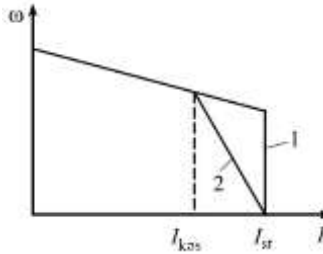
Bəzi istehsal mexanizmləri üçün keçid rejimlərində işçi orqanların təcilinin $(d\omega/dt)_{y.v.}$ yolverilən həddə məhdudlanması lazımdır, bu halda mühərrik lövbərinin maksimal cərəyanı aşağıdakı şərtlə təyin olunur:

$$I_{M.max} \leq \frac{J_{\Sigma}}{c} \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_{y.v.} + \frac{M_s}{c}, \quad (6.3)$$

burada, J_{Σ} – elektrik intiqalının ekvivalent ətalət momenti, $\text{kq}\cdot\text{m}^2$; M_s – mühərrik valında statik yükün momentidir, $\text{N}\cdot\text{m}$.

Beləliklə, mühərrikin cərəyanı mexanizmin mexaniki möhkəmliyi, mühərrikin cərəyanı görə yol verilən yüklənməsi və istehsal mexanizmi işçi orqanın yerdəyişməsinin yol verilən təcili şərtləri daxilində yol verilən yükü ilə təyin olunur. Cərəyanın (6.1), (6.2) və (6.3) şərtlərindən seçilən ən kiçik $I_{M.max}$ qiyməti yol verilən stopor cərəyanı adlanır və I_{st} kimi işarə olunur.

Avtomatlaşdırılmış elektrik intiqallarında mühərrikin cərəyanının məhdudlanması onlarda xüsusi elektromexaniki xarakteristikalar yaratmaq yolu ilə həyata keçirilir. Xarakteristika bucaq sürətinin işçi yüklənmələrdə saxlanılmasının tələb olunan dəqiqliyini və yükün verilmiş qiymətdən yuxarı artması zamanı cərəyanın yol verilən həddə məhdudlanmasını təmin etməlidir. Cərəyanın məhdudlanması ilə ideal xarakteristika şəkil 6.1-də (əyri 1) verilmişdir.



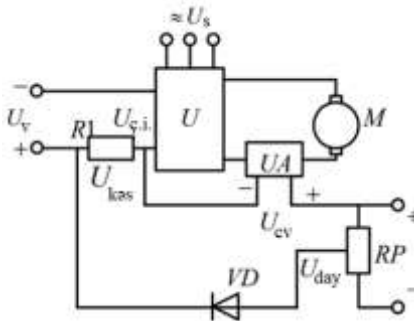
Şək. 6.1. Cərəyan məhdudlanması ilə elektromexaniki xarakteristika

Cərəyanın nizamlanma konturunun güclənmə əmsalının məhdudlanması nəticəsində real elektromexaniki xarakteristika şəkil 6.1-də göstərilmişdir (əyri 2).

6.1.1. Cərəyan kəsimli çevirici – sabit cərəyan mühərriki sistemi

Cərəyan kəsimli çevirici –mühərrik (Ç-M) sisteminin funksional sxemi şəkil 6.2-də təqdim olunur.

İstənilən fiziki təbiətə malik (elektromaşın, maqnit, yarımkeçirici çevirici və s.) U çeviricisinin girişinə verici U_v gərginliyi verilir. Çevirici mühərriki gərginliyin dəyişməsi ilə lövbər dolağı dövrəsi üzrə idarə edir. UA – cərəyanvericisi sadə halda rezistor M mühərrik lövbərinin cərəyanına mütənasib gərginlik verir. Əks əlaqə dövrəsinə aşağıdakılar daxil edilmişdir: VD diodu və RP potensiometrindən götürülən U_{day} dayaq gərginliyi mənbəyi. Əks əlaqə signalı $U_{ə.ə.}$ $R1$ rezistorunda formalaşır.

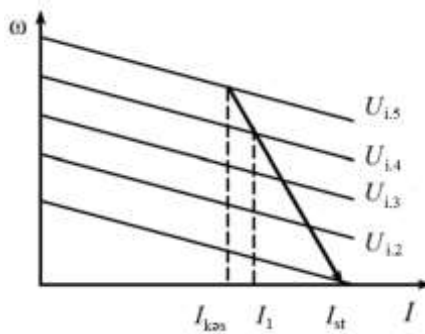


Şək. 6.2. Cərəyan kəsimli çevirici-mühərrik sisteminin funksional sxemi

Ç-M açıq sistemin elektromexaniki xarakteristikaları ailəsi şəkil 6.3-də verilmişdir. Bu xarakteristikalardan hər biri verici gərginliyin nizamlanmasının açıq sistemində $U_{id.i.}$ qiymətinə bərabər olan $U_{v.i.}$ müəyyən qiymətinə uyğun gəlir.

Tutaq ki, mühərrik $U_{id.5}$ idarəetmə gərginliyinə uyğun elektromexaniki xarakteristikada işləyir. Mühərrikin yüksüz iş

rejimində cərəyan vericisinin gərginliyi $U_{cv} < U_{day}$ və cərəyan əlaqəsi mövcud olmur. Yükün artırılması ilə cərəyan vericisinin U_{cv} gərginliyi çoxalır və lövbərin $I_{kəs} = I$ cərəyanında dayaq U_{day} gərginliyinə bərabər olur.



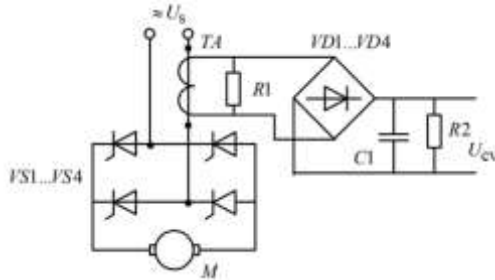
Şek. 6.3. Cərəyan kəsimli çevirici-mühərrik sisteminin elektromexaniki xarakteristikaları

Yükün sonrakı məsələn, I_1 qiymətinə qədər artırılması U_{cv} gərginliyinin dayaq gərginliyindən yüksək qiymət almasına gətirir ($U_{cv} > U_{day}$). Əks əlaqə dövrəsində VD diodu vasitəsi ilə I_{cv} cərəyanı axmağa başlayır. Çeviricinin əks əlaqə zamanı verici gərginliklə əks əlaqə $U_{ə.ə.}$ gərginliyinin fərqinə bərabər olan idarə olunması U_{id} gərginliyi azalır. Mühərrik gərginliyin yeni qiymətinə uyğun gələn elektromexaniki xarakteristikaya keçir: $U_{i,4} < U_{i,5}$.

Əks əlaqə təsirinin nəticəsində yükün sonrakı artımı ardıcıl olaraq $U_{i,3}$, $U_{i,2}$ qiymətlərini alan idarəetmə U_i siqnalının azalmasına gətirir. Bu şərt isə ekskavator xarakteristikası nöqtələrini təsvir edən açıq sistemin uyğun elektromexaniki xarakteristikalar üzrə keçidinə cavabdehdir. Mühərrik cərəyan I_{st} qiymətini aldıqda dayanır. Mühərrik lövbərinin tərpənməz vəziyyətində çeviricinin EHQ-si mühərrikin lövbər dövrəsindəki gərginlik düşgüsü ilə tarazlaşır.

RP potensiometrinin köməyi ilə U_{day} gərginliyini dayışaraq, əks əlaqə işə düşən I_{kas} cərəyanını dəyişmək və deməli mühərrikin hüdud momentini nizamlamaq mümkündür.

Elektrik intiqalının güc dövrlərinin və idarəetmə sxeminin qalvanik açılması vacibliyi yalnız elektromaşın və maqnit gücləndiricilərə malik olan elektrik intiqallarında cərəyan vericisi və ya ilkin verici qismində aktiv müqaviməti istifadə etməyə imkan verir. Tiristor elektrik intiqallarında lövbər cərəyanına mütənasib siqnalı bir qayda olaraq tiristor çeviricisinin dəyişən cərəyan güc dövrəsinə qoşulmuş cərəyan transformatorunun TA köməyi ilə alırlar (şəkil 6.4).



Şək. 6.4. Cərəyan transformatoru üzərində qurulmuş cərəyan vericisi

6.1.2. Cərəyan kəsimli çevirici –mühərrik sisteminin elektromexaniki xarakteristikaları

Funksional sxemi şəkil 6.2-də verilən cərəyan kəsimli çevirici-mühərrik sisteminin elektromexaniki xarakteristikalarının hesablanması aşağıdakı şərtlər daxilində aparılır:

- çeviricinin statik xarakteristikası xəttidir: $E_c = f(U_i)$;
- mühərrik cərəyanının dəyişməsinin bütün diapazonunda cərəyan vericisinin ötürmə əmsalı k_{cv} sabitdir;

• düzünə müqaviməti sıfır, əks əlaqə müqaviməti isə sonsuz olan VD diodu ideal – ventildir;

Elektromexaniki xarakteristikanın iki sahəsi üçün qərarlaşmış iş rejimində elektrik intiqalı sisteminin elementlərini və əlaqələrini təsvir edən tənliklər sistemini tərtib edək.

Xarakteristikanın birinci sahəsində mühərrik lövbəri cərəyanı $0 \leq I \leq I_{kəs}$ və cərəyan əlaqəsi mövcud deyil, belə olan halda tənliklər sistemi belə olacaqdır:

$$\begin{aligned}U_{\zeta} &= E_{\zeta} - I \cdot R_{\zeta}; \\E_{\zeta} &= k_{\zeta} \cdot U_i; \\U_M &= E_M + I \cdot (R_{M.is.} + R_{cv}); \\E_M &= c \cdot \omega; \\U_v &= U_i,\end{aligned}\tag{6.4}$$

burada, U_{ζ} – çeviricinin çıxışındakı gərginlik, V; E_{ζ} – çeviricinin yüksüz iş rejiminin EQ-si, V; R_{ζ} – çeviricinin ekvivalent müqaviməti, Om; $k_{\zeta} = E_{\zeta}/U_i$ – çeviricinin ötürmə əmsalı; R_{cv} – cərəyan vericisinin müqavimətidir.

(1.4) tənliklər sistemini $U_{\zeta} = U_M$ nəzərə almaqla həll edərək, elektrik intiqalının açıq sisteminin elektromexaniki xarakteristikasının ifadəsini alırıq:

$$\omega = k_{\zeta} \cdot k_M \cdot U_v - I \cdot k_M \cdot R_{LD},\tag{6.5}$$

burada, $R = R_M + R_{\zeta} + R_{cv}$ – ÇM sisteminin lövbər dövrəsinin müqaviməti; $k_M = 1/c$ – mühərrikin ötürmə əmsalıdır.

Xarakteristikanın ikinci sahəsində $I \geq I_{kəs}$ cərəyan kəsimi işə düşür. Çeviricinin idarə olunma gərginliyi

$$U_i = U_v - U_{kəs},\tag{6.6}$$

cərəyana görə əks əlaqə gərginliyi isə:

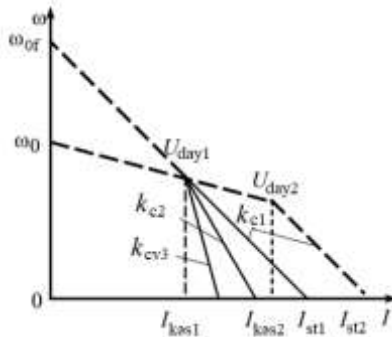
$$U_{kəs} = k_c \cdot I - U_{day},\tag{6.7}$$

burada, k_c – cərəyana görə əks əlaqənin ötürmə əmsalı, Ω_m ; U_{day} – dayaq gərginliyidir, V.

(6.4), (6.6) və (6.7) tənliklərini birlikdə həll edib, cərəyana görə mənfi əks əlaqəli qapalı sistemin elektromexaniki xarakteristikalarının ifadəsini alırıq:

$$\omega = k_c \cdot k_M (U_v + U_{day}) - I \cdot R_{LD} \cdot k_M \left(1 + \frac{k_c \cdot k_c}{R_{LD}} \right). \quad (6.8)$$

(6.5) və (6.8) ifadələrinin analizi göstərir ki, cərəyan kəsimi təsiri zamanı elektromexaniki xarakteristikanın dikliyi artır və onu k_c əmsalının dəyişməsi ilə nizamlamaq olar. Şəkil 6.5-də müxtəlif k_c üçün sistemin $k_{c3} > k_{c2} > k_{c1}$ şərti daxilində elektromexaniki xarakteristikaları göstərilmişdir.

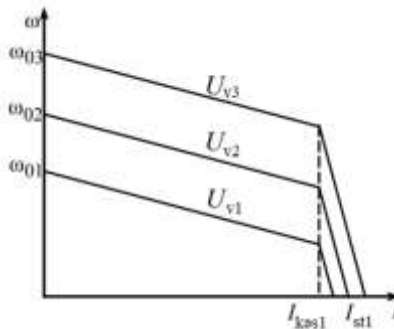


Şək. 6.5. Cərəyan vericisi ötürmə əmsalının müxtəlif qiymətləri üçün elektrik intiqalının elektromexaniki xarakteristikaları

U_{day} kəmiyyətinin dəyişməsi ideal yüksüz iş rejiminin fiktiv bucaq sürətinin $\omega_{0f} = k_c \cdot k_M (U_v + U_{day})$ mütənasib dəyişməsinə və deməli, xarakteristikaların paralel sürüşməsinə

gətirir. Məsələn, k_{c1} və $U_{day2} > U_{day1}$ zamanı xarakteristika şəkil 6.5-də ştrixlə göstərilmişdir.

U_v -nin dəyişməsi də ideal yüksüz iş rejiminin ω_0 и ω_{0f} bucaq sürətlərinin mütənəsib dəyişməsinə gətirir. (6.5) və (6.8) ifadələrində argumentdə əmsallar sabit qalır, elektromexaniki xarakteristikalar isə $U_{v3} > U_{v2} > U_{v1}$ şərti daxilində şəkil 6.6-da göstərildiyi kimi paralel olaraq sürüşür.



Şək. 6.6. Verici gərginliyin müxtəlif qiymətlərində elektrik intiqalının elektromexaniki xarakteristikaları

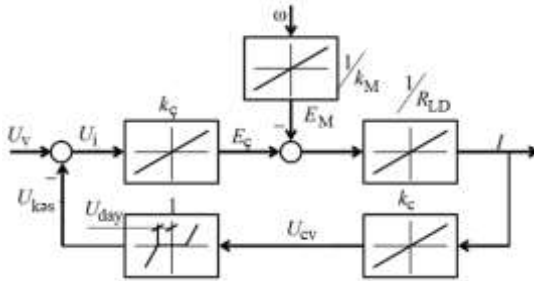
Əgər (6.8) tənliyi mühərrikin I cərəyanına görə həll edilsə, aşağıdakı bərabərliyi alarıq:

$$I = \frac{k_c(U_v + U_{day})}{R_{LD}\left(1 + \frac{k_c \cdot k_c}{R_{LD}}\right)} - \omega \frac{1}{R_{LD} \cdot k_c \left(1 + \frac{k_c \cdot k_c}{R_{LD}}\right)}, \quad (6.9)$$

Aldığımız ifadə göstərir ki, cərəyana görə mənfi əks əlaqənin təsiri zamanı elektrik intiqalı mühərrikin cərəyanının avtomatik saxlanılması rejimində işləyəcək, mühərrikin bucaq sürəti isə əsas həyəcanlandırıcı təsir olacaqdır.

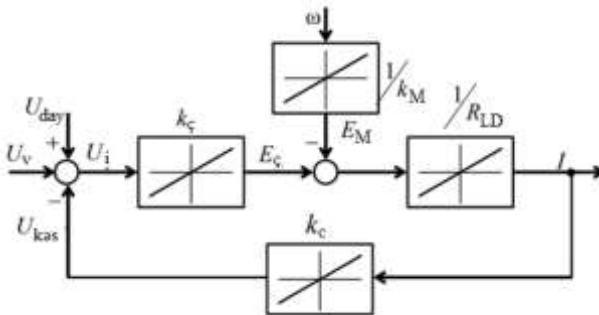
Cərəyana görə mənfi əks əlaqənin təsiri zamanı avtomatik nizamlanma sisteminin struktur sxemi (şəkil 6.2) şəkil 6.7-də verildiyi kimi təsvir oluna bilər. Cərəyana görə mənfi əks

əlaqə dövrəsinə ötürmə əmsalı vahid və U_{day} dayaq gərginliyi ilə təyin olunan qeyri-həssas zonalı qeyri-xətti element (QXE) daxil edilmişdir.



Şək. 6.7. Cərəyana görə mənfi əks əlaqəli cərəyanın avtomatik nizamlanması sisteminin struktur sxemi

Dayaq U_{day} gərginliyi cərəyana görə mənfi əks əlaqənin təsiri zamanı hət hansı ekvivalent verici təsir kimi baxıla bilər və onu sistemin girişinə köçürmək olar. Belə olan halda sistemin struktur sxemi şəkil 6.8-də göstərildiyi kimi olacaqdır.



Şək. 6.8. Mühərrik cərəyanının stabilləşməsi rejimində işləyən elektrik intiqalının struktur sxemi

Cərəyan konturunun tələb olunan güclənmə əmsalının $k_{təl}$ qiyməti aşağıdakı düsturdan tapılır:

$$k_{təl} = \delta_{ac}/\delta_{qc} - I, \quad (6.10)$$

burada, δ_{ac} – elektrik intiqalının açıq sistemində cərəyan saxlanılmasının statik xətası, ş.v.; δ_{qc} – elektrik intiqalının qapalı sistemində cərəyan saxlanılmasının statik xətası, ş.v.

$$\delta_{ac} = (I_{q.q.} - I_{kəs})I_{kəs}, \quad (6.11)$$

burada, $I_{q.q.} = (k_{\zeta} \cdot U_{vmax})/R_{LD}$ – yuxarı nizamlanma xarakteristikası üçün təyin olunan qısa qapanma cərəyanı, A; U_{vmax} – maksimal verici gərginlikdir, V.

Cərəyan kəsiminin təsiri zamanı cərəyan saxlanılması qapalı sistemin statik δ_{qc} xətası $I_{kəs}$ və I_{st} üçün texniki göstərişin tələblərinə uyğun aşağıdakı ifadədən təyin olunur:

$$\delta_{qc} = (I_{st} - I_{kəs})I_{kəs}. \quad (6.12)$$

Belə olan halda

$$k_{təl} = \frac{k_{\zeta} \cdot \frac{U_{vmax}}{R_{LD}} - I_{kəs}}{I_{st} - I_{kəs}} - 1. \quad (6.13)$$

Cərəyanın stabilləşməsi rejimində $I > I_{kəs}$ olduğu zaman verilmiş elektromexaniki xarakteristikaları almaq üçün tələb olunan cərəyana görə əks əlaqənin ötürülməsi k_c əmsalı şəkil 6.8-də göstərilən struktur sxemə uyğun olaraq belə hesablanacaqdır:

$$k_c = \frac{k_{təl}}{k_{\zeta}/R_{LD}}. \quad (6.14)$$

Cərəyan kəsimi konturunun parametrlərinin yekun hesablanması üçün U_{day} kəmiyyətini təyin edək. Dayaq gərginliyinin qiymətini (6.7) ifadəsində tapmaq olar. $I = I_{kəs}$ olduqda cərəyan məhdudlayıcı düyün işə düşür, cərəyana görə əks əlaqə gərginliyi isə $U_{ə.ə.} = 0$, deməli:

$$U_{day} = k_c \cdot I_{kəs}. \quad (6.15)$$

Məsələ 6.1. Tiristor çeviricisi-mühərrik cərəyan kəsikli sisteminin parametrlərini və elektromexaniki xarakteristikalarını hesablamaq. Fasiləli cərəyan rejiminin təsiri nəzərə alınmır. Cərəyan kəsimi $I_{kəs} = 3 \cdot I_{MN}$ cərəyan qiymətində təsir edir. Elektrik mühərrikinin tam dayanması $I_{st} = 4 \cdot I_{MN}$ stopor cərəyanında baş verir. Tiristor çeviricisi düzləndirmənin simmetrik üçfazlı körpü sxeminə malikdir. İmpuls-faza idarə olunması (İFİS) sistemi idarəetmənin şaquli prinsipi üzrə sinusoidal dayaq gərginliyi ilə hazırlanır. Tiristor çeviricisinin güclənmə əmsalı $k_\zeta = 32,41$ qiymət alır. Tiristor çeviricisinin ekvivalent müqaviməti $R_\zeta = 1,202$ Om. Tiristor çeviricisinin ekvivalent induktivliyi $L_\zeta = 0,0405$ Hn. Maksimal verici gərginlik $U_{vmax} = 10$ V.

ПБСТ-52 tip elektrik mühərriki aşağıdakı pasport verilənlərinə malikdir: $P_{MN} = 2,5$ kVt; $U_{MN} = 200$ V; $I_{MN} = 13,2$ A; $\omega_N = 104,7$ rad/san; $R_{M.is} = 1,248$ Om; $J_M = 0,109$ kq·m².

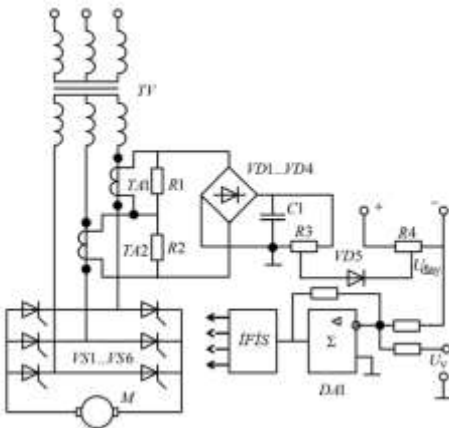
Həlli. Elektrik intiqalının funksional sxemi şəkil 6.9-da verilmişdir.

Cərəyan nizamlanması konturunun güclənmə əmsalının $k_{təl}$ qiyməti (6.13) ifadəsindən tapırıq:

$$k_{təl} = \frac{k_\zeta \cdot \frac{U_{vmax}}{R_{LD}} - I_{kəs}}{I_{st} - I_{kəs}} - 1 = \frac{32,41 \cdot \frac{10}{2,45} - 39,6}{52,8 - 39,6} - 1 = 6,02.$$

burada, $R_{LD} = R_\zeta + R_{M.is} = 1,202 + 1,248 = 2,45$ – lövbər dolağı dövrəsinin müqaviməti, Om; $I_{kəs} = 3 \cdot I_{MN} = 3 \cdot 13,2 = 39,6$ –

cərəyan kəsimi, A; $I_{st} = 4 \cdot I_{MN} = 4 \cdot 13,2 = 52,8$ – stopor cərəyanıdır, A.



Şək. 6.9. Cərəyan kəsimli tiristor çeviricisi-mühərrik elektrik intiqalının funksional sxemi

Cərəyana görə tələb olunan əks əlaqə k_c əmsalını (6.14) ifadəsinə əsasən tapılır:

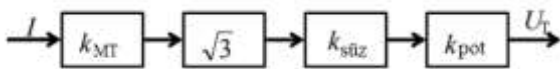
$$k_c = \frac{k_{tal}}{k_c / R_{LD}} = \frac{6,02}{32,41 / 2,45} = 0,4552 \text{ Om}.$$

Dayaq U_{day} gərginliyini (1.15) ifadəsindən təyin edirik:

$$U_{day} = k_c \cdot I_{k\partial s} = 0,4552 \cdot 39,6 = 18,026 \text{ V.}$$

Cərəyanın ilkin vericisi qismində 6TA tipli ilkin nominal cərəyanı 15 A olan iki cərəyan transformatoru istifadə olunur. $R_1 = R_2 = 0,6 \text{ Om}$ olduqda cərəyan transformatoru 0,5%-dən çox olmayan xəta təmin edir, ötürmə əmsalı isə $k_{MT} = 0,2 \text{ Om}$ qiymətini alır. Funksional sxemdə (şəkil 6.9) göstərildiyi kimi

TV güc transformatorunun ikinci dolağının iki fazasına mühərrikin lövbər dolağı cərəyanının çevrilməsi zamanı onların ümumi ötürmə əmsalı $(3)^{1/2} \cdot k$ -ya bərabər olduqda TA1 və TA2 cərəyan transformatorları qoşulur. VD1...VD4 diod körpüsü cərəyan vericilərinin ikinci dolağının dəyişən gərginliyi düzləndirir, C1 tutum süzgəci isə düzləndirilmiş gərginlikdə dəyişən toplananın azaldılması üçün istifadə olunur. Belə olan halda cərəyan vericisinin struktur sxemi şəkil 6.10-da göstərildiyi kimi təsvir etmək olar (k_{pot} – R3 potensiometrinin ötürmə əmsalı, $k_{\text{süz}}$ – süzgəcin ötürmə əmsalıdır).



Şək. 6.10. Cərəyan vericisinin struktur sxemi

k_c -nin təmin olunması üçün tutum süzgəcinin ötürmə əmsalı $k_{\text{süz}} = 1,4$ olduğunu nəzərə almaqla potensiometrin ötürmə k_{pot} əmsalını tapaq:

$$k_{\text{pot}} = \frac{k_c}{k_{MT} \cdot \sqrt{3} \cdot k_{\text{süz}}} = \frac{0,4552}{0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,4} = 0,9291.$$

Belə işarələmə apararaq:

$$k_c = k_{\partial.\partial.} \cdot k_{MT}, \quad (6.16)$$

burada, $k_{\partial.\partial.} = (3)^{1/2} \cdot k_{\text{süz}} \cdot k_{\text{pot}} = k_c/k_{MT}$ – cərəyana görə əks əlaqənin uzlaşma əmsalıdır.

Belə olan halda:

$$k_{\partial.\partial.} = k_c/k_{MT} = 0,4552/0,2 = 2,276.$$

Elektrik itiqalının açıq sisteminin elektromexaniki xarakteristikası $I < I_{k\partial s}$ şərtində aşağıdakı şəkllə malik olacaqdır:

$$\omega = k_{\zeta} \cdot k_M \cdot U_v - I \cdot k_M \cdot R_{LD}.$$

Parametrlərin ədədi qiymətlərini yerinə qoysaq:

$$\omega = 32,41 \cdot 0,514 \cdot U_v - I \cdot 0,514 \cdot 2,145, \quad (6.17)$$

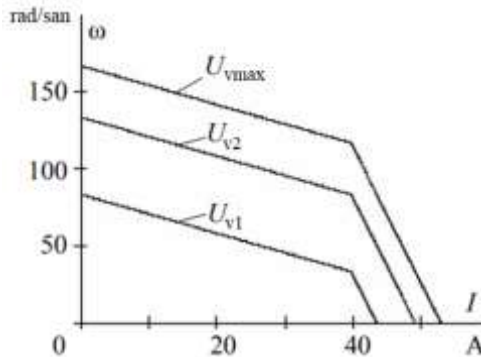
burada, $k_M = 1/c = \omega_N / (U_N - I_N \cdot R_{M.is}) = 104,7 / (220 - 13,2 \cdot 1,248) = 0,514 \text{ rad/V} \cdot \text{san.}$

Cərəyanın stabilləşməsi sahəsi üçün ($I \geq I_{kəs}$) elektromexaniki xarakteristikalarının tənliyini (6.16) ifadəsi (1.8)-də nəzərə alınmaqla aşağıdakı şəkllə düşəcəkdir:

$$\omega = k_\zeta \cdot k_M (U_v + U_{day}) - I \cdot R_{LD} \cdot k_M \left(1 + \frac{k_{\partial, \partial} \cdot k_{MT} \cdot k_\zeta}{R_{LD}} \right). \quad (6.18)$$

Parametrlərin ədədi qiymətləri yerinə qoyulduqda:

$$\omega = 32,41 \cdot 0,514 (U_v + 18,026) - I \cdot 2,45 \cdot 0,514 \left(1 + \frac{2,276 \cdot 0,2 \cdot 32,41}{2,45} \right). \quad (6.19)$$



Şək. 6.11. Cərəyan kəsimli elektrik intiqalı sisteminin elektromexaniki xarakteristikaları

Cərəyan kəsimli TÇ-M elektrik intiqalı sisteminin verici gərginliyin üç $U_{v\max}=10\text{ V}$, $U_{v2}=8\text{ V}$ və $U_{v1}=5\text{ V}$ qiymətlərində (6.17) və (6.18) ifadələrinə əsasən hesablanmış elektromexaniki xarakteristikaları şəkil 6.11-də verilmişdir.

Məsələ 6.2. Cərəyan kəsimli tiristor çeviricisi-mühərrikin statik və dinamik mexaniki xarakteristikalarını maksimal verici gərginlik $U_{v\max}=10\text{ V}$ olduqda hesablamalı. Funksional sxem, mühərrik və çeviricinin parametrləri və idarəolunma sistemləri məsələ 6.1-də olduğu kimidir.

Həlli. Sabit cərəyan mühərrikinin elektromaqnit momenti belə təyin olunur:

$$M = I/k_M. \quad (6.20)$$

(1.20) ifadəsi (1.5)-də nəzərə alınsa:

$$\omega = k_\zeta \cdot k_M \cdot U_v - M \cdot k_M^2 \cdot R_{LD}, \quad (6.21)$$

parametrlərin ədədi qiymətlərini nəzərə alsaq:

$$\omega = 32,41 \cdot 0,514 \cdot U_v - M \cdot 0,514^2 \cdot 2,45.$$

Cərəyanın stabilləşmə sahəsi ($I \geq I_{k\partial s}$) üçün mexaniki xarakteristikanın tənliyini (6.20) və (6.18) ifadələrini birlikdə həll etməklə almaq olar:

$$\omega = k_\zeta \cdot k_M (U_v + U_{day}) - M \cdot R_{LD} \cdot k_M^2 \left(1 + \frac{k_{\partial, \partial} \cdot k_{MT} \cdot k_\zeta}{R_{LD}} \right). \quad (6.22)$$

Parametrlərin ədədi qiymətləri yerinə qoyulsa:

$$\omega = 32,41 \cdot 0,514 (U_v + 18,026) - M \cdot 2,45 \cdot 0,514^2 \left(1 + \frac{2,276 \cdot 0,2 \cdot 32,41}{2,45} \right).$$

Elektrik intiqalının mexaniki xarakteristikasının hesablamalarının nəticələri cədvəl 6.1-ə daxil edək.

Cədvəl 6.1

M, N·m	0	76,94	102,59
ω , rad/san	166,5	116,64	0

Cərəyan kəsimli TÇ-M elektrik intiqalının dinamik xarakteristikalarının hesablanması üçün elektrik intiqalının struktur sxemini tərtib edək (şəkil 6.12).

Tiristor çeviricisini zaman sabiti aşağıdakı ifadə ilə hesablanan aperiodik bənd kimi qəbul edək.

$$T_{\zeta} = 0,5/m_d \cdot f_{1N} = 0,5/6 \cdot 50 = 0,00167 \text{ san}$$

burada, $f_{1N} = 50$ Hz – qidalandırıcı şəbəkənin tezliyi; $m_d = 6$ – düzləndirilmiş gərginliyin impulslarının sayıdır.

Mühərrikin əlavə parametrlərini təyin edək:

- Nominal həyəcanlanma selində EHQ əmsalı və elektromaqnit momenti:

$$c = (U_{MN} - I_{MN} \cdot R_{M.is})/\omega_N = (220 - 13,2 \cdot 1,248)/104,7 = 1,943.$$

- Mühərrikin lövbər dolağının induktivliyi:

$$L_M = k_L \cdot U_{MN}/2 \cdot p \cdot n_{MN} \cdot I_{MN} = 12 \cdot 220/2 \cdot 3 \cdot 1000 \cdot 13,2 = 0,033 \text{ Hn},$$

burada, mühərrikin cüt qütblərinin sayı; $k_L = 6 - 8$ sürətli kompensə olunmamış maşınlar; $k_L = 8 - 12$ normal kompensə olunmamış maşınlar; $k_L = 5 - 6$ kompensə olunmuş maşınlar üçün.

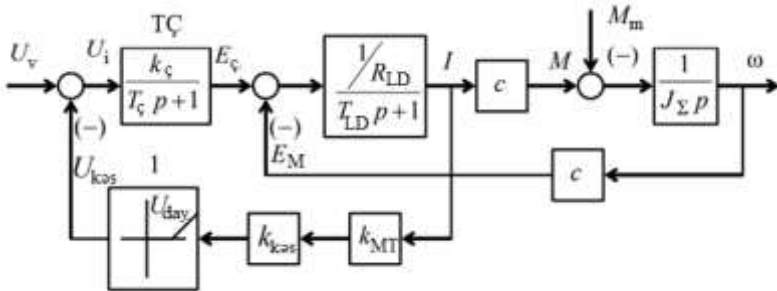
- Lövbər dolağının induktivliyi:

$$L_{LD} = L_M + L_{\zeta} = 0,033 + 0,0405 = 0,0735 \text{ Hn.}$$

- Lövbər dolağının elektromaqnit zaman sabiti:

$$T_{LD} = L_{LD}/R_{LD} = 0,0735/2,45 = 0,03 \text{ san.}$$

Şəkil 6.12-də verilən struktur sxemə uyğun olaraq WINDORA proqram mühitində elektrik intiqalının imitasiya modelinin sxemi tərtib olunmuş və keçid proseslərinin, dinamik mexaniki xarakteristikaların hesablanması həyata keçirilmişdir.



Şək. 6.12. Cərəyan kəsimli tiristor elektrik intiqalının xətti sisteminin struktur sxemi

Ötürmə əmsalı vahidə bərabər olan və qeyri-həssaslıq zonası $U_{day} = 18,026$ dayaq gərginliyi ilə təyin olunan qeyri-xətti element PGON parça-xətti approksimasiya bəndi vasitəsi ilə modelləşdirilir. Parça-xətti approksimasiya bəndin parametrlərinin daxil edilməsi pəncərəsi cədvəl 6.2-də göstərilmişdir.

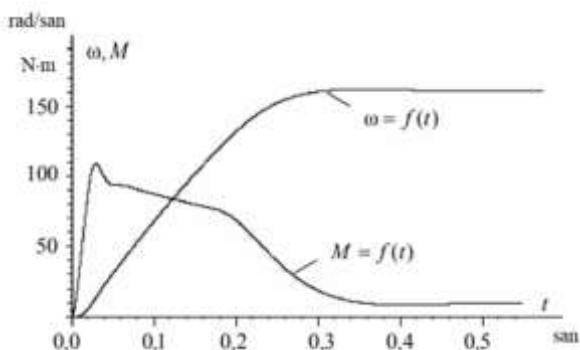
Cədvəl 6.2

	X1	X2
--	----	----

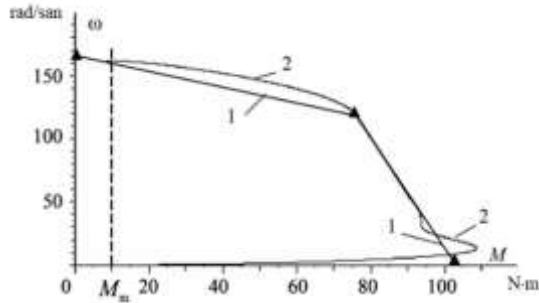
x1	0	0
x2	18.026	0
x3	70.026	52.00

Elektrik intiqalının mexaniki hissəsi birkütləli, ətalət momenti $J = 0,109 \text{ N}\cdot\text{m}^2$ olan, “quru sürtünmə” tipli $M_m = 10 \text{ N}\cdot\text{m}$ müqavimət momenti ilə yüklənmiş və HAFTINT bəndi ilə təqdim olunmuş mexaniki sistemlə modelləşmişdir.

Maksimal verici $U_{vmax} = 10 \text{ V}$ gərginlikdə mühərrikin işəsalma keçid proseslərinin modelləşməsinin nəticələri şəkil 6.13-də $\omega = f(t)$ və $M = f(t)$ ayrıləri şəklində verilmişdir.



Şək. 6.13. $U_{vmax} = 10 \text{ V}$ pilləli giriş siqnalının emalı zamanı $M = f(t)$ və $\omega = f(t)$ keçid proseslərinin qrafikləri



Şək. 1.14. Cərəyan kəsimli elektrik intiqalının mexaniki xarakteristikaları: 1 – statik; 2 – dinamik; ▲ – statik xarakteristikanın hesablanmış cərəyanları

Keçid proseslərinin nəticələrinə görə qurulmuş dinamik mexaniki xarakteristika şəkil 6.14-də 2 əyrisi ilə verilmişdir. Elə bu şəkildə cədvəl 6.1-də olan hesablamaların nəticələrinə görə qurulmuş statik mexaniki xarakteristika (sınıq xətt 1) göstərilmişdir.

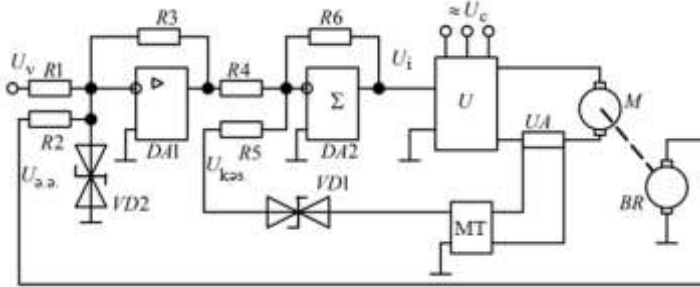
Nəticələr. Dinamik və statik mexaniki xarakteristikaların yaxşı uzlaşması alınmışdır lakin, tədqiqatlarının nəticələri göstərir ki dinamik moment və deməli mühərrik lövbəri cərəyanı keçid rejimlərində kommutasiya şərtlərinə görə yolverilən qiymətləri aşır. Kollektorun xarab olması nəticəsində mühərrikin sıradan çıxması mümkündür.

6.1.3. Cərəyan kəsimli sürətə görə mənfi əks əlaqəli çevirici – mühərrik sistemi

Elektrik intiqalının baxılan sisteminin funksional sxemi şəkil 6.15-də təqdim olunur.

Burada M mühərriki lövbər dolağı dövrəsi üzrə ayrı bir U çeviricidən idarə olunur. Mühərrikin valında sürət vericisi – mühərrikin fırlanma sürətinə mütənasib mənfi əks əlaqə $U_{a.a.}$ signalını formalaşdıran taxogenerator BR yerləşir. Mühərrikin cərəyanına mütənasib signal CV cərəyan vericisi tərəfindən

hasil olunur. Dayaq gərginliyi VD1 stabiltronu vasitəsi ilə yaradılır.



Şək. 1.15. Cərəyan kəsimli sürətə görə mənfi əks əlaqəli elektrik intiqalının funksional sxemi

Elektromexaniki xarakteristikanın birinci sahəsində yəni, $I \leq I_{kəs}$ olduqda elektrik intiqalı mühərrikin bucaq sürətinin stabilləşməsi rejimində sürətə görə mənfi əks əlaqə ilə işləyir.

Çeviricinin idarə olunması $U_{iç}$ gərginliyi şəkil 6.16-da göstərilmiş funksional sxemə uyğun olaraq aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$U_{i.ç} = k_{sn} \cdot k_{\Sigma} (U_v - U_{a.ə.}), \quad (6.23)$$

burada, k_{sn} – sürət nizamlayıcısının gücləndirmə əmsalı; k_{Σ} – summatorun (cəmləyici) ötürmə əmsalı; $U_{a.ə.}$ – sürətə görə mənfi əks əlaqə gərginliyidir:

$$U_{a.ə.} = k_s \cdot \omega, \quad (6.24)$$

burada, $k_s = k_u \cdot k_{sv}$ – sürətə görə əks əlaqə əmsalı, V·san/rad; k_{sv} – sürət vericisinin ötürmə əmsalı, V·san/rad; k_u – uzlaşma əmsalıdır, ş.v.

(6.23)-dən $U_{iç}$ -ni açıq sistemin elektromexaniki xarakteristikalarının (6.5) tənliyində nəzərə alıb $U_{iç} = U_v$ qəbul

etsək, müəyyən çevrilmələrdən sonra sürətə görə mənfi əks əlaqli sistemin elektromexaniki xarakteristikaları üçün tənlik alırıq:

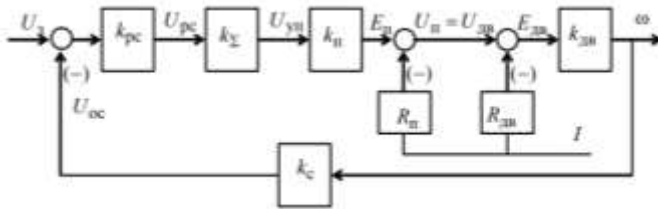
$$\omega = \frac{k_{sn} \cdot k_{\Sigma} \cdot k_{\zeta} \cdot k_M \cdot U_v}{1 + k_{sn} \cdot k_{\Sigma} \cdot k_{\zeta} \cdot k_M \cdot k_s} - I \frac{R_{LD} \cdot k_M}{1 + k_{sn} \cdot k_{\Sigma} \cdot k_{\zeta} \cdot k_M \cdot k_s}. \quad (6.25)$$

Elektrik intiqalının sürətin stabilləşməsi sahəsində statik iş rejiminə uyğun gələn struktur sxem şəkil 6.16-da verilmişdir.

Elektromexaniki xarakteristikanın ikinci sahəsində ($I \geq I_{kəs}$) cərəyan kəsiminin təsiri işə düşür və çeviricinin idarəetmə gərginliyi belə hesablanır:

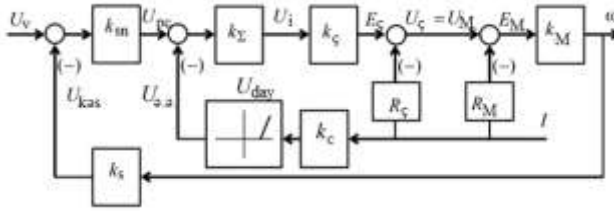
$$U_{i\zeta} = k_{sn} \cdot k_{\Sigma} (U_v - U_{day}) - k_{\Sigma} \cdot U_{kəs}, \quad (6.26)$$

burada, $U_{ə.ə.} = k_c \cdot I - U_{day}$ – cərəyana görə əks əlaqə gərginliyi; $k_c = k_u \cdot k_{c.v.}$ – cərəyana görə əks əlaqə əmsalı, Om; $k_{c.v.}$ – cərəyan vericisinin ötürmə əmsalı, Om; k_u – uzlaşma əmsalıdır, ş.v.



Şək. 6.16. Elektrik intiqalının sürətin stabilləşməsi sahəsində statik iş rejiminə uyğun gələn struktur sxem

Elektrik intiqalının cərəyan kəsikli təsir zonasında və sürətə görə mənfi əks əlaqə zamanı statik iş rejiminə uyğun gələn struktur sxemi şəkil 6.17-də göstərilmişdir.



Şək. 1.17. Elektrik intiqalının cərəyan kəsimli təsir zonasında struktur sxemi

(6.5) və (6.26) tənliklərinin birlikdə həlli hər iki əks əlaqənin təsiri olduğu elektromexaniki xarakteristikanın ifadəsini almağa imkan verir:

$$\omega = \frac{k_{sn} \cdot k_{\Sigma} \cdot k_{\check{c}} \cdot k_M \cdot (U_v + U_{day})}{1 + k_{sn} \cdot k_{\Sigma} \cdot k_{\check{c}} \cdot k_M \cdot k_s} - I \frac{R_{LD} \cdot k_M \left(1 + k_{sn} \cdot k_{\Sigma} \cdot k_{\check{c}} \cdot \frac{k_c}{R_{LD}} \right)}{1 + k_{sn} \cdot k_{\Sigma} \cdot k_{\check{c}} \cdot k_M \cdot k_s}. \quad (6.27)$$

(6.25) və (6.27) ifadələrinin analizi göstərir ki, cərəyan kəsimi təsiri zamanı xarakteristikanın absis oxuna tərəf meyilliyi I arqumentində əmsalın artması nəticəsində $(1 + k_i \cdot k_{\check{c}} \cdot k_{c.v} / R_{LD})$ dəfə böyüyür.

Elektromexaniki xarakteristikanın ikinci sahəsində cərəyana və sürəti stabilləşdirən sürətə görə mənfi əks əlaqələr bir-birinə əks təsir göstərir. Cərəyanı stabilləşdirən cərəyana görə əks əlaqə mühərrikin sürətini azaldır, sürətə görə əlaqə isə onu artırmağa çalışır. Bu səbəbdən cərəyanın effektiv stabilləşməsi üçün sürətə görə mənfi əks əlaqəni $U_v - U_{a.v}$ siqnallar fərqi müəyyən səviyyədə məhdudlandıran kəsilmə düyünlərinin daxil edilməsi ilə kəsirlər. Şəkil 6.15-də təqdim olunan sxemdə belə kəsimi əksər elektrik intiqallarında həm də sürət nizamlayıcısının giriş dövrlərinin gərginlik artmalarından müdafiəsi üçün istifadə olunan VD2 stablitronu yerinə yetirir. $U_v - U_{a.v}$ siqnallar fərqi stablitronun tipindən təyin olunan dəşilmə gərginliyinə qədər artması zamanı nizamlayıcının girişində gərginliyin sonrakı artımı kəsilir.

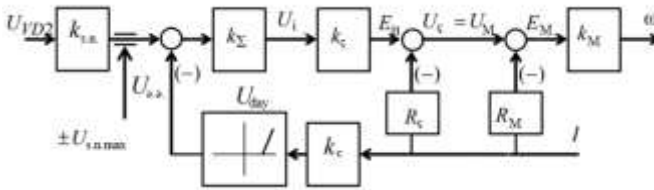
Nizamlayıcının gücləndirmə əmsalının böyük qiymətlərində sürətə görə mənfi əks əlaqə sürət nizamlayıcısının əməliyyat gücləndiricisinin doyma rejiminə daxil olarkən kəsilir. Sürət nizamlayıcısının çıxışında maksimal $U_{s.n.max}$ signalı qərarlaşdırılır. Bu halda çeviricinin idarə olunma gərginliyi belə təyin edilir:

$$U_i = k_{\Sigma}(U_{s.n.max} - U_{ə.ə.}). \quad (6.28)$$

Beləliklə, statik xarakteristikanın üçüncü hissəsində $I > I_{kəs}$ və $U_v - U_{ə.ə.} > U_{VD2}$ olduqda yalnız bir cərəyana görə mənfi əks əlaqə təsir göstərir, çevirici-mühərrik sisteminin elektromexaniki xarakteristikası isə aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$\omega = k_{\zeta} \cdot k_{\Sigma} \cdot k_M \cdot (U_{s.n.max} + U_{day}) - I \cdot R_{LD} \cdot k_M \cdot \left(1 + k_{\zeta} \cdot k_{\Sigma} \cdot \frac{k_c}{R_{LD}}\right). \quad (6.29)$$

Elektrik intiqalının cərəyanın stabilləşməsi rejimində sturuktur sxemi şəkil 6.18-də təqdim olunur.



Şək. 6.18. Elektrik intiqalının cərəyanın stabilləşməsi rejimində sturuktur sxemi

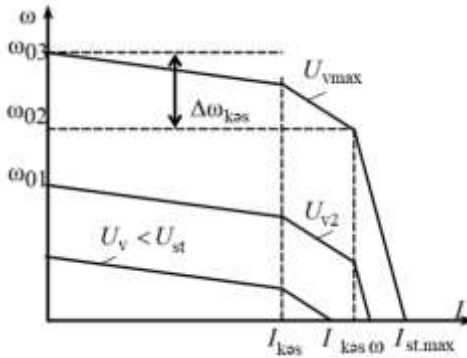
Qeyd edək ki, $U_v - U_{ə.ə.}$ signallar fərqi U_v -nin istənilən qiymətində bucaq sürətinin aşağıdakı ifadədən təyin olunan eyni bir $\Delta\omega_{kəs}$ dəyişməsində U_{VD2} qiymətini alır.

$$\Delta\omega_{k\partial s} = U_{VD2}/k_s. \quad (6.30)$$

Cərəyana görə əks əlaqənin ötürmə əmsalı k_c (6.29) ifadəsindən $I = I_{st}$ olduqda bucaq sürəti $\omega = 0$ nəzərə alınmaqla tapıla bilər. Dayaq gərginliyi $U_{day} = k_c \cdot I_{k\partial s}$ isə (6.15) ifadəsindən təyin edilir. Belə olan halda:

$$k_c = \frac{U_{s.n.max} - \frac{I_{st} \cdot R_{LD}}{k_{\Sigma} \cdot k_{\zeta}}}{I_{st} - I_{k\partial s}}. \quad (6.31)$$

Müxtəlif U_v üçün elektromexaniki xarakteristikalar şəkil 6.19-da verilmişdir. TÇ-M sistemi elementlərinin ötürmə əmsallarının sabit qiymətlərində elektromexaniki xarakteristikaların üç sahəsi qarşılıqlı paraleldir və kəsişmir.



Şək. 6.19. Cərəyan kəsimli cərəyana görə mənfi əks əlaqəli elektrik intiqalının elektromexaniki xarakteristikaları

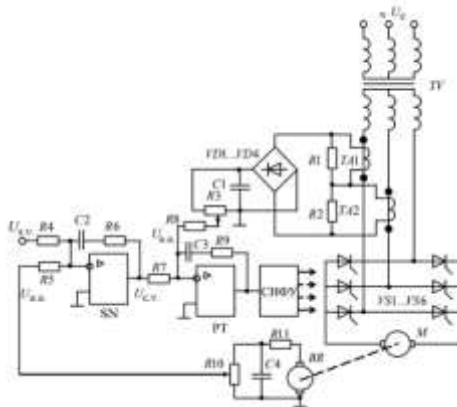
Nəzərdən keçirilən cərəyan kəsimli elektrik intiqalları cərəyan və sürətin stabiləlmə üsulları haqqında yalnız ümumi təsəvvürləri verir. Hazırda cərəyan kəsimi məhdud tip elektrik intiqallarında – əsasən ekskavatorların elektrik intiqallarında tətbiq olunur. XX əsrin 70-ci illərində hazırlanan və hazırda

tətbiq olunan iki konturlu sabit cərəyan elektrik intiqalları tabeli nizamlanma prinsipi əsasında qurulmuşdur.

6.1.4. Tabeli nizamlanmaya malik sabit cərəyan elektrik intiqalı

Tabeli cərəyan konturlu elektrik intiqalı sistemləri ilk növbədə sabit cərəyan elektrik intiqallarında tətbiq olunmuşdur (şəkil 6.20). Cərəyan konturu adətən, mütənasib-inteqral tip CN cərəyan nizamlayıcısından təşkil olunur. Onun girişinə R7 rezistoru vasitəsi ilə verilən lövbər cərəyanı U_{vc} signalı verilir. R8 rezistorundan isə M mühərrikin lövbər cərəyanına görə mənfi əks əlaqə signalı daxil olur. Mühərrik lövbərinin ilkin cərəyan vericisi kimi iki TA1 və TA2 cərəyan transformatorları çıxış edir. Cərəyan vericisi özündə həm də VD1...VD4 diod düzləndiricisini, C1 kondensatoru üzərində hamarlayıcı süzgəci və R3 gərginlik bölücüsünü birləşdirir. Cərəyan vericisinin təyinatı lövbər cərəyanının ona mütənasib olan idarəetmə sisteminin standart gərginliyinə uyğun gələn cərəyanı görə əks əlaqə $U_{a.ə}$ gərginliyinə çevirməkdir.

Çevirici VS1...VS6 tiristorlar üzərində hazırlanmışdır. Tiristorlarla idarəni impuls-faza idarəetmə sistemi həyata keçirir.



Şək. 6.20. Tabeli kontura malik elektrik intiqalının funksional sxemi

Xarici kontur mühərrikin sürətinin nizamlanmasını həyata keçirir. Baxılan halda sürət nizamlayıcısı SN mütənasib-inteqral tiptədir. Onun girişinə R4 rezistoru vasitəsi ilə sürət vericisi $U_{s.v.}$ signalı, R5 rezistorundan isə mühərrikin sürətinə görə mənfi əks əlaqə $U_{ə.ə.}$ signalı verilir. İlk sürət vericisi BR taxogeneratorudur. C4 kondensatoru taxogeneratorun gərginliyinin kommutasiya və kollektor rəqslərini hamarlayan aşağı tezliklərin süzgəci rolunu oynayır. R11 və R10 rezistorları sürətə görə əks əlaqə $U_{ə.ə.}$ gərginliyini təmin edən bölücünü təşkil edirlər. Tabeli nizamlanma sisteminin xüsusiyyəti nizamlayıcıların və qapalı konturların sayının nizamlanan koordinatların sayına bərabər olmasıdır.

Şəkil 6.20-nin analizi göstərir ki, xarici sürət nizamlanması konturunun çıxış signalı $U_{c.v.}$ daxili cərəyan nizamlayıcı konturun verici signalıdır. Beləliklə, hər bir daxili kontur xarici kontura tabe olur. Nəticədə nizamlama sisteminin adlandırılmasına əsas yaranır. Bundan əlavə, sistemin belə quruluşu nizamlanma konturlarını sərbəst kökləməyi həyata keçirməyə imkan verir. Elektrik intiqalının şəkil 6.20-də göstərilən funksional sxemə uyğun xəttləşmiş iki konturlu sisteminin struktur sxemi şəkil 6.21-də verilmişdir.

Şəkil 6.21-də mühərrikin strukturu onu təsvir edən tənliklərə uyğun verilmişdir. Tiristor çevirici ötürmə əmsalı k_c və zaman sabiti isə T_c olan aperiodik bəndlə verilmişdir. Cərəyan və sürət vericiləri də k_c və k_s ötürmə əmsallı, T_c və T_s zaman sabitlərə malik aperiodik bəndlərlə verilmişdir. Şəkil 6.21-də sxemin klassik tabeli nizamlanmaya malik iki konturlu sxemdən fərqi mühərrikin EHQ-sinə görə şəkildə punktilə göstərilən mənfi əks əlaqə signalının mövcudluğundadır.

$$W_{c.n.}(p) = k_{c.n.} \left(1 + \frac{1}{T_{c.n.} p} \right) \quad (6.32)$$

Şəkil 6.21-də aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

$$k_c = U_{c.v.max}/I_{M.max} - \text{cərəyana görə əks əlaqə əmsalı};$$

$I_{M,max}$ – mühərrik lövbərinin maksimal yolverilən cərəyanı;

$T_c = 1/2 \cdot m \cdot f_1$ – tiristor çeviricisinin zaman sabiti;

m – qidalandırıcı şəbəkənin bir periodunda idarə olunan

224

f_1 – qidalandırıcı şəbəkənin tezliyidir.

Cərəyanın mütənasib-inteqral nizamlayıcısı ilə cərəyanın statik nizamlanma xətası sıfıra yaxınlaşır belə ki, nizamlayıcı nəzəri olaraq sonsuz böyük güclənmə əmsalına malikdir. Sürət konturu modul (MO) və ya simmetrik optimuma (SO) köklənir.

Sürət konturunu modul optimumuna köklədikdə sürət nizamlayıcısı ötürmə funksiyalı mütənasib tip alınır:

$$W_{s.n.}(p) = k_{s.n.} = \frac{J_{\Sigma} \cdot k_c}{c \cdot k_s \cdot a_{\mu c} \cdot T_{\mu c}}, \quad (6.33)$$

burada, J_{Σ} – elektrik intiqalının ətalət momenti; $a_{\mu c} = 2$ – modul optimumuna köklənmənin standart əmsalı; $k_s = U_{s.v.max}/\omega_N$ – sürətə görə əks əlaqə əmsalı; $U_{s.v.max}$ – mühərrikin sürət vericisinin maksimal gərginliyi; ω_N – mühərrikin nominal sürəti; c – EHQ və mühərrikin nominal həyəcanlanma selində elektromaqnit momenti əmsalı; $T_{\mu c} = a_{\mu c} \cdot c + T_s$ –toplam kiçik zaman sabitidir.

Simmetrik optimuma köklənmə zamanı sürət nizamlayıcısı ötürmə funksiyalı mütənasib-inteqral tip alınır:

$$W_{s.n.}(p) = k_{s.n.} \left(1 + \frac{1}{T_{s.n.} \cdot p} \right) \quad (6.34)$$

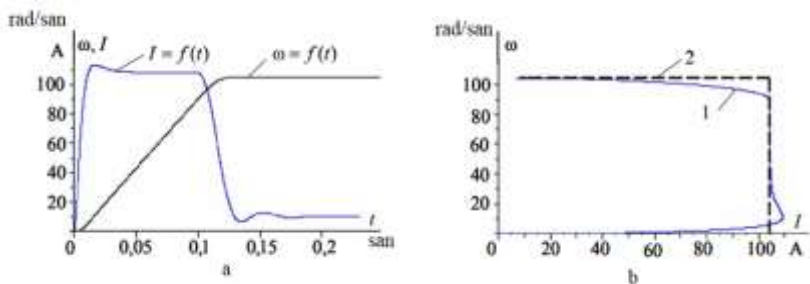
burada, $T_{s.n.} = 4 \cdot T_{\mu c}$ – Çİ-tipli sürət nizamlayıcısının zaman sabitidir.

Çİ-tipli sürət nizamlayıcısının gücləndirmə sabiti də (6.33) ifadəsi ilə təyin olunur.

Sürətinin Çİ-nizamlayıcılı elektrik intiqalı idatərdici təsirin emalı zamanı kiçik təztəsirə malikdir lakin, burada nəzəri olaraq mühərrik valında momentin dəyişməsi zamanı sürət saxlanılmasının xətası yoxdur. Mühərrik valında yükün sıçrayışlı dəyişməsi zamanı sürətin dinamik düşməsi hər iki tip nizamlayıcılar üçün xarakterikdir.

Verici gərginliyin sıçrayışının emalı zamanı cərəyan $I = f(t)$ və sürətin $\omega = f(t)$ keçid proseslərinin qrafikləri şəkil 6.22, a-da verilmişdir. Şəkil 6.22, b-də isə elektrik intiqalının keçid proseslərinin hesablanması nəticələrinə görə qurulmuş dinamik elektromexaniki xarakteristikası göstərilmişdir. Hesablamaların nəticələrindən görünür ki, Çİ-sürət və cərəyan nizamlayıcılarla elektrik intiqalının dinamik xətası mühərrikin sürətlənməsinin bütün mərhələlərində sıfıra bərabər deyil. Mühərrik lövbərinin cərəyanı elektrik intiqalında keçid proseslərinin ilkin anlarında $I_{M.max}$ qiymətini cərəyan konturunda ətalətliyin hesabına aşır. Müqayisə üçün şəkil 6.22, b-də elektrik intiqalının statik elektromexaniki xarakteristikası (əyri) təsvir olunmuşdur.

Elektrik intiqalının statik elektromexaniki xarakteristikasının tənliyini çıxarmaq üçün sürətin stabilləşməsi rejimində işləyən elektrik intiqalında elementlər və əlaqələri təsvir edən tənliklər sistemini tərtib edək. Bu zaman lövbər cərəyanını fasiləsiz qəbul edək, çeviricinin mühərrikin lövbər dolağı ilə ardıcıl qoşulmuş aktiv müqavimətini isə mühərrikin lövbərinə gətirək.



Şək. 1.22. Cərəyan və sürətin keçid proseslərinin (a) qrafikləri və mühərrikin işəsalma zamanı maksimal verici gərginlikdə dinamik elektromexaniki xarakteristikası (b)

Elektromexaniki xarakteristikanın birinci sahəsində (mühərrik lövbərinin cərəyanı $0 \leq I \leq I_{M.max}$) elektrik intiqalında

eyni zamanda həm cərəyana və həm də sürətə görə mənfəət əks əlaqə təsir edir. Elektrik intiqalının işinin bu rejimi üçün tənliklər sistemi aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$\begin{aligned}
 U_{i.s.n.} &= U_{s.v.} - U_{a.a.}; \\
 U_{a.a.} &= k_s \cdot \omega; \\
 U_{c.v.} &= k_{s.n.} \cdot U_{i.s.n.}; \\
 U_{i.c.n.} &= U_{c.v.} - U_{a.a.}; \\
 U_{a.a.} &= k_c \cdot I; \\
 U_{i.c.} &= k_{c.n.} \cdot U_{i.c.n.}; \\
 E_\zeta &= k_\zeta \cdot U_{i.\zeta.}; \\
 E_\zeta &= U_M; \\
 U_M &= E_M + I \cdot R_{ID}; \\
 E_M &= c \cdot \omega.
 \end{aligned} \tag{6.35}$$

(6.35) tənliklər sistemini ω bucaq sürətinə görə həll etsək:

$$\omega = \frac{k_{s.n.} \cdot k_{c.n.} \cdot k_\zeta \cdot k_M \cdot U_{s.v.}}{1 + k_{s.n.} \cdot k_{c.n.} \cdot k_\zeta \cdot k_M \cdot k_s} - I \frac{k_M (R_{LD} + k_c \cdot k_{c.n.} \cdot k_\zeta)}{1 + k_{s.n.} \cdot k_{c.n.} \cdot k_\zeta \cdot k_M \cdot k_s}, \tag{6.36}$$

burada, $k_M = 1/c$ – mühərrikin lövbər dolağı dövrəsi gərginliyinin dəyişməsi ilə idarə olunan ötürmə əmsalı; $R_{LD} = R_{M.is} + R_\zeta$ – mühərrikin özünün müqaviməti və çeviricinin müqavimətinin cəminə bərabər olan lövbər dolağı dövrəsinin müqavimətidir.

Digər parametrlər şəkil 6.21-də verilən şurktur sxemə uyğun işarələnmişdir.

Elektrik intiqalında sürət və cərəyanın, statikada əməliyyat gücləndiricilərinin məxsusi güclənmə əmsallarına bərabər güclənmə əmsallarına malik olan Çİ-nizamlayıcılarının tətbiq olunması zamanı sürətin stabiləşməsi rejimində elektrik intiqalının elektromexaniki xarakteristikası absis oxuna paralel üfüqi düz xəttə yaxınlaşır:

$$\lim \omega \rightarrow U_{s.v.}/k_s,$$

$$\begin{aligned} k_{s.n.} &\rightarrow \infty, \\ k_{c.n.} &\rightarrow \infty. \end{aligned} \quad (6.37)$$

Əməliyyat gücləndiricilərinin güclənmə əmsalı sonlu olsa da böyük qiymət aldığından ($k_{\Theta G} = 20000 \div 40000$), mühərrikin ω sonlu qiyməti onun valında yükün artması ilə düşəcək. Nəticədə sürət nizamlayıcısının çıxışında gərginliyin artması baş verəcək. Mühərrikin lövbər cərəyanının müəyyən qiymətində $I_{M.\max}$ sürət nizamlayıcısı doyma rejiminə keçir və onun çıxışında maksimal mümkün olan doyma $U_{c.v.\max}$ gərginliyi qərarlaşır. Mühərrik valında yükün sonrakı artımı nizamlayıcının çıxışında gərginliyin dəyişməsinə gətirmir. Sürətə görə mənfi əks əlaqə ayrılır. Elektrik intiqalında yalnız bir cərəyana görə mənfi əks əlaqə təsir göstərir. Elektrik intiqalı lövbər cərəyanının stabilləşməsi rejiminə keçir.

Cərəyanın stabilləşməsi rejimində işləyən elektrik intiqalının elektromexaniki xarakteristikasının çıxarılışı üçün elektrik intiqalında element və əlaqələri təsvir edən tənliklər sistemini tərtib edək:

$$\begin{aligned} U_{i.s.n.} &= U_{s.v.\max} - U_{a.a.}; \\ U_{a.a.} &= k_c \cdot I; \\ U_{i.\zeta} &= k_{s.n.} \cdot U_{i.s.n.}; \\ E_{\zeta} &= k_{\zeta} \cdot U_{i.\zeta}; \\ E_{\zeta} &= U_M; \\ U_M &= E_M + I \cdot R_{ID}; \\ E_M &= c \cdot \omega. \end{aligned} \quad (6.38)$$

(6.38) tənliklər sisteminin ω bucaq sürətinə görə həll olunması elektrik intiqalının lövbər cərəyanının stabilləşməsi rejimində elektromexaniki xarakteristikasını almağa imkan verir:

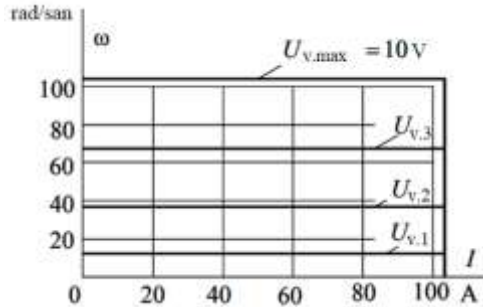
$$\omega = k_{c.n.} \cdot k_{\zeta} \cdot k_M \cdot U_{c.v.\max} - I k_M (R_{LD} + k_c \cdot k_{c.n.} \cdot k_{\zeta}) \quad (6.39)$$

Cərəyan nizamlayıcısının güclənmə $k_{c.n.}$ əmsalının böyük qiymətlərində (6.39) elektromexaniki xarakteristika belə şəklə düşür:

$$\lim \omega \rightarrow \infty - I \cdot \infty$$

$$k_{c.n.} \rightarrow \infty. \quad (6.40)$$

(6.40) ifadəsinin analizi göstərir ki, lövbər cərəyanının stabilləşməsi rejimində elektrik intiqalının elektromexaniki xarakteristikası – sonsuzluğa bərabər olan ideal yüksüz iş rejimi sürətinə malik şaquli düz xətdir, I arqumentində əmsal da sonsuzluğa bərabər olacaqdır. Cərəyan nizamlayıcısının əməliyyat gücləndiricisinin məxsusi güclənmə əmsalı sonlu qiymətə ($k_{\text{əG}} = 20000 \div 40000$) malik olduğundan, mühərrikin ω sürəti lövbər cərəyanının stabilləşməsi sahəsində mühərrik valında yükün artması ilə düşəcəkdir.



Şək. 6.23. Sürət və cərəyanın Çİ-nizamlayıcılı ikikonturlu elektrik intiqalının elektromexaniki xarakteristikaları

(6.39) tənliyini I lövbər cərəyanına nəzərən həll etsək:

$$I = \frac{k_{c.n} \cdot k_{\zeta} \cdot U_{c.v.max}}{R_{LD} + k_{c.n} \cdot k_{\zeta} \cdot k_c} \cdot k_M - \frac{\omega}{k_M \cdot (R_{LD} + k_{c.n} \cdot k_{\zeta} \cdot k_c)}. \quad (6.41)$$

Statikada cərəyan nizamlayıcısının güclənmə əmsalının böyük qiymətlərində (1.41) belə yazılacaqdır:

$$\lim I \rightarrow U_{c.v.max}/k_c = I_{M.max} \\ k_{c.n.} \rightarrow \infty. \quad (6.42)$$

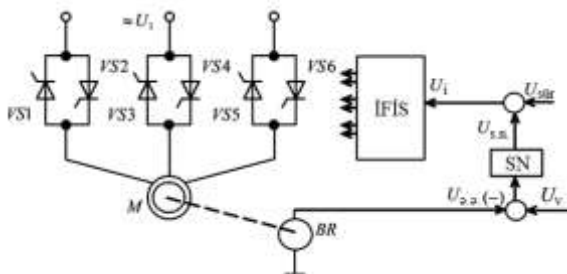
Elektrik intiqalının müxtəlif verici gərginliklərdə (6.36) və (6.41) ifadələrinə əsasən qurulmuş elektromexaniki xarakteristikaları şəkil 6.23-də göstərilmişdir.

İki komplekt idarə olunan düzləndiricili reversiv elektrik intiqalında statik və dinamik xarakteristikalar dörd kvadrantda yerləşir.

6.2. Asinxron mühərrikli dəyişən cərəyan elektrik intiqalları

6.2.1. Stator dolaqlarının gərginliyi nizamlanan asinxron elektrik intiqalları

Asinxron mühərrikin fırlanma sürətini stator dolaqlarının gərginliyini dəyişməklə nizamlamaq mümkündür. Lakin, açıq elektrik intiqalında belə nizamlanma sürətlərin məhdud diapazonunda baş verir. Mühərrikinin valında yükün sabit qaldığı elektrik intiqalları üçün sürətin dəyişməsi diapazonu sinxron ω_0 qiymətindən $\omega_0 = (1 - s_k)$ qiymətinə kimi baş verə bilər. Ventilyator yükünə malik elektrik intiqalları üçün nizamlanma diapazonu nəzərəcarpacaq dərəcədə genişlənir və praktikada $D = 1:10$ qiymətlərini ala bilər. Lakin, göstərilən nizamlanma yaxşı balanslaşdırılmış kiçik işəsalma M_0 momentinə malik ventilyatorlarda mümkündür.



Şək. 1.24. Gərginliyin faza nizamlanmasına və sürətə görə mənfi əks əlaqəyə malik asinxron elektrik intiqalının funksional sxemi

Stator dolaqlarının gərginliyi nizamlanan asinxron elektrik intiqallarında sürət nizamlanmasının diapazonunu artırmaq mühərrikin sürətinə görə mənfi əks əlaqə daxil etməklə mümkün olur. Belə elektrik intiqalında (şəkil 6.24) asinxron M mühərrik stator dolaqları dövrəsi üzrə üç cüt qarşılıqlı-paralel qoşulan, impuls-faza idarəetmə sistemindən idarə olunan VS1...VS6 tiristorlarından yığılmış gərginlik nizamlayıcısından qidalanır.

İFİS-in idarəetmə U_i gərginliyi sürüşmə $U_{sür}$ və sürət nizamlayıcısının $U_{c.n.}$ siqnallarının toplanması yolu ilə yaranır.

Mühərrikin fırlanma sürəti SN sürət nizamlayıcısının girişində sürətə görə mənfi əks əlaqə gərginliyi $U_{\omega, \omega}$ ilə müqayisə edilən, BR sürət vericisi tərəfindən formalaşan U_v gərginliyi ilə verilir.

Xarakteristikaların xəttləşməsi nəzərə alınaraq şəkil 6.24-dəki sxem üçün:

$$U_{Ij} = k_{g.t.n.} \cdot k_I \cdot U_i, \quad (6.43)$$

burada, U_{Ij} –basinxron mühərrikin stator dolaqlarının faza gərginliyi; $k_{g.t.n.}$ – tiristor gərginlik nizamlayıcısının ötürmə

əmsalı; k_1 – impuls-faza idarəetmə sisteminin ötürmə əmsalı; U_i – İFİS-in idarəetmə gərginliyidir.

İdarəetmə gərginliyi öz növbəsində:

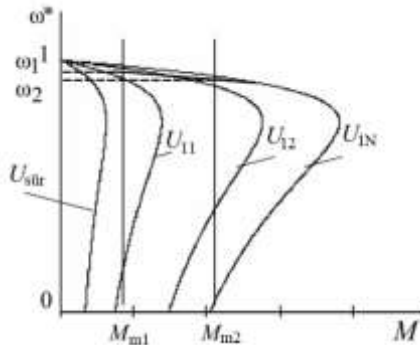
$$U_i = (U_v - k_s \cdot \omega) \cdot k_{s.n.} + U_{sür}, \quad (6.44)$$

burada, k_s – sürətə görə əks əlaqə əmsalı; $k_{s.n.}$ – sürət nizamlayıcısının güclənmə əmsalı; $U_{sür}$ – mühərrikin yüksüz iş rejimi momentinə bərabər olan minimal momentli xarakteristikanın alınması üçün sürüşmə gərginliyidir.

(6.44) ifadəsi (6.43) tənliyində nəzərə alınsa:

$$U_{Ij} = k_{t.g.n.} \cdot k_l \cdot [(U_v - k_s \cdot \omega) \cdot k_{s.n.} + U_{sür}]. \quad (6.45)$$

Qapalı sistemdə mexaniki xarakteristikalar açıq sistemin xarakteristikaları çoxluğundan yaranır. Qapalı sistemdə elektrik intiqalının təsir prinsipi belədir. Tutaq ki, mühərrik U_{11} faza gərginlikli xarakteristikada (şəkil 6.26) elektrik intiqalının ω_1 sürətinə uyğun gələn M_{m1} momenti ilə işləmişdir. Fərz edək ki, mühərrik valında yük artmış və M_{m2} -yə bərabər olmuşdur.



Şək. 6.25. Asinxron elektrik intiqalının mexaniki xarakteristikaları

Mühərrikin M momenti valındakı M_m müqavimət momentindən kiçik olduğu üçün, hərəkət tənliyinə uyğun olaraq elektrik intiqalının sürəti düşməyə başlayır. Nəticədə sürətə görə mənfi əks əlaqə signalı $U_{\text{a.ə.}} = k_s \cdot \omega$ azalır. (6.45) ifadəsinin analizi göstərir ki, bu halda U_{1j} faza gərginliyi artır və deməli elektrik intiqalı U_{12} faza gərginliyinə uyğun gələn mexaniki xarakteristikaya keçir. Elektrik intiqalının qərarlaşmış işinin yeni nöqtəsi ω_2 sürətinə uyğun gəlir. Elektrik intiqalı qapalı sisteminin U_{v2} verici gərginlik üçün yekun xarakteristikası daha sərt alınır, onun sərtliyi isə sürətin nizamlanması konturunun ümumi güclənmə əmsalı ilə təyin olunur. Verici gərginliyin U_{v1} səviyyəsinə qədər azalması zamanı elektrik intiqalı sürətin stabilləşməsi rejimində və mexaniki xarakteristikanın qeyri-dayanıqlı sahəsində işləyir. Qapalı sistemin mexaniki xarakteristikaları soldan $U_{\text{sür}}$ sürüşmə gərginliyindən təyin olunan minimal momentli xarakteristika, sağdan isə – mühərrikin gərginlik nizamlayıcısının açıq tiristorları tərəfindən formalaşan təbii mexaniki xarakteristikası ilə məhdudlanır.

6.2.2. Stator dolaqlarının dövrəsi üzrə gərginliyin dəyişməsi ilə idarə olunan asinxron elektrik mühərrikinin struktur sxemi

Gərginliyin dəyişməsi ilə stator dolaqları dövrəsi üzrə idarə olunan asinxron mühərrikin struktur sxemini tərtib edək. Əgər birinci yaxınlaşmada asinxron mühərrikin stator və rotorunun dövrələrində elektromaqnit ətalətin təsirini nəzərə almamaq mümkündürsə, asinxron mühərrikin struktur sxemini Klossun sadələşdirilmiş düsturundan tapmaq olar:

$$M(U_*, s) = \frac{2 \cdot M_{KN} \cdot U_*^2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (6.46)$$

burada, M_{KN} – stator dolaqlarının nominal gərginliyində asinxron mühərrikin kritik momenti; $U_* = U_{1j}/U_N$ – nisbi gərginlikdir.

(6.46) tənliyində $s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$ sürüşməni nəzərə alsaq, müəyyən çevrilmələrdən sonra:

$$M(U_*, \omega) = \frac{2 \cdot M_{KN} \cdot \omega_0 \cdot s_k \cdot (\omega_0 - \omega) \cdot U_*^2}{(\omega_0 - \omega)^2 + s_k^2 \cdot \omega_0^2}. \quad (6.47)$$

(6.47) bərabərliyini $M = 0$; $\omega = \omega_0$ nöqtəsi ətrafında Teylor sırasına ayırısaq aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\Delta M = k_M \cdot \Delta U_* + k_\beta \cdot \Delta \omega, \quad (6.48)$$

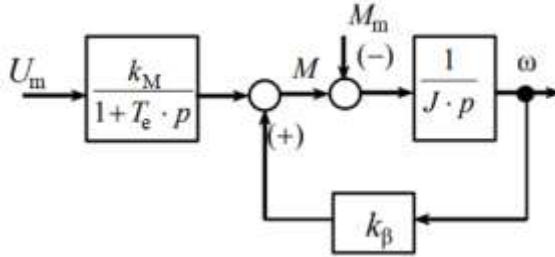
burada, $k_M = \Delta M / \Delta U_*$ – gərginliyin birinci harmonikasının dəyişməsi momentinə həssaslıq əmsalı, $N \cdot m \cdot V^{-1}$; $k_\beta = \Delta M / \Delta \omega$ – asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikasının sərtlidir, $N \cdot m \cdot \text{san}/\text{rad}$.

Mühərrikin mexaniki xarakteristikasının $\omega = 0$ -dan $\omega = \omega_0(1 - s_k)$ qiymətinə qədər olan sahəsində işləməsi zamanı k_β – sərtliyi müsbət, $\omega_0(1 - s_k)$ -dan ω_0 qiymətinə qədər olan sahəsində işləməsi zamanı isə mənfidir.

(6.48) ifadəsini hərəkət tənliyində nəzərə alıb, çevrilmələrdən mütləq kəmiyyətlərə keçsək:

$$k_M \cdot U_* + k_\beta \cdot \omega - M_m = J \cdot (d\omega/dt). \quad (6.49)$$

Asinxron mühərrikin (6.49) ifadəsinə görə qurulmuş struktur sxemi şəkil 6.26-da təqdim olunmuşdur.



Şək. 6.26. Asinxron mühərrikin struktur sxemi

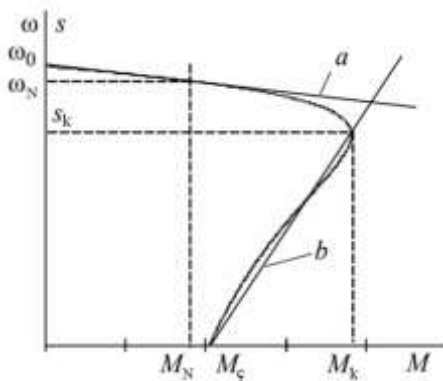
k_β -nın təyin olunmasını sadələşdirmək üçün asinxron mühərrikin təbii mexaniki xarakteristikasını şəkil 6.27-də göstəriləndiyi kimi iki düz a və b xətləri ilə approksimasiya edək. Mühərrikin mexaniki xarakteristikanın dayanıqlı sahəsində işinə a düz xətti uyğun gəlir və bu xətt ideal ω_0 yüksüz iş rejimi sürəti və ω_N nominal sürət nöqtələrindən keçir. Bu halda moment və sürət çevrilmələri uyğun olaraq $\Delta M = -M_N$ və $\Delta\omega = \omega_0 - \omega_N$ olarsa:

$$k_\beta = \frac{-M_N}{\omega_0 - \omega_N}, \quad N \cdot m \cdot \frac{\text{san}}{\text{rad}},$$

nisbi vahidlərdə isə:

$$k_{\beta*} = \frac{M_N/M_N}{\omega_0 - \omega_N/\omega_0} = -\frac{1}{s_N}, \text{ ş. v.} \quad (6.50)$$

burada, s_N – mühərrikin nominal sürüşməsidir.



Şək. 6.27. Asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikasının approksimasiyası

Asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikanın dayanıqsız sahəsində işinə b düz xətti uyğun gəlir və bu xətt işəsalma $M_{i.s.}$ və M_k kritik moment nöqtələrindən keçir.

Xarakteristikanın bu sahəsində $\Delta M = M_\ç - M_k$, $\Delta\omega = -\omega_0(1 - s_k)$ olduğu halda:

$$k_\beta = \frac{M_\ç - M_k}{-\omega_0 \cdot (1 - s_k)}, \quad N \cdot m \cdot \frac{\text{san}}{\text{rad}},$$

nisbi vahidlərdə isə:

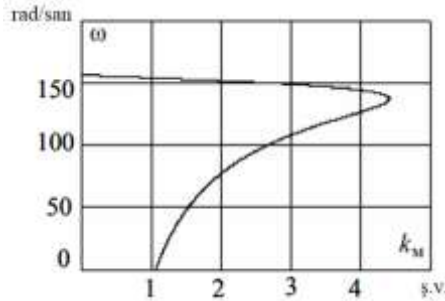
$$k_{\beta*} = \frac{(M_\ç - M_k) / M_N}{-\omega_0 \cdot (1 - s_k) / \omega_0} = -\frac{k_{i.s.} - k_{\max}}{1 - s_k}, \quad \text{ş. v,} \quad (6.51)$$

burada, $k_{i.s.}$ – işəsalma momentinin tamlığı; k_{\max} – maksimal momentin tamlığıdır.

(1.46) tənliyindən k_M üçün analitik ifadə almaq olar:

$$k_M = \frac{dM}{dU_*} = \frac{4 \cdot M_{KN} \cdot \omega_0 \cdot s_k \cdot (\omega_0 - \omega) \cdot U_*}{(\omega_0 - \omega)^2 + \omega_0^2 \cdot s_k^2}. \quad (6.52)$$

Moment üzrə sürətə görə həssaslıq əmsalının k_M (6.52) tənliyinə görə hesablanmış qiymətləri şəkil 6.28-də verilmişdir.



Şək. 6.28. Moment üzrə həssaslıq k_M əmsalının asinxron mühərrikin sürətindən asılılığı

(6.52)-nin analizi göstərir ki, k_M əmsalı ω sürətinin qiymətindən və mühərrik statorunun dolaqlarının gərginliyindən asılıdır. Sürət ω_0 sinxron qiymətə bərabər olduqda $k_M = 0$ və statorun gərginliyinin dəyişməsi elektromaqnit momentin dəyişməsinə gətirmir. Sürətin azalması ilə k_M əvvəlcə kritik sürüşmə $k_{sür}$ zamanı maksimal qiymət alana qədər artır, sonradan yenidən azalır.

Moment üzrə həssaslıq əmsalının maksimal qiyməti aşağıdakı bərabərlikdən təyin olunur:

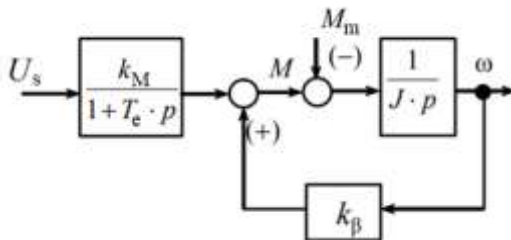
$$k_M = 2 \cdot M_{KN} \cdot U^*. \quad (6.53)$$

Asinxron mühərrikin stator dolaqlarının gərginliyi dəyişən zaman onun elektromaqnit momenti faza gərginliyinin kvadratına mütənəsib olaraq dəyişir.

Lakin, mühərrikin dolaqlarının induktivliyi kifayət qədər olduğundan moment dəyişməsi zamana görə eksponensial qanunla dəyişir:

$$T_e = \frac{L_1 + L_2'}{R_1 + R_2'}, \quad (6.54)$$

burada, $L_1 + L_2' = \frac{X_k}{2 \cdot \pi \cdot f_{1N}}$ – qısa qapanma induktivliyidir.

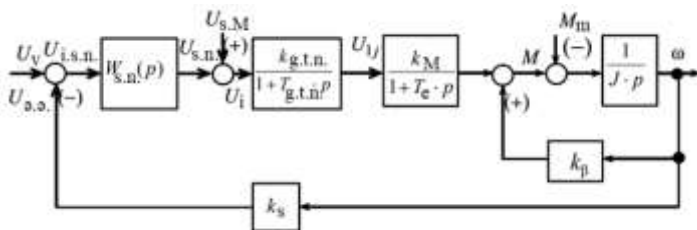


Şək. 6.29. Elektromaqnit ətalət nəzərə alınmaqla asinxron mühərrikin sadələşdirilmiş struktur sxemi

Beləliklə, mühərrikin elektromaqnit hissəsi aperiodik bəndlə təsvir olunur, onun struktur sxemi isə elektromaqnit proseslər nəzərə alınmaqla şəkil 6.29-da verilmişdir.

6.2.3. Stator gərginliyinin nizamlanması ilə asinxron elektrik intiqalının struktur sxemi

Sürətə görə mənfi əks əlaqəli gərginliyin tiristor nizamlayıcısı – asinxron mühərrik (GTN – AM) sisteminin şəkil 6.24-də verilmiş funksional sxemə uyğun xəttləşmiş struktur sxemi şəkil 6.30-da təqdim olunur.



Şək. 6.30. Stator gərginliyi nizamlanan asinxron elektrik intiqalının struktur sxemi

Şəkil 6.30-da aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

$W_{s.n.}(p)$ – sürət nizamlayıcısının ötürmə funksiyası;

$k_s = k_{s.v.} \cdot k_u$ – sürətə görə əks əlaqə əmsalı, V_{san}/rad ;

$k_{s.v.}$ – sürət vericisinin ötürmə əmsalı, V_{san}/rad ;

k_u – uzlaşma əmsalı, ş.v.;

$k_{g.n.t.} = k_{\zeta} \cdot k_1$; $T_{g.n.t.}$ – ötürmə əmsalı və gərginlik nizamlayıcısı tiristorunun zaman sabiti;

J_{Σ} – elektrik intiqalının ətalət momentidir.

Momentə görə həssaslıq k_M əmsalının hesablanmış qiyməti kimi onun, sürətin nizamlanma konturunun dayanıqlıq şərti ən pis olan maksimal qiyməti $k_M = 2 \cdot M_{KN}$ götürülür.

Əgər $k_{\beta} = 0$ hesab olunsa, asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikası sürətin nizamlanma zonasında mütləq yumşaq qəbul ediləcəkdir. Belə yanaşma sürət nizamlayıcısının parametrlərinin sintezi üçün yararlı sayıla bilər belə ki, sürət nizamlanmasının əsas diapazonu mühərrikin mexaniki xarakteristikaların dayanıqsız sahələrində yerləşmişdir. Lakin, keçid proseslərinin tədqiqini β -nın maksimal müsbət qiyməti (bu zaman da sistemin dayanıqlıq şərti ən pis olacaqdır) nəzərə alınmaqla həyata keçirmək lazımdır.

Modul optimuma köklənmiş açıq sürət konturu aşağıdakı ötürmə funksiyasına malik olmalıdır:

$$W_{MO}(p) = \frac{1}{a_{\mu c} \cdot T_{\mu c} \cdot p(T_{\mu c} \cdot p + 1)}, \quad (6.55)$$

burada, $a_{\mu c} = 1-6$ – sürət konturunun modul optimumuna köklənmə əmsalı; $a_{\mu c} = 2$ – köklənmənin standart əmsalıdır.

Baxılan sistemin açıq sürət konturunun ötürmə funksiyası (şəkil 6.30) belə təyin olunur:

$$W_{sk}(p) = W_{s.n.}(p) \cdot \frac{k_{g.t.n.}}{1+T_{g.t.n.} \cdot p} \cdot \frac{k_M}{1+T_e \cdot p} \cdot \frac{1}{J_\Sigma \cdot p} \cdot k_m. \quad (6.56)$$

Sürət nizamlayıcısının parametrlərinin sintezi məsələsinin həllini sadələşdirmək məqsədi ilə sürət konturu ötürmə funksiyasının tərtibini azaldaq. Bunun üçün toplam kiçik zaman sabitini $T_m = T_{g.t.n.} + T_e$ tapaq, bu halda (6.56) ifadəsi aşağıdakı kimi çevriləcəkdir:

$$W_{sk}(p) = W_{s.n.}(p) \cdot \frac{k_{g.t.n.} \cdot k_M}{1+T_m \cdot p} \cdot \frac{1}{J_\Sigma \cdot p} \cdot k_m. \quad (6.57)$$

(6.56) və (6.57) ifadələrinin sağ tərəflərini bərabərləşdirib, alınmış tənliyi sürət nizamlayıcısının ötürmə funksiyasına görə həll etsək:

$$W_{sn}(p) = \frac{(1+T_m \cdot p) \cdot J_\Sigma \cdot p}{\alpha_{\mu c} \cdot T_{\mu c} \cdot p \cdot (T_{\mu c} \cdot p + 1) k_m \cdot k_{g.t.n.} \cdot k_M}. \quad (6.58)$$

Əgər $T_m = T_{\mu c}$ götürsək, sürət nizamlayıcısı ötürmə funksiyasına malik olacaqdır:

$$W_{sn}(p) = \frac{J_\Sigma}{\alpha_{\mu c} \cdot T_m \cdot k_m \cdot k_{g.t.n.} \cdot k_M} = k_{s.n.}. \quad (6.59)$$

Beləliklə, sürət konturunun modul optimumuna köklənməsi zamanı sürət nizamlayıcısı $k_{s.n.}$ ötürmə əmsallı mütənasib tip olacaqdır. Şəkil 6.30-da verilmiş struktur sxem əsasında hazırlanmış elektrik intiqalının dayanıqlığını birinci yaxınlaşmada qiymətləndirək. Bunun üçün qapalı sistemin idarəedici təsirə görə ötürmə funksiyasını tapaq:

$$W_{v.i.}(p) = \frac{k_{s.n.} \cdot k_{t.ç.} \cdot k_M / k_\beta}{a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_0}, \quad (6.60)$$

burada, $a_0 = (k_{s.n.} \cdot k_{g.t.n.} \cdot k_M \cdot k_m / k_\beta) \pm 1$; $a_1 = T_m \pm T_{g.t.n.} \pm T_e$; $a_2 = T_m \cdot T_{g.t.n.} + T_m \cdot T_e \pm T_e \cdot T_{g.t.n.}$; $a_3 = T_e \cdot T_{g.t.n.} \cdot T_m$ – xarakteristik tənliyin əmsallarıdır.

Üçüncü tərtib xarakteristik tənliyin Lyenar – Şipar kriteriyasından alınır ki, baxılan sistem aşağıdakı şərt ödənilməliyi zaman dayanıqlı olacaqdır:

$$\begin{aligned}
 T_M \cdot T_{g.t.n.} + T_M \cdot T_e &> T_e \cdot T_{g.t.n.} \\
 T_M &> T_{g.t.n.} + T_e \\
 k_{s.n.} \cdot k_{g.t.n.} \cdot k_M \cdot k_m / k_\beta &> 1 \\
 (T_M \cdot T_{g.t.n.} + T_M \cdot T_e \pm T_e \cdot T_{g.t.n.})(T_M \pm T_{g.t.n.} \pm T_e) - \\
 - \left(k_{s.n.} \cdot k_{g.t.n.} \cdot k_M \cdot k_m \cdot \frac{1}{k_\beta} \pm 1 \right) &> 0. \quad (6.61)
 \end{aligned}$$

(6.61) tənliklər sistemi k_β sərtliyinin həm müsbət və həm də mənfi qiymətlərində elektrik intiqallarının real parametrləri üçün doğrudur.

Ç-sürət nizamlayıcıya malik elektrik intiqalı sürətin qəbul edilmiş nizamlanma diapazonunda mexaniki xarakteristikaların statik xətlərinin verilmiş göstəricilərini təmin etmədikdə sürət konturunu simmetrik optimuma kökləməm lazım gəlir.

Simmetrik optimuma köklənmiş açıq sürət konturu aşağıdakı ötürmə funksiyasına malikdir:

$$W(p)_{SO} = \frac{4 \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1}{a_{ss} \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p^2 (T_{\mu c} p + 1)}, \quad (6.62)$$

burada, $a_{ss} = 4-16$ – sürət konturunun simmetrik optimuma köklənmə əmsalı; $a_{ss} = 8$ – köklənmənin standart əmsalıdır.

Açıq sürət konturunun ötürmə funksiyası (şəkil 6.30) toplam kiçik zaman sabiti nəzərə alındıqda belə təyin olunur:

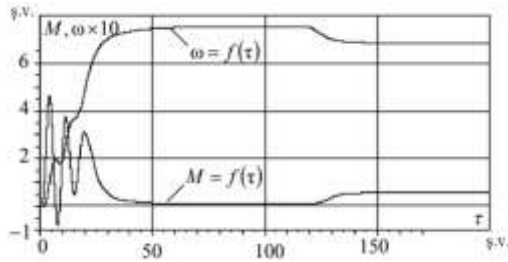
$$W_{sk}(p) = W_{s.n.}(p) \cdot \frac{k_{g.t.n.} \cdot k_M}{T_m \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{J_\Sigma \cdot p} \cdot k_m. \quad (6.63)$$

(6.62) və (6.63) ifadələrinin sağ tərəflərini bərabərləşdirib alınan tənliyi sürət nizamlayıcısının ötürmə funksiyasına əsasən həll etsək:

$$W_{s.n.}(p) = k_{s.n.} + \frac{1}{T_{s.n.} \cdot p}, \quad (6.64)$$

burada, $k_{s.n.} = 4 \cdot J_{\Sigma} / a_{ss} \cdot k_{g.t.n.} \cdot k_M \cdot k_m \cdot T_m$ – sürət nizamlayıcısının güclənmə əmsalı; $T_{s.n.} = a_{ss} \cdot k_{g.t.n.} \cdot k_M \cdot k_m \cdot (T_m)^2 / J_{\Sigma}$ – sürət nizamlayıcısı inteqrallanmasının zaman sabitidir.

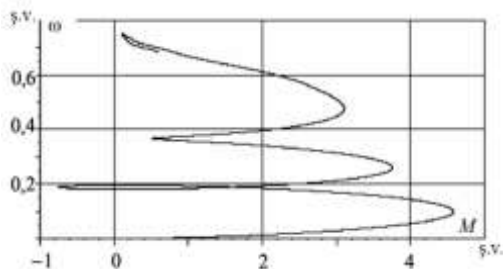
Modul və simmetrik optimumlara köklənmiş elektrik intiqallarının moment və sürətinin keçid proseslərinin qrafikləri a-nın müxtəlif qiymətləri üçün təyin olunmuşdur. Lakin, müsbət k_{β} sərtlilikli mexaniki xarakteristika sahələrinə malik asinxron elektrik intiqalı üçün keçid prosesinin dayanıqlığa yoxlanılması həm praktiki və həm də nəzəri maraq kəsb edir.



Şək. 1.31. Elektrik intiqalının işəsalma zamanı moment M və ω sürətin keçid proseslərinin yükün $0,6M_N$ qiymətinə qədər olduğu zaman qrafikləri

Sürətə görə mənfi əks əlaqəyə malik TGN–AM sisteminin tədqiqi üçün asinxron mühərrikin tam modeli nəzərə alınmaqla keçid rejimlərinin araşdırılması vacib şərtidir.

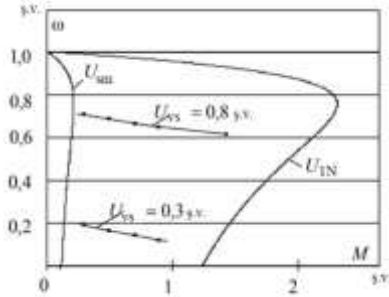
TGN–AM elektrik intiqalının işəsalma zamanı moment M və ω sürətin keçid proseslərinin yükün $0,6M_N$ qiymətinə qədər olduğu zaman qrafikləri şəkil 6.31-də verilmişdir. Şəkil 6.32-də dinamik mexaniki xarakteristikalar qurulmuşdur.



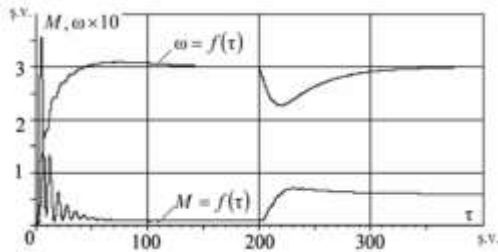
Şək. 6.32. TGN–AM elektrik intiqalının işəsalma zamanı dinamik mexaniki xarakteristikaları: $U_v = 8 \text{ V}$

Böyük sıçrayış şəkilli verici gərginliklərdə ($U_{v.s.} > 0,6$ ş.v.) sürət nizamlayıcısının idarəetmə siqnalı $U_{ypc} = U_3 - U_{oc}$ böyükdür və mühərriki qidalandırıcı şəbəkənin tam gərginliyi tətbiq olunur, mühərriki şəbəkəyə birbaşa qoşmaqla işəsalma zamanı sürət və momentin keçid prosesləri açıq elektrik intiqalındakı proseslərə yaxındır. Moment və sürətin tiristor gərginlik nizamlayıcısının ətalətliyini tiristorların idarəetmə dövrəsinə əlavə ətalətliyin daxil edilməsi və elektrik intiqalının girişində intensivlik vericisi qoşmaq yolu ilə artırmaqla azaldılması məsləhət görülən rəqsi prosesləri yaranır.

Tiristor gərginlik nizamlayıcısının ətalətliyinin artırılması onun çıxışına zaman sabiti $T_{süz} = (3 \div 5) \cdot T_{g.t.n.}$ olan əlavə süzgəcin daxil edilməsi ilə əldə olunur. Belə ölçülərin aparılması keçid proseslərinin keyfiyyətini yaxşılaşdırmağa, momentin sərbəst toplananlarının təsirini azaltmağa və idarəedici siqnalların emalını moment və sürətin yenidən minimal nizamlanması ilə təmin etməyə imkan verir lakin, bu şərtlər daxilində sürətin saxlanılması dəqiqliyi sürət nizamlayıcısının güclənmə əmsalı kiçildiyindən azalacaqdır.



Şək. 6.33. Sürətin Ç-nizamlayıcısına malik TGN–AM elektrik intiqalının mexaniki xarakteristikası



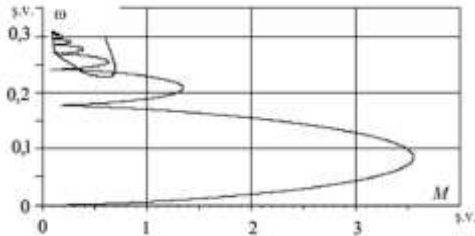
Şək. 1.34. Verici gərginliyin $U_{v*} = 0,3$ ş.v. sıçrayışşəkilli həmçinin, yükün $0,6 \cdot M_{N*}$ qiymətinə qədər dəyişməsi zamanı ω sürət M momentin keçid proseslərinin qrafikləri

Sürətə görə mənfi əks əlaqəyə malik TGN–AM elektrik intiqalının statik mexaniki xarakteristikalarını keçid proseslərinin hesablamalarının nəticələrinə görə sürət və momentin qərarlaşmış qiymətlərinə əsasən qurmaq mümkündür. TGN–AM elektrik intiqalının $U_{v1} = 8$ V və $U_{v2} = 3$ V verici gərginliklərində mexaniki xarakteristikaları şəkil 6.33-də göstərilmişdir. Mexaniki xarakteristikaların analizi göstərir ki, elektrik intiqalının sürətinin saxlanılmasının $U_{v2} = 3$ V aşağı mexaniki xarakteristikada xətası $\delta \approx 80$ % təşkil edir.

Göstərilən xəta texnoloji prosesin tələblərinə uyğun gəlmirsə, sürət nizamlayıcısının parametrlərini simmetrik

optimuma əsasən seçmək lazım gəlir yəni, sürət nizamlayıcısı mütənasib-inteqral tip olmalıdır.

Şəkil 6.35-də elektrik intiqalının dinamik mexaniki xarakteristikaları verilmişdir.

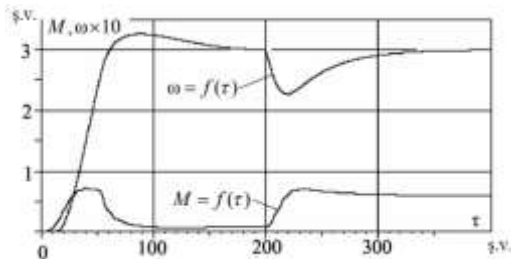


Şək. 6.35. Verici gərginliyin $U_{v*} = 0,3$ ş.v. sıçrayışşəkilli həmçinin, yükün $0,6 \cdot M_{N*}$ qiymətinə qədər dəyişməsi zamanı mühərrikin işə salınmasının dinamik mexaniki xarakteristikaları

Sürətə görə mənfi əls əlaqəyə malik TGN–AM elektrik intiqalının işə salınması və İÇ–sürət nizamlayıcında verici gərginliyin $U_{v*} = 0,3$ ş.v. sıçrayışşəkilli həmçinin, yükün $0,6 \cdot M_{N*}$ qiymətinə qədər dəyişməsi zamanı ω sürət M momentin keçid proseslərinin qrafikləri şəkil 1.34-də verilmişdir.

İÇ–sürət nizamlayıcılı TGN–AM elektrik intiqalının intensivlik vericisindən işəsalma zamanı $U_{v*} = 0,3$ ş.v. verici gərginlik daxil olduqda $0,6 \cdot M_{N*}$ qiymətinə qədər dəyişməsi zamanı ω sürət və M momentin keçid proseslərinin qrafiki şəkil 1.36- təqdim olunmuşdur.

İntensivlik vericisindən elektrik intiqalının işə salınması zamanı hesablanmış keçid prosesləri nizamlanan elektrik intiqalının arzuolunan tipik prosesləri ilə praktiki olaraq üst-üstə düşür, işəsalma və yükün dəyişməsi zamanı sürət və momentin rəqsləri yaranmır.



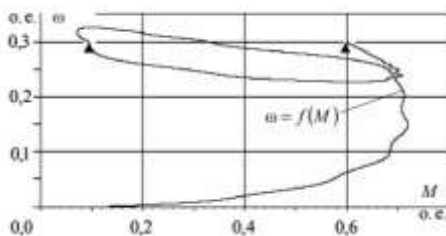
Şək. 6.36. İÇ-sürət nizamlayıcılı TGN-AM elektrik intiqalının intensivlik vericisindən işəsalma zamanı $U_{v*} = 0,3$ ş.v. verici gərginlik daxil olduqda $0,6 \cdot M_{N*}$ qiymətinə qədər dəyişməsi zamanı ω sürət və M momentin keçid proseslərinin qrafiki

AM-in işə salınması üçün TGN-nin istifadə olunması işəsalma itkilərini gərginliyin optimal artma zamanının seçilməsi şərtində 10–15 % aşağı salmağa imkan verir. Müəyyən olunmuşdur ki, gərginliyin rəşional artma zamanı $0,02 \div 0,04$ san təşkil edir ($\tau = 6,2 \div 12,4$ ş.v. uyğun gəlir). Gərginliyin artma zamanının böyüməsi enerjinin işəsalma itkilərini artırır ki, nəticədə bu itkilər birbaşa işəsalma itkilərini aşabilər. Lakin, birdəfəlik işəsalma zamanı bu itkiləri nəzərə almamaq olar, gərginliyin artma zamanının seçilməsinin əsas kriteriyası kimi işə mühərrikin keçid proseslərinin başlanğıc sahələrində elektromaqnit momentinin rəqlərinin olmamasını hesab etmək olar. Bu halda gərginliyin artma müddəti $0,1 \div 0,2$ saniyəyə qədər böyüyə bilər.

İntensivlik vericisinə və $M_{m1} = 0,1$ ş.v. müqavimət momentinə malik, sonradan yükün $M_{m2} = 0,6$ ş.v. qiymətinə qədər dəyişməsi zamanı elektrik intiqalının işəsalma keçid proseslərinin nəticələrinə görə hesablanmış dinamik mexaniki xarakteristikalar şəkil 6.37-də göstərilmişdir.

Ç-sürət nizamlayıcılı elektrik intiqalından fərqli olaraq İÇ-sürət nizamlayıcılı TGN-AM elektrik intiqalının keçid

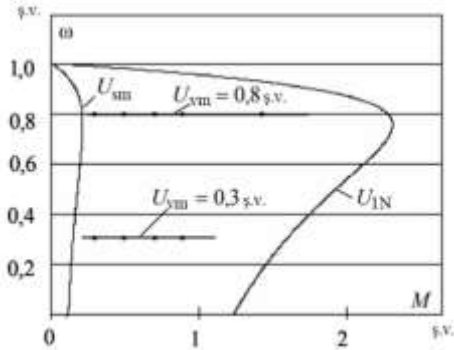
rejimləri həyəcanlanma təsirinin böyük emal müddəti ilə xarakterizə olunur ($\tau_H = 100$ ş.v.). İki müxtəlif müqavimət momenti $M_{m1} = 0,1$ ş.v. və $M_{m2} = 0,6$ ş.v. üçün sürətin qərarlaşmış qiymətləri şəkil 6.37-də üçbucaqla qeyd edilmişdir və onlar praktiki olaraq eynidir.



Şək. 6.37. İntensivlik vericisinə və $M_{m1} = 0,1$ ş.v. müqavimət momentinə malik, sonradan yükün $M_{m2} = 0,6$ ş.v. qiymətinə qədər dəyişməsi zamanı elektrik intiqalının işəsalma keçid proseslərinin nəticələrinə görə hesablanmış dinamik mexaniki xarakteristikalar

İÇ-sürət nizamlayıcı TGN-AM elektrik intiqalının $U_{vm1} = 8$ V və $U_{vm2} = 3$ V verici gərginlikləri üçün mexaniki xarakteristikaları şəkil 6.38-də verilmişdir.

İÇ-sürət nizamlayıcı TGN-AM elektrik intiqalının statik mexaniki xarakteristikaları sürət və momentin keçid proseslərinin hesablanmasının nəticələrindən alınan qərarlaşmış qymətləri vasitəsi ilə qurulmuşdur.



Şək. 6.38. İÇ-sürət nizamlayıcılı TGN-AM elektrik intiqalının $U_{vm1} = 8 \text{ V}$ və $U_{vm2} = 3 \text{ V}$ verici gərginlikləri üçün mexaniki xarakteristikaları

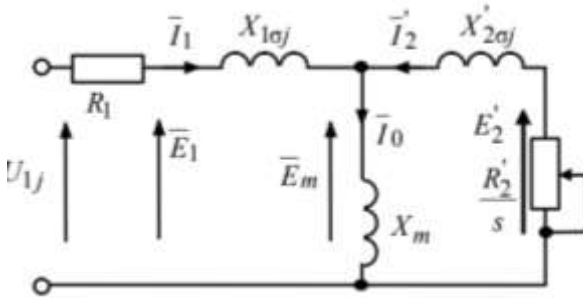
Mexaniki xarakteristikaların analizi göstərir ki, elektrik intiqalının $U_{v2} = 3 \text{ V}$ aşağı mexaniki xarakteristikada sürətinin saxlanması xətası $\delta \approx 0,033 \%$ təşkil edir, başqa sözlə desək İÇ-sürət nizamlayıcılı elektrik intiqalının qapalı sisteminin mexaniki xarakteristikası astatik xarakteristikaya yaxındır.

TGN-AM elektrik intiqalında sürət nizamlayıcısının seçilməsi son nəticədə texnoloji prosesin tələbləri ilə təyin olunur.

6.2.4. Cərəyana görə müsbət əks əlaqəli tezlik çeviricisi – asinxron mühərrik sistemi

Nəzəri və praktiki olaraq sübut edilmişdir ki, U_{1j}/f_{1j} sinif asinxron mühərriklərdə eyni zamanda qənaətbəxş mexaniki və energetik xarakteristikaları sürətlərin və gərginlik dəyişmələrinin geniş diapazonunda təmin etmək mümkün deyildir. Bunun əsas səbəbi –qidalandırıcı şəbəkənin tezliyinin azalması zamanı stator dolağının aktiv müqavimətinin təsirinin artmasıdır. Skalyar idarəetməyə malik tezliklə nizamlanan

asinxron elektrik intiqallarında U_{1j}/f_{1j} sinfinin nizamlanma qanunlarından əlavə dəgər nizamlanma qanunları da tətbiqini tapmışdır. Sinxron maşının işləməsinin həm qərarlaşmış və həm də keçid rejimlərində stator dolağının U_{1j} qidalandırıcı gərginliyinin istənilən f_{1j} tezliyində əvəzetmə sxemi şəkil 6.39-da verilir.



Şək. 6.39. Asinxron maşının qərarlaşmış rejimdə tezlik idarə olunması zamanı əvəzetmə sxemi

Əvəzetmə sxeminə (şəkil 6.39) uyğun olaraq aşağıdakı bərabərlikləri yazı bilərik:

$$U_{1j} = E_1 + R_1 \cdot I_1; \quad (6.65)$$

$$U_{1j} = E_m + (R_1 + j \cdot X_{1\sigma j}) \cdot I_1; \quad (6.66)$$

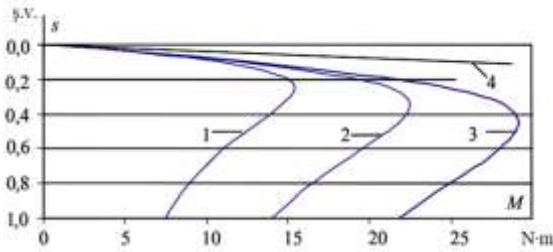
$$U_{1j} = E_2' + (R_1 + j \cdot X_{1\sigma j}) \cdot I_1 + j \cdot X_{2\sigma j}' \cdot I_2'. \quad (6.67)$$

Beləliklə, R_1 , $R_1 + j \cdot X_{1\sigma j}$, $R_1 + j \cdot X_{1\sigma j}$ və $X_{2\sigma j}'$ müqavimətlərində gərginlik düşgüsünü kompensə edərək, E_{1j}/f_{1j} , E_{mj}/f_{1j} , E_{2j}'/f_{1j} sinfinin sürət nizamlanma qanunlarını ala bilərik.

Tərpənməz koordinat sistemində asinxron mühərrikin riyazi modelinin tənliklərinə uyğun E_1 EHQ və statorun f_1 tezliyi arasında sabit nisbətin saxlanması şərti, statikada həm də statorun ψ_1 sel işləməsinin stabilləşməsidir. E_{mj}/f_{1j} sinfinin

nizamlanması – hava aralığında sabit ψ_m sel ilişməsi, E'_2/f_{1j} sinfinin nizamlanması isə rotorun sabit sel ilişməsi ilə nizamlanmadır.

Mühərrikin valında yükün dəyişməsi zamanı EHQ-nin uyğun E_1 , E_m və ya E'_2 qiymətləri sabit saxlanılsa, asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikaları şəkil 6.40-da göstərilən şəkllə düşəcəkdir.

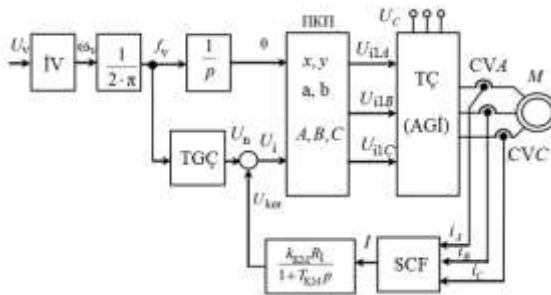


Şək. 6.40. Nizamlanmanın müxtəlif qanunlarında asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikaları: 1 – $U_1/f_1 = \text{const}$; 2 – $E_1/f_1 = \text{const}$; 3 – $E_m/f_1 = \text{const}$; 4 – $E'_2/f_1 = \text{const}$

Şəkil 6.40-da təqdim olunan mexaniki xarakteristikaların analizi göstərir ki, mühərrikin valında yükün dəyişməsi zamanı sürətin stabilləşməsi üçün $E'_2 = \text{const}$ nizamlanma metoduna üstünlük vermək lazımdır. Lakin, belə nizamlanma U_{1j} gərginliyinin U_{1N} nominal qiymətlə müqayisədə yükün bütün qiymətlərində artmasını nəzərdə tutur ki, nəticədə əksər hallarda asinxron mühərrikin maqnit dövrəsinin doymasına və onun qızmasına səbəb olur. Bu səbəbdən praktikada $E_{1j}/f_{1j} = \text{const}$; $E_{1j}/(f_{1j})^2 = \text{const}$; $E_{1j}/(f_{1j})^{1/2} = \text{const}$ kimi sürətin tezlik nizamlanması qanunları geniş yayılmışdır. Sürətin $E_{1j}/f_{1j} = \text{const}$ qanunlar sinfində nizamlanması zamanı $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$ faza gərginliyini yalnız statorun dolağının aktiv müqavimətində $I_1 \cdot R_1$ gərginlik düşgüsünün qiyməti qədər artırmaq lazımdır, sinxron

Statorun aktiv müqavimətində kompensə edici gərginlik düşgüsünün idarə olunmasının reallaşması həm kənaraçıxma və həm də həyəcənlanmaya görə skalyar və ya vektorial IR - kompensasiya ilə mümkündür.

IR-kompensasiyalı skalyar tezlik idarə olunması sisteminin struktur sxemi şəkil 6.41-də verilmişdir. İV – intensivlik vericisi mühərrikin sürətlənməsi tempini və əyrisini formalaşdırır. Sürətin verilmə signalı U_v verici gərginlikdir. “Tezlik – gərginlik çeviricisi” TGÇ-bloku çeviricinin tezliyi və gərginliyi arasında skalyar idarəetmənin tələb olunan asılılığını formalaşdırır, bununla da E_{1j}/f_{1j} sinfinin sürətinin qəbul olunmuş tezlik nizamlanması üsullarından birini qərarlaşdırır.



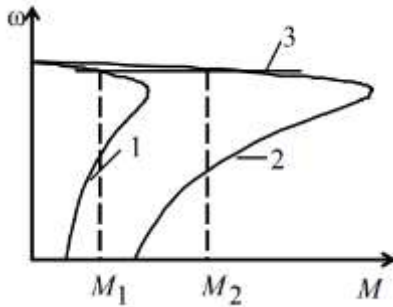
Skalyar IR-kompensasiya zamanı U_i idarəetmə signalı U_n nizamlama və U_{kor} cərəyana görə müsbət əks əlaqə signallarının cəminə bərabərdir:

$$U_i = U_n + U_{kor} = U_n + k_{KM} \cdot R_1 \cdot I, \quad (6.68)$$

burada, k_{KM} – cərəyana görə müsbət əks əlaqə əmsalı; R_1 – asinxron mühərrikin stator dolağının aktiv müqaviməti; I – asinxron mühərrikin stator dolaqları i_A , i_B , i_C cərəyanlarının təsiredici qiymətlərinə mütənasib siqnaldır.

U_i idarəetmə siqnalı çıxışında üç bir-birinə nəzərən $\pm 2\pi/3$ bucağı qədər sürüşmüş, idarəetmə gərginliyinə mütənasib amplitudlu U_{i1A} , U_{i1B} , U_{i1C} sinusoidal idarəetmə gərginlikləri formalaşan birbaşa koordinat çeviricisinin (BKÇ) giriş siqnalıdır. U_{i1A} , U_{i1B} , U_{i1C} siqnalları avtonom gərginlik invertorunun (AGİ) çıxışında faza gərginlikləri formalaşdırır.

Tezliklə nizamlanan müsbət əks əlaqəli asinxron mühərrik sisteminin işləmə prinsipi aşağıdakı kimidir. Tutaq ki, valında M_1 yükü olan asinxron mühərrik 1 xarakteristikası (şəkil 6.42) üzrə işləyir.



Şək. 6.42. Elektrik intiqalının mexaniki xarakteristikaları (1, 2 ayrıləri) və cərəyana görə müsbət əks əlaqə olduqda yekun xarakteristika (3 ayrisi)

Əgər mühərrikin valında moment artıb M_2 -yə bərabər olursa, mühərrik statorunun hər bir fazasının i_A , i_B , i_C cərəyanı və deməli, stator cərəyanının formalaşdırıcısının (SCF) I siqnalı da böyüyəcəkdir. Müsbət əks əlaqənin ötürmə funksiyalı

bəndinin çıxış I cərəyanına görə hesablanan korrektə gərginliyi də artacaqdır:

$$W(p) = k_{KM} \cdot R_1 / (1 + T_{KM} p), \quad (6.69)$$

burada, T_{KM} – kontur cərəyanının gecikməsinin zaman sabitidir.

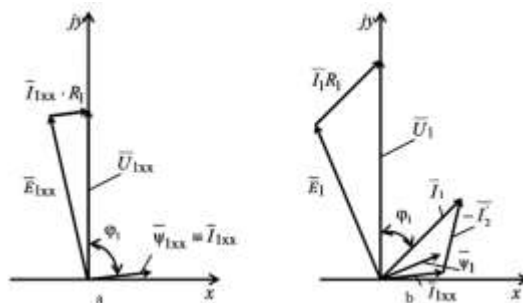
Korrəktə siqnalının artması ilə U_i idarəetmə siqnalı da böyüyür ki, nəticədə asinxron mühərrikin U_{1j} faza gərginliyi və faza gərginliyinin kvadratına mütənasib olan kritik momenti də artır. 2 xarakteristikası artmış U_{1f} faza gərginliyinə uyğun gəlir. Müsbət əks əlaqənin təsiri nəticəsində elektrik intiqalı qapalı sistemin sərtliliyi k_{KM} əmsalı ilə təyin olunan mexaniki xarakteristikasını 3 formalaşdırır.

Cərəyana görə müsbət əks əlaqə siqnalının formalaşması üçün stator cərəyanının modulu $|I_1|$, stator cərəyanının aktiv toplananı $Re I_1$, sabit cərəyan bəndində axan I_d cərəyanı istifadə oluna bilər. Əksər çeviricilərdə mühərrikin stator cərəyanının ani qiymətinə mütənasib olan siqnal, gərginlik invertorunun dəyişən cərəyan dövrəsinə qoşulmuş üç $R_{\phi A}$, $R_{\phi B}$ və $R_{\phi C}$ rezistiv şuntndan çıxarılır. Lakin, asinxron mühərrikin stator dolaqlarından sıfır ardıcılıqla cərəyan axmırsa iki cərəyan vericisi kifayət edir, üçüncü fazada məsələn B-də axan cərəyanı A və C fazalarının cərəyanı vasitəsi ilə təyin etmək olar.

$$i_B = -(i_A + i_C), \quad (6.70)$$

burada, i_A , i_B və i_C – A, B və C fazalarında cərəyanların ani qiymətidir. Skalılar IR-kompensasiya zamanı ideal yüksüz iş rejimi və mühərrik valında yükün mövcudluğu halında vektor diaqramları şəkil 6.43-də verilmişdir.

Skalılar kompensasiya zamanı asinxron mühərrikin faza bucağı dəyişmədən yalnız stator dolaqları gərginliyinin modulu $|U_{1j}|$ dəyişir, nəticədə isə $EHQ E_1$ və sel ilişməsi ψ_1 vektorlarının qeyri-sabitliyinə gətirir. Sistemdə ψ_1 vektorunun faza bucağının dəyişməsi ilə əlaqədar əlavə həyəcanlanmalar mümkündür.



Şək. 6.43. Skalyar IR-kompensasiya zamanı vektor diaqramları: a – yüksüz iş rejimi; b – mühərrikin valında yük olarkən.

Bu çatışmazlığa baxmayaraq, avtonom gərginlik invertorları əsasında sürətin tezlik nizamlanmasının IR-kompensasiyalı açıq strukturları uzun müddətli iş rejimli $D \leq 1$: 50 nizamlanma diapazonlu intiqallarda geniş tətbiq sahəsi tapmışdır.

6.2.6. Asinxron elektrik intiqalının vektor IR-kompensasiyalı tezlik idarə olunması

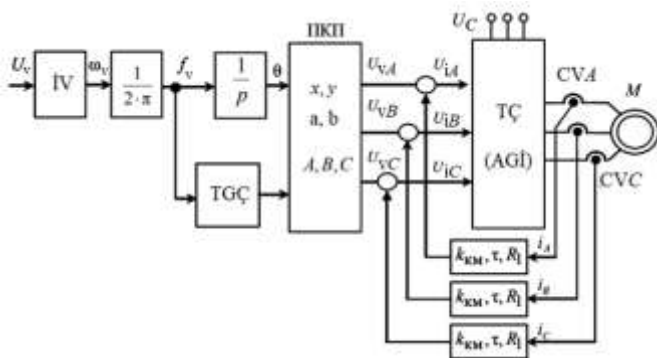
Əgər U_{1j} gərginlik vektoru U_{vi} verici gərginlik və mühərrikin A, B və C fazalarında gərginlik düşgüsünü kompensə etmək məqsədi ilə daxil edilmiş $i \cdot R_1 \cdot k_{KM}$ siqnalının vektor toplanması nəticəsində formalaşarsa, belə idarəetmə vektor IR-kompensasiyalı tezlik idarə olunma adlanır.

Siqnalların vektor toplanması zaman oblastında həyata keçirilir yəni, dəyişən gərginlik siqnalları cəmlənir. Vektor IR-kompensasiyalı tezlik idarə olunmasının funksional sxemi şəkil 1.44-də verilmişdir. Sxemdə (şəkil 1.44) birbaşa koordinat çeviricisinin (BKÇ) çıxışında üç bir-birinə nəzərən $\pm 2\pi/3$ bucağı qədər sürüşmüş, amplitudları U_v verici gərginliyə

mütənasib olan və nizamlanma qanunu ilə təyin olunan f tezlikli U_{vA} , U_{vB} , U_{vC} sinusoidal gərginliklər formalaşır. U_{vA} , U_{vB} , U_{vC} gərginliklər cərəyana görə müsbət kompensə edici əks əlaqə $i \cdot R_1 \cdot k_{KM}$ siqnalları ilə aşağıdakı ifadəyə uyğun olaraq cəmlənir:

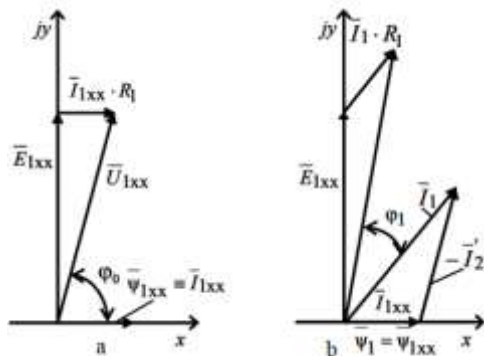
$$U_{id.i} = U_{vi} + i \cdot R_1 \cdot k_{KM}, \quad (6.71)$$

burada, $U_{id.i}$ – avtonom gərginlik invertorunun i -ci fazasının idarəetmə gərginlik vektoru; U_{vi} – i -ci fazanın verici gərginlik vektoru; i – asinxron mühərrikin i -ci fazasının cərəyanıdır.



Şək. 6.44. Vektor IR-kompensasiyalı asinxron elektrik intiqalının tezlik idarə olunmasının funksional sxemi

Yekun U_{iA} , U_{iB} , U_{iC} idarəetmə siqnalları TÇ tezlik çeviricisinin çıxışında faza gərginlikləri formalaşdırır. Vektor IR-kompensasiyalı elektrik intiqalının vektor diaqramları şəkil 6.45-də verilmişdir.



Şək. 6.45. Vektor IR-kompensasiyalı elektrik intiqalının vektor diaqramları: a – yüksüz iş rejimi; b – mühərrikin valında yük olduğu zaman

Vektor IR-kompensasiya zamanı \mathbf{E}_1 EHQ və ψ_1 sel ilişməsi vektorları yükün dəyişməsi zamanı sabit qalırlar, $|\mathbf{U}_1|$ gərginlik vektorunun modulu və onun faza bucağı isə dəyişir. Tədqiqatlar göstərir ki, ψ_1 sel ilişməsi vektorunun sabitliyi elektrik intiqalının dayanıqlı işləməsinə imkan yaradır. Mikroprosessorlu idarəetmə elektrik intiqallarında vektor IR-kompensasiya bir qayda olaraq əlavə köklənmə tələb etmir yəni, belə nizamlanma qanunu seçildikdə köklənmə, elektrik intiqalına yerləşdirilmiş proqram tərəfindən avtomatik şəkildə həyata keçirilir. Rotorun gətirilmiş cərəyanının qeyri-tam IR-kompensə rejimi üçün sürüşmədən asılılığını təyin edən elektromexaniki xarakteristika aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left(R_{1ekv} + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KN}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_{1ekv} \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu N} \cdot f_{1*}}\right)^2}}, \quad (6.72)$$

burada, $R_{1ekv} = R_1 - k_{KM} \cdot R_1 > 0$ – stator dolağı dövrəsinin ekvivalent aktiv müqaviməti; $f_{1*} = f_{1j}/f_{1N}$ – nisbi tezlik; f_{1N} –

asinxron mühərrikin stator gərginliyi tezliyinin nominal qiyməti; f_{1j} – stator gərginliyi tezliyinin nizamlanan qiymətidir.

Rotor I_2 cərəyanından götürülmüş stator I_1 cərəyanını aşağıdakı düsturla tapmaq olar:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + L_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2^2 \cdot \sin \varphi_2}, \quad (6.73)$$

$$\text{burada, } \sin \varphi_2 = \frac{X_{KN} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_{1ekv} + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KN}^2 \cdot f_{1*}^2}}. \quad (6.74)$$

Asinxron mühərrikin sürətinin nizamlanması həm stator dolağı gərginliyinin və həm də qidalandırıcı gərginliyin tezliyinin dəyişməsi ilə həyata keçirildiyindən yüksüz iş rejimi I_0 cərəyanını əvəz etmə sxeminə (şəkil 6.39) uyğun aşağıdakı tənliklə təyin etmək olar:

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_{1ekv}^2 + (X_{1\sigma N} \cdot f_{1*} + X_{mN} \cdot f_{1*})^2}}. \quad (6.75)$$

Qeyri-tam IR-kompensasiyalı rejim üçün asinxron mühərrikin mühərrikinin qidalanma gərginliyinin qiyməti və tezliyinin dəyişən qiymətlərində mexaniki xarakteristikası belə təyin olunur:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s_j \left[X_{KN}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_{1ekv} + \frac{R_2'}{s_j}\right)^2 + \left(\frac{R_{1ekv} \cdot R_2'}{s_j \cdot X_{\mu N} \cdot f_{1*}}\right)^2 \right]}. \quad (6.76)$$

Tam IR-kompensasiya $k_{KM} = 1$, $R_{1ekv} = 0$ zamanı $E_{1j}/f_{1j} = \text{const}$ sinfinin qanunları ilə nizamlanma baş verir. Elektrik intiqalının mexaniki xarakteristikası belə yazılır:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s_j \left[X_{KN}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_2'}{s_j} \right)^2 \right]}. \quad (6.77)$$

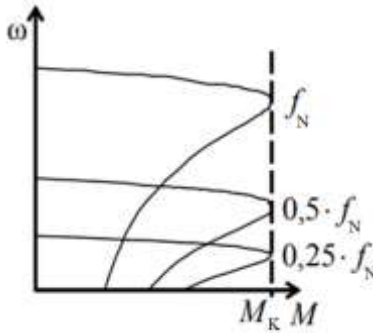
Asinxron mühərrikin kritik momenti isə aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$M_k = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot X_{KN} \cdot f_{1*}}. \quad (6.78)$$

kritik sürüşmə isə:

$$s_{Kj} = \pm R_2' / X_{KN} \cdot f_{1*}. \quad (6.79)$$

Sürətin tezlik nizamlanması və $E_{1j}/f_{1*} = \text{const}$ nizamlanma qanunu zamanı asinxron mühərrikin (6.77) tənliyinə əsasən qurulmuş mexaniki xarakteristikaları şəkil 6.46-da verilmişdir.

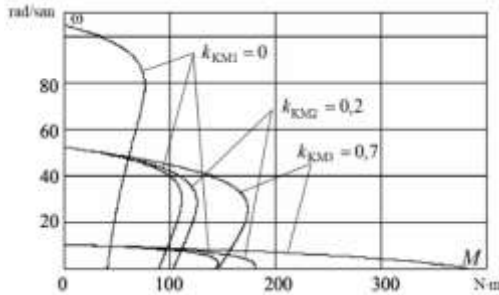


Şək. 6.46. Sürətin tezlik nizamlanması və $E_{1j}/f_{1*} = \text{const}$ nizamlanma qanunu zamanı asinxron mühərrikin (6.77) tənliyinə əsasən qurulmuş mexaniki xarakteristikaları

Şəkil 6.46-nın analizi göstərir ki, asinxron mühərrikin sürətinin $E_{1j}/f_{1*} = \text{const}$ nizamlanma qanunu (tam IR-

kompensasiya) ilə nizamlanması zamanı asinxron mühərrikin kritik momenti sabit qalır.

Gərginliyin avtonom invertoru – cərəyana görə müsbət əks əlaqəli asinxron mühərrik sistemində işləyən asinxron mühərrikin (6.76) ifadəsi əsasında hesablanmış mexaniki xarakteristikaları şəkil 6.47-də göstərilmişdir. Sürətin tezlik nizamlanması $U_{1j}/(f_{1j})^{1/2}$ nizamlanma qanununa uyğun həyata keçirilir. Xarakteristikalar f_{1j} tezliklərin və cərəyana görə müsbət əks əlaqə əmsallarının k_{KM} müxtəlif qiymətləri üçün verilmişdir. Sürət nizamlanmasını əyani təsəvvür etmək üçün şəkildəki mexaniki xarakteristikalar $M = f(\omega^*)$ koordinatlarında verilmişdir.

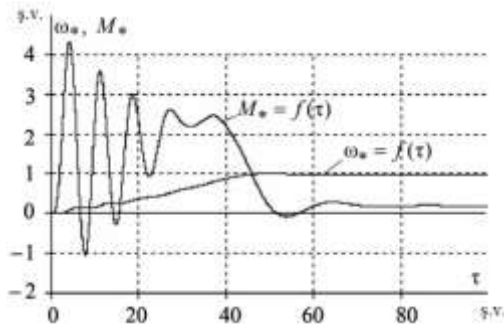


Şək. 6.47. Asinxron mühərrikin sürətin vektor IR-kompensasiyalı tezlik nizamlanması zamanı mexaniki xarakteristikaları

Şəkil 6.47-də verilmiş xarakteristikaların analizi göstərir ki, asinxron mühərrikin kritik momenti və onların sərtliyi xüsusən də fırlanmanın aşağı sürətlərində kəskin artır.

(6.75) ifadəsindən alınır ki, stator dolaqları gərginliklərinin f_{1j} tezliyinin azalması zamanı maqnitlənmə I_0 cərəyanı artır. Mühərrikin maqnitlənmə seli də böyüyür. Bu səbəbdən stator gərginliyi tezliyinin azalması ilə maqnitlənmə selinin stabilləşməsi üçün bəzi elektrik intiqallarında cərəyana görə müsbət əks əlaqə k_{KM} əmsalını azaldırlar.

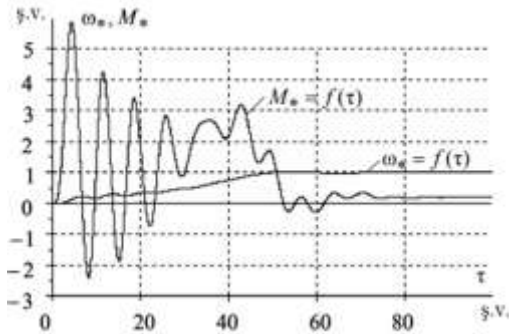
Məlumdur ki, fiziki kəmiyyətin nizamlanma konturunda müsbət əks əlaqə bu konturun dayanıqlığının artmasına imkan yaratmır deməli, cərəyana görə müsbət əks əlaqə k_{KM} əmsalı nə qədər böyük olarsa elektrik intiqalının rəqsliyi yüksək olacaqdır. Bu mülahizəni IR-kompensasiyalı tezlik nizamlayıcılı elektrik intiqallarının nəzəri və eksperimental tədqiqatları sübut edir. Şəkil 6.48 və 6.49-da cərəyana görə müxtəlif müsbət əks əlaqə əmsalları ilə elektrik intiqallarının işəsalma moment və sürətinin keçid proseslərinin qrafikləri verilmişdir.



Şək. 6.48. Asinxron mühərrikin avtonom gərginlik invertoru – cərəyana görə müsbət əks əlaqəli asinxron mühərrik elektrik intiqalında $f_1^* = 0,1$ tezliyinə işəsalma zamanı keçid prosesləri: $k_{KM1}^* = 0,2$; $T_{KM}^* = 0,31415$

Sürət və momentin keçid proseslərinin (şəkil 6.48 və şəkil 6.49) anakizi göstərir ki, cərəyana görə müsbət əks əlaqə əmsalının $k_{KM1}^* = 0,2$ -dən $k_{KM2}^* = 0,7$ -ə qədər artması elektrik mühərrikinin elektromaqnit momentinin rəqsliyinin də mühərrikin işəsalma zamanı keçid prosesinin həm başlanğıc və həm də son sahələrində çoxalmasına gətirir. Bu səbəbdən elektrik intiqalının yekun köklənməsində T_{KM} zaman sabitini gərginliyin avtonom invertoru – cərəyana görə müsbət əks əlaqəli asinxron mühərrik elektrik intiqallarının köklənmə metodikaları məsləhət gördüyü kimi artırmaq lazımdır. ABB,

HITACHI, Siemens, Vesper firmalarının zavod köklənməsində qurulan cərəyan konturlarında standart zaman sabiti $T_{KM} = 0,02$ saniyədir.

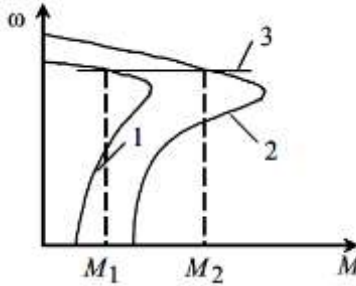


Şək. 6.49. Asinxron mühərrikin avtonom gərginlik inverteri – cərəyana görə müsbət əks əlaqəli asinxron mühərrik elektrik intiqalında $f_1^* = 0,1$ tezliyinə işəsalma zamanı keçid prosesləri: $k_{KM1}^* = 0,7$; $T_{KM}^* = 0,31415$

6.2.7. Moment və sürüşmənin kompensasiyası ilə asinxron elektrik intiqalının tezlik idarə olunması

Cərəyan siqnalı ilə həm gərginlik və həm də tezlik kanalına təsir göstərmək olar. Gərginlik və tezlik nizamlanan kanalda cərəyana görə müsbət əks əlaqəli elektrik intiqalının funksional sxemi şəkil 6.50-də verilir. Tezlik kanalına (sürüşmə kompensasiyası) və sürətin tələb olunan səviyyədə saxlanılmasının moment kompensasiyasına eyni zamanda təsiri U_{1j} -nin kiçik qiymətlərində təmin etmək olar.

Elektrik intiqalının sistemi balə işləyir: Asinxron mühərrik valında M_1 yükü ilə 1 xarakteristikasında işləmişdir (şəkil 6.51). Əgər mühərrik valında moment artıb M_2 -yə bərabər olarsa, mühərrik statorunun hər bir fazasının cərəyanları i_A , i_B , i_C və stator cərəyanının formalaşdırıcısının (SCF) I siqnalı da artacaqdır. Müsbət əks əlaqənin korrekto gərginliyi U_{kor}



Şək. 6.51. Elektrik intiqalının mexaniki xarakteristikaları (1 və 2 ayrıləri) və moment və sürüşmənin kompensasiyası olduqda yekun xarakteristika (3 ayrisi)

Şəkil 6.51-də verilən xarakteristikaların analizi göstərir ki, tezlik kanalına əlavə təsir olduqda sürətin tələb olunan səviyyədə saxlanılmasını faza gərginliyinin U_{lj} kiçik qiymətlərində təmin etmək mümkündür. Müəyyən olunmuşdur ki, tezlik kompensasiyalı struktur kökləmə parametrlərinin dəyişməsinə həssasdırlar, güclü müsbət əks əlaqə zamanı isə qeyri-dayanıqlı ola bilərlər. Baxılan sistemdə momentin kompensasiyası yalnız tezliyin kiçik qiymətləri zonasında vacibdir. Bu səbəbdən verici tezliyin f_{ver} artması ilə (və ya məsafədən idarə olunma zamanı verici U_v gərginlik) k_{KM} əmsalını sıfıra kimi – məsələn, onu f_{ver} funksiyasında dəyişərək azaltmaq olar.

6.2.8. Sürət vericisi olmadan asinxron elektrik intiqalının vektor idarə olunma sistemi

Tezliklə-nizamlanan asinxron elektrik intiqallarında vektor idarəetmə həm tezliyin və dəyişənlərin (gərginlik, stator cərəyanı, sel ilişməsi) qiymətinin dəyişməsi və həm də onların vektorlarının koordinatların dekart sistemində qarşılıqlı oriyentasiyası ilə əlaqədardır. Dəyişənlərin nizamlanması və

amplitud qiymətlərinin və onların vektorları arasındakı faza bucaqları hesabına sürətin, momentin və asinxron mühərrikin cərəyanının həm statika və həm də dinamikada ən keyfiyyətli nizamlanması əldə olunur. Texnoloji prosesin tələblərinə görə asinxron mühərrikin sürətinin nizamlanma diapazonu $D \leq 1:100$ qiymətini aşmaması üçün asinxron elektrik intiqallarının vektor idarəetməli vericisiz sistemləri tətbiq olunur. İnformasiyanın belə sistemlərində sel ilişməsi vektorlarının qiyməti və fəza vəziyyəti, asinxron mühərrikin fırlanma sürətinin qiyməti dolayı yolla asinxron mühərrikin riyazi modelinin əsasında mühərrikin cərəyan və gərginliklərinin ani qiymətləri ilə təyin olunur. Asinxron mühərrikin vektor idarəetməli vericisiz sistemləri mühərrikin əvəzetmə sxeminin parametrlərinin qeyri-stabilliyi nəticəsində birbaşa vektor idarəetmə sistemlərindən geri qalır.

Asinxron mühərrikin elektromaqnit momentini kompleks qoşma Ψ^*_2 vektorunun rotor dolağının sel ilişməsi Ψ_2 və stator cərəyanının I_1 vektorları ilə hasilindən təyin etmək olar. Asinxron mühərrikin elektromaqnit momentinin tənliyini aşağıdakı şəkildə tapmaq olar:

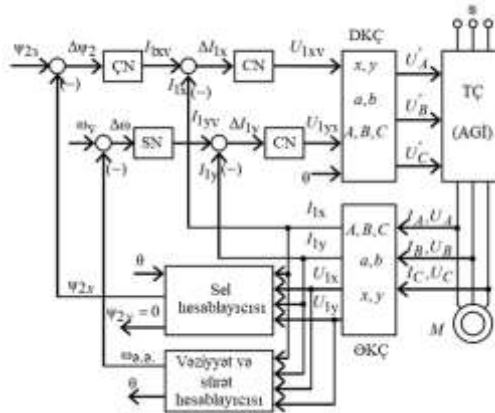
$$M = \frac{3 \cdot z_p \cdot X_m}{2 \cdot X'_2} \cdot (\psi_{2x} \cdot I_{1y} - \psi_{2y} \cdot I_{1x}). \quad (6.82)$$

Əgər koordinat sistemini rotorun sel ilişməsinin həqiqi toplananı ψ_{2x} üzrə oriyentasiya etsək, rotorun sel ilişməsi vektorunun xəyali ψ_{2y} toplananı sıfıra bərabər olacaq. Bu halda asinxron mühərrikin momenti rotorun sel ilişməsinin həqiqi ψ_{2x} toplananı ilə stator cərəyanının xəyali I_{1y} toplananının hasilinə mütənasibdir:

$$M = \frac{3 \cdot z_p \cdot X_m}{2 \cdot X'_2} \cdot (\psi_{2x} \cdot I_{1y}). \quad (6.83)$$

(6.83) ifadəsi əsasında asinxron mühərrikin rotorun sel ilişmə vektoru üzrə oriyentasiyalı vektor idarə olunması sistemi qurulur.

Asinxron elektrik intiqalının vektor idarəetməli vericisiz və rotorun sel ilişmə vektoru üzrə oriyentasiyalı funksional sxemi şəkil 6.52-də göstərilir.



Şək. 6.52. Asinxron elektrik intiqalının vektor idarəetməli vericisiz və rotorun sel ilişmə vektoru üzrə oriyentasiyalı funksional sxemi

Şəkil 6.52-də aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

ψ_{2v} – rotorun sel ilişməsinin verici siqnalı;

ω_v – elektrik intiqalının fırlanma sürətinin verici siqnalı;

ψ_{2x} – rotorun sel ilişməsinin həqiqi toplananına mütənasib siqnal;

ψ_{2y} – rotorun sel ilişməsinin xəyali toplananına mütənasib siqnal;

I_{1xv} – stator dolağı cərəyanının həqiqi toplananının verici siqnalı;

I_{1yv} – stator dolağı cərəyanının xəyali toplananının verici siqnalı;

I_{1x} – asinxron mühərrikin stator cərəyanının fırlanan koordinat sistemində həqiqi toplananına mütənasib siqnal;

I_{ly} – asinxron mühərrikin stator cərəyanının fırlanan koordinat sistemində xəyali toplananına mütənasib siqnal;

U_{lxv} – asinxron mühərrikin stator gərginliyinin fırlanan koordinat sistemində həqiqi toplananının verici siqnalı;

U_{lyv} – asinxron mühərrikin stator gərginliyinin fırlanan koordinat sistemində xəyali toplananının verici siqnalı;

U_{lx} – stator dolağı gərginlik vektorunun fırlanan koordinat sistemində x oxu üzrə oriyentasiya olunmuş toplananı;

U_{ly} – stator dolağı gərginlik vektorunun fırlanan koordinat sistemində y oxu üzrə oriyentasiya olunmuş toplananı;

I_A, I_B, I_C – asinxron mühərrikin stator dolaqları fazalarının cərəyanları;

U_A, U_B, U_C – asinxron mühərrikin stator dolaqları fazalarının gərginlikləri.

Sxem düzünə (DKÇ) və tərsinə (TKÇ) koordinat çeviricilərinə malikdir. Koordinat çeviriciləri dəyişən cərəyan elektrik intiqalının idarəetmə sistemlərinin qurulması yalnız fırlanan koordinat sistemlərində mümkün olduğu səbəbindən olduqca vacibdir, asinxron mühərrikin dolaqlarının cərəyan və gərginlikləri isə – tərpənməz üçfazlı koordinat sisteminin harmonik siqnallarıdır. Bir koordinat sistemindən digər koordinat sistemə qarşılıqlı köçürməni koordinat çeviriciləri həyata keçirir.

Sürətin ω_v , sel ilişməsinin ψ_{2v} verici siqnalları və əks əlaqə siqnallarına uyğun idarəetmə sistemlərinin nizamlayıcıları tərəfindən fırlanan koordinat sistemində idarəetmə siqnalları formalaşdırılır. Düzünə koordinat çeviricisində idarəedici siqnallar tərpənməz koordinat sisteminin invertoru idarə edən U'_A, U'_B, U'_C siqnallarına köçürülür. Əks koordinat çeviricisi əvvəlcə üçfazlı A, B, C koordinat sistemi gərginliklərinin ani qiymətlərini tərpənməz a, jb koordinat sistemə sayır:

$$U_{1a} = \frac{2}{3} \left[U_{1A} - \frac{1}{2} (U_{1B} - U_{1C}) \right],$$

$$U_{1b} = \frac{1}{\sqrt{3}}(U_{1B} - U_{1C}). \quad (6.84)$$

Sonradan gərginliklər fırlanan koordinat sisteminə x, jy köçürülür:

$$U_{1x} = U_{1a} \cdot \cos\theta + U_{1b} \cdot \sin\theta, \quad (6.85)$$

$$U_{1y} = -U_{1a} \cdot \sin\theta + U_{1b} \cdot \cos\theta, \quad (6.86)$$

Elə bu düsturlar vasitəsi ilə I_{1x} , I_{1y} cərəyanlarının hesablanması üçün əks çevrilmə aparılır.

Sel ilişməsi, cərəyan və gərginlik vektorlarının fəza fırlanma bucaqlarının ani qiymətləri stator sahəsinin fırlanma sürətinin əsasında hesablanır:

$$\theta = \int_0^t \omega dt. \quad (6.87)$$

Müasir dəyişən cərəyan elektrik intiqallarında rotorun ψ_{2x} sel ilişməsi asinxron mühərrikin dinamik modeli tənliyindən müxtəlif tip sel hesablayıcılarının köməyi ilə hesablanır. Rotorun ψ_{2x} sel ilişməsinin hesablanması üçün tənlik asinxron mühərrikin dinamikada işini təsvir edən fırlanan koordinat sistemindəki bərabərliklər sisteminin həllindən alınır:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{1x}}{dt} &= U_{1x} - \frac{R_1}{X_1' \cdot \sigma} \left(\psi_{1x} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2x} \right) + \omega_{Km} \cdot \psi_{1y}; \\ \frac{d\psi_{1y}}{dt} &= U_{1y} - \frac{R_1}{X_1' \cdot \sigma} \left(\psi_{1y} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2y} \right) + \omega_{Km} \cdot \psi_{1x}; \\ \frac{d\psi_{2x}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left(\psi_{2x} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{1x} \right) + (\omega_{Km} - \omega) \cdot \psi_{2y}; \\ \frac{d\psi_{2y}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left(\psi_{2y} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{1y} \right) - (\omega_{Km} - \omega) \cdot \psi_{2x} \end{aligned} \quad (6.88)$$

burada, ω – rotorun fırlanma sürəti; ψ_{1x} – stator dolağının fırlanan koordinat sisteminin x oxu üzrə oriyentasiya olunmuş

sel ilişməsi vektorunun toplananı; ψ_{1y} – stator dolağının fırlanan koordinat sisteminin y oxu üzrə oriyentasiya olunmuş sel ilişməsi vektorunun toplananı; σ – səpilmə əmsalıdır.

Sel hesablayıcısı (6.88) tənliklər sistemini fırlanan koordinat sistemində rotorun sel ilişməsi vektorunun toplananlarına nəzərən aşağıdakı şərt daxilində həll edir:

$$\omega_K = 2 \pi f_1, \quad (6.89)$$

burada, f_1 – mühərrik statorunun dolaqları gərginliyinin tezliyidir.

Vektor idarəetməli vericisiz asinxron mühərriklərdə elektrik mühərrikinin fırlanma sürəti haqqında informasiya vəziyyət və sürətin hesablayıcısı vasitəsi ilə hesablanır. Vericisiz elektrik intiqallarında sürətin hesablanması asinxron mühərrik qoşulmuş invertorun çıxışında asan ölçülən gərginliklər və mühərrik statorunun faza cərəyanları vasitəsi ilə həyata keçirilir.

Vericisiz vektor idarə olunma sistemlərinin qurulması prinsipinin əsasında asinxron mühərrikin tərpənməz koordinat sistemində a, jb riyazi təsviri durur:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{1a}}{dt} &= U_{1a} - \frac{R_1}{X_1' \cdot \sigma} \left(\psi_{1a} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2a} \right); \\ \frac{d\psi_{1b}}{dt} &= U_{1b} - \frac{R_1}{X_1' \cdot \sigma} \left(\psi_{1b} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2b} \right); \\ \frac{d\psi_{2a}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left(\psi_{2a} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{1a} \right) - \omega \cdot \psi_{2b}; \\ \frac{d\psi_{2b}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left(\psi_{2b} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{1b} \right) + \omega \cdot \psi_{2a} \\ \psi_{1a} &= L_1 \cdot i_{1a} + L_m \cdot i_{2a}; \\ \psi_{1b} &= L_1 \cdot i_{1b} + L_m \cdot i_{2b}. \end{aligned} \quad (6.90)$$

(1.90) tənliklər sistemində ω sürətin mövcudluğu digər dəyişənlər vasitəsi ilə onun qiymətini təyin etməyə imkan verir.

Əgər tərpənməz koordinat sistemində rotorun selilişməsinin ψ_{2a} və ψ_{2b} toplananlarının məlum olduğunu fərz etsək, onun modulunu və dönmə bucağını təyin edə bilərik:

$$\psi_2 = (\psi_{2a}^2 + \psi_{2b}^2)^{1/2}, \quad (6.91)$$

$$\theta_\psi = \arctg(\psi_{2b}/\psi_{2a}). \quad (6.92)$$

Dönmə θ_ψ bucağını bilərək, asanlıqla mühərrikin fırlanma sürətini (6.92) ifadəsindən θ_ψ -yə görə törəmə almaqla hesablamaq olar:

$$\omega = \frac{d\theta_\psi}{dt} = \frac{d[\arctg(\frac{\psi_{2b}}{\psi_{2a}})]}{dt}. \quad (6.93)$$

$\arctg\alpha$ -dan törəmə belə tapıla bilər:

$$\frac{d(\arctg\alpha)}{dt} = \frac{1}{1+\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt}. \quad (6.94)$$

Əgər $\alpha = \psi_{2b}/\psi_{2a}$ olarsa:

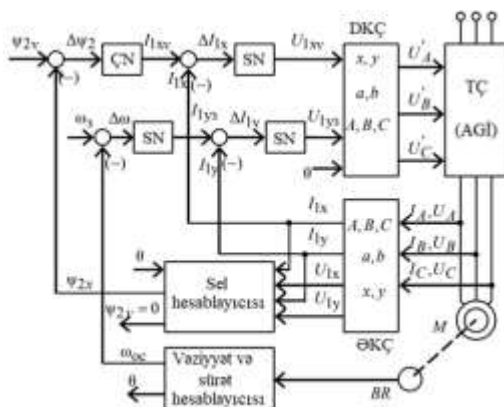
$$\omega = \frac{\psi_{2a}^2}{\psi_{2b}^2} \cdot \left(\frac{\psi_{2a} \frac{d\psi_{2b}}{dt} - \psi_{2b} \frac{d\psi_{2a}}{dt}}{\psi_{2a}^2} \right). \quad (6.95)$$

Asinxron mühərriklərin vericisiz vektor idarə olunması sistemləri sürətin tələb olunan nizamlanma diapazonunu və keçid proseslərinin keyfiyyətini təmin etməyə imkan vermədikdə sürət vericili vektor idarəetmə sistemləri tətbiq olunur.

6.2.9. Sürət vericili asinxron elektrik intiqalının vektor idarə olunması sistemi

Sürət nizamlanması diapazonunu $D \geq 1:1000$ qiymətində tələb edən mexanizmlər üçün sürət vericili vektor idarə olunma asinxron elektrik intiqalları tətbiq olunur. Hazırda sürət

Vektor idarəetməli asinxron elektrik intiqallı və sürət vericili elektrik intiqalı sisteminin funksional sxemi şəkil 6.53-də verilmişdir.



Şək. 6.53. Vektor idarəetməli asinxron elektrik intiqallı və sürət vericili elektrik intiqalı sisteminin funksional sxemi

Şəkil 6.53-də verilmiş sxem variantında mühərrikin qidalanması sabit cərəyan bəndli avtonom gərginlik invertorundan həyata keçirilir. Sel, sürət və cərəyan nizamlayıcıları fırlanan koordinat sistemində yaradılmışdır, elektrik intiqalının sistemi isə tabeli nizamlanma prinsipi ilə qurulmuşdur. Sel hesablayıcısı (6.88) tənlilərini həll edərək sel ψ_{2x} ilişməsinin hazırkı qiymətini təyin edir.

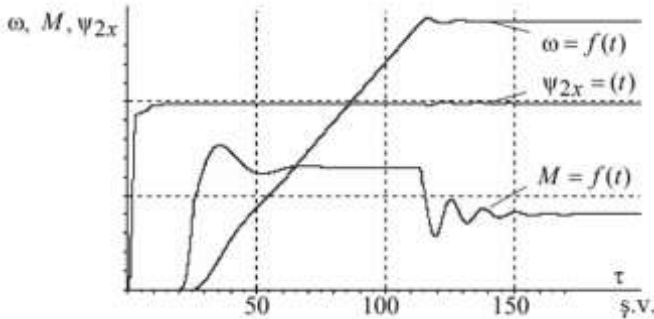
Hazırda dəyişən cərəyan elektrik intiqallarında çıxışlarında gərginlik impulslarının tezliyi mühərrikin fırlanma sürətinə mütənəsib olan impuls (tezlik) vericiləri istifadə olunur:

$$f_{s.v.} = z_p \cdot \omega / 2 \cdot \pi, \quad (6.96)$$

burada, z_p – sürətin impuls vericisinin qeydlərinin sayıdır.

Sürət hesablayıcısı sürəti BR sürət vericisinin impulslarının (1.96) ifadəsinə uyğun elektrik intiqalının yüksək sürətlə fırlanması, perioda görə isə aşağı sürətdə sayılması ilə təyin edərək, $T_{s.v.} = 1/f_{s.v.}$ periodunu yüksək tezlikli impulslarla doldurur. Dönmə bucağı θ stator sahəsinin (6.87) ifadəsinə uyğun fırlanma sürəti əsasında hesablanır.

Sürət, moment və sel ilişməsi keçid proseslərinin vektor idarəli asinxron elektrik intiqalının işəsalınma zamanı qrafikləri şəkil 6.54-də təqdim olunmuşdur.



Şək. 6.54. Vektor idarəli asinxron elektrik intiqalının işəsalınma zamanı qrafikləri

Qrafiklərin analizi göstərir ki, asinxron elektrik intiqalının işə salınması rotorun sabit sel ilişməsində baş verir. Sürət və momentin dəyişmə əyriləri sabit cərəyan iki konturlu tabeli nizamlanmaya malik elektrik intiqallarının uyğun xarakteristikalarına analojidir.

ӘДӘБИҮҮАТ

1. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. под общ. ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 2016. – 688 с.

2. Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода: учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 2009. – 576 с.

3. Башарин А. В., Голубев Ф. Н., Кепперман В. Г. Примеры расчетов автоматизированного электропривода. – Л., Энергия, 1971. – 440 с.

4. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболевская. – М.: Энергоатомиздат. 1982.

5. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным // Материалы международной научно-технической конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – С. 269–272.

6. Автоматизированный электропривод промышленных установок / под ред. Г. Б. Онищенко. – М.: РАСХН - 2011. – 520 с.

7. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты: – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.

8. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин: учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.

9. Поздеев А. Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. – 172 с.

10. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование систем в MATLAB 6.0: учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
11. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей под. ред. Л. Г. Мамякоянца. – 4-е изд., переработ. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 1984. – 240 с.
12. Анисимов В. А., Горнов А. О., Москаленко В. В. Тиристорные пусковые устройства в электроприводах переменного тока // Привод и управление. – 2002. – №1. – С. 32–34.
13. Шубенко В. А., Браславский И. Я. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением. – М.: Энергия, 1972. – 200 с.
14. Усынин Ю. С. Системы управления электроприводов: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 328 с.
15. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами: учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат: Ленингр. отд-ние, 1982. – 392 с. 228
16. Козлитин Л. С. Исследование асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения в цепи статора: автореферат диссертации. – М.: Изд-во МЭИ, 1968.
17. Браславский И. Я., Костылев А. В., Степанюк Д. П. Анализ энергопотребления в управляемых переходных режимах систем ТПНАД. Электроприводы переменного тока// Труды международной тринадцатой научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. С. 241–244.
18. Правила устройства электроустановок. 6-е изд. с изм., доп. принятыми Главгосэнергонадзором РФ в период с 01.01.92 по 01.01.99. –СПб.: Изд-во ДЕАН, 1999 – 928 с.

19. Москаленко В. В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат; 2022. – 416 с.

20. Ключев В. И. Теория электропривода: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 560 с.

21. Чернышев И. А., Чернышев А. Ю. Синтез параметров регуляторов системы тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель// Электромеханические преобразователи энергии: материалы международной науч.-техн. конф., 20–22 октября 2005 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – С. 237–240.

22. Вайнтриб О. Ш., Гендельман Б. Р. и др. Системы управления электроприводами с синхронными двигателями с тиристорным возбуждением и автоматическим регулированием возбуждения// Автоматизированный электропривод: материалы всесоюзной конференции по автоматизированному электроприводу. – М.: Энергия, 1980. – С. 180–186.

23. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике: для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1974. 832 с.

24. Онищенко Г. Б. Электрический привод. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 288 с.

25. Водовозов В.М. Теория и системы электропривода. – Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004. – 306 с.

26. Браславский И. Я., Ишматов З. Ш., Поляков В. Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.

27. Разевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 386 с.

28. Micro-Cap 7.0. Electronic Circuit Analysis Program. Reference Manual. - Spectrum Software, 1982-2001. – p. 712

29. Алексенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника. - М.: Радио и связь, 1982. - 414 с.
30. Конструирование и технология микросхем. Курсовое проектирование /Л.А. Коледов, В.А. Волков, И.И. Докучаев и др.; - М.: Высш. школа, - 234 с.
31. Ермолаев Ю.П., Пономарев Н.Ф., Крюков Ю.Г. Конструирование и технология микросхем (ГИС и БГИС). - М.: Сов. Радио, 1980. - 254 с.
32. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. - М.: Наука, 1988. - 480 с.