

UOT 004.021

Q.A. QULUYEV, As.H. RZAYEV, F.H. PAŞAYEV, Y.Q. ƏLİYEV, M.H. REZVAN

ŞTANQLI DƏRİNLİK NASOS QURĞUSUNUN ASINXRON MÜHƏRRİYİ ÜÇÜN DƏYİŞƏN SÜRƏT İNTİQALI

Məqalədə ştanqlı dərinlik nasos qurğularında asinxron mühərrik valının fırlanma sürətini geniş həddə tənzim edən və sərfləndirilən elektrik enerjisinə qənaət etməyə imkan verən dəyişən sürət intiqalının seçilməsi məqsədi ilə müxtəlif intiqal sxemləri müqayisə olunur, fərqli cəhətləri aşkarlanır, idarəetmə metodları analiz edilir, enerjiyə qənaət mənbələri göstərilir və uyğun intiqal seçilir.

Açar sözlər: neftçıxarma, asinxron mühərrik, səliss idarəetmə, sürət və moment tənzimləmə, enerjiyə qənaət

1. Giriş. Dəyişən cərəyanla işləyən asinxron mühərrikləri sənaye sahələrinin müxtəlif proseslərində (kompresor stansiyası, nasosxana, havalandırma sistemi, konveyer, lift, qaldırıcı kran, ştanqlı dərinlik nasos qurğusu, və s.) geniş istifadə edilir və uzun illərdir ki, davamlı olaraq öz tətbiq liderliyini saxlayır.

Sadə, möhkəm, ucuz, etibarlı olması, az xidmət tələb etməsi, əsas şəbəkə gərginliyinə birbaşa qoşulması kimi üstünlükləri asinxron mühərriyini geniş yayılmış sənaye maşını etmişdir. Lakin asinxron mühərriyin rotor dövrlər sayını bütün sürət həddində səliss tənzimləmək imkanının olmaması, onların tətbiq sahəsini məhdudlaşdırmışdır. Ona görə də tənzimlənməyə ehtiyac olan sənaye sahələrində və nəqliyyatda (tramvay, trolleybus, elektroqatar) mürəkkəb konstruksiyalı, bahalı sabit cərəyan mühərriklərindən istifadə etmək məcburiyyəti yaranmışdır.

Lakin asinxron mühərriklərin sadə və ucuz olması onların sürətinin dəyişdirilə bilmək üsullarının axtarışını həmişə zəruri etmişdir. Bu məqsədlə ənənəvi olaraq mühərriyə verilən elektrik enerjisinin potensiyometr, reostat, avtotransformator və s. qurğular vasitəsi ilə qismən dəyişdirilməsi üsullarından istifadə olunur.

Ənənəvi üsul ilə idarəetmədə asinxron mühərrik yalnız nominal sürətə çatanda nominal cərəyan götürür və nominal moment yaradır. İşə düşmə anında isə mühərriyin götürdüyü cərəyan 7 dəfəyə qədər artır.

Belə qurğulardan istifadə etdikdə sürətin tənzimlənməsi zamanı rezistor elementlərində həddən artıq istilik ayrılması və işə düşmə zamanı artıq yüklənmə böyük enerji itkisinə səbəb olduğundan asinxron mühərriklərin idarəedilməsində daha effektiv, yığcam və asan üsullardan istifadə etmək zərurəti yaranır.

Yeni idarəetmə texnologiyalarının mənimsənilməsi, sürətli güc elektronikasının, çoxdərəcəli mikroprosessor texnikasının inkişafı və eninə-impuls modulyasiya üsulundan istifadə asinxron mühərriklərinin səliss, effektiv idarəedilməsinə imkan verən və elektrik şəbəkəsindən istehsal prosesinə verilən enerji axınına idarə edən dəyişən sürət intiqallarının yaranmasını zəruri etdi.

Məlumdur ki, neftçıxarma müəssisələrində elektrik şəbəkəsinə birbaşa qoşulan asinxron mühərriklər geniş yayılmışdır və onların sürətini asanlıqla tənzimləmək mümkün deyil. Ona görə də ştanqlı dərinlik nasos qurğularında yırgalanma sayını dəyişmək üçün müxtəlif mexaniki üsullardan (qasnaq və şatun qolunun dəyişdirilməsi) istifadə olunur ki, bu da ancaq sürətin pilləvari dəyişməsinə imkan verir, xeyli vaxt və əlavə zəhmət tələb edir. Asinxron mühərriklərin bütün sürət həddində səliss tənzimlənməsinə imkan verən dəyişən sürət intiqallarının [1-5] yaradılması ştanqlı dərinlik nasos qurğularının idarə olunmasında çox böyük texniki və iqtisadi sərəfə verə bilər.

Ona görə də bu qurğularda asinxron mühərriklərin mürəkkəb iş rejimlərini təmin edən, optimal idarəetmə sistemlərinin yaranmasına və enerjiyə qənaət edilməsinə imkan verən dəyişən sürət intiqallarının istifadə olunması və düzgün seçilməsi aktual məsələdir.

2. Məsələnin qoyuluşu. Ştanqlı dərinlik nasos qurğularında asinxron mühərrik valının fırlanma sürətini bütün həddə tənzim edən və sərf olunan elektrik enerjisinə qənaət etməyə imkan verən dəyişən sürət intiqalının müqayisəli analiz metodu ilə seçilməsi.

Məqalədə qarşıya qoyulan əsas məqsəd dəyişən sürət intiqallarının yaradılması metodlarını müqayisəli analiz etmək, fərqli cəhətlərini göstərmək, tətbiq sahəsinə uyğun olaraq intiqalın düzgün seçilməsi prinsiplərini araşdırmaqdır.

3. Məsələnin həlli. Mexaniki enerji istehsal prosesinə mühərriyin valı ilə örtürülür və valın vəziyyəti iki fiziki kəmiyyət ilə xarakterizə olunur: **moment** və **sürət**. Enerji axımını idarəetmək üçün bu kəmiyyətlərdən hər hansı biri tənzim oluna bilər və uyğun olaraq “**Moment idarəetmə**” və ya “**Sürət idarəetmə**” adlanır.

Əvvəllər idarəetmə texnikasında tələb olunan rejimi əldə etmək üçün **sabit cərəyan mühərriyinin** (SCM) moment və sürətinin tənzimlənməsindən istifadə olunurdu.

Sonralar **dəyişən cərəyan** intiqal texnoloqiyalarının inkişafı nəticəsində sabit cərəyan mühərriklərinə xas olan moment və sürət idarəetmə xüsusiyyətləri asinxron mühərriklərin intiqallarına köçürüldü.

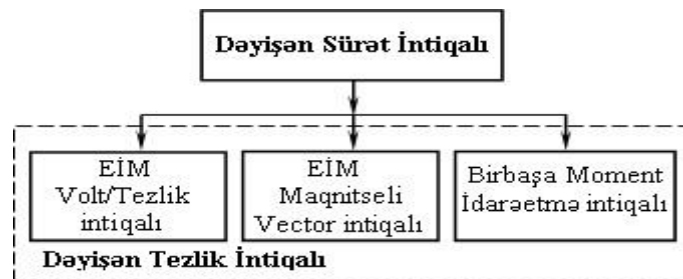
Dəyişən cərəyan mühərriyinin əsas idarəedilmə prinsipi şəbəkə cərəyanının tezliyini və gərginliyini dəyişdirməyə imkan verən tezlik çeviricisindən istifadə etməkdir. Tezlik çeviricisində 50Hz üçfaza dəyişən cərəyan düzləndirici körpü sxeminə daxil olaraq sabit cərəyana çevirilir və yüksək gərginlikli sabit qida mənbəyi yaradır. Sonra eninə-impuls modulyasiya siqnalları ilə idarə olunan çıxış güc invertoru vasitəsilə mühərriyin hər bir fazası müəyyən ardıcılıq ilə sabit qida mənbəyinin neqativ və ya pozitiv qütblərinə qoşularaq dəyişən cərəyana çevirilir və asinxron mühərriyi idarə edir.

Dəyişən sürət intiqalları səlis və effektiv idarəetmə xüsusiyyətlərindən başqa xeyli əlavə mənfəət mənbələrinə də malikdir. Məsələn, elektrik enerjisinə qənaət, mexaniki təsirlərin azalması, mühərriyin mühafizəsi və s.

Dəyişən sürət intiqalı ilə mühərrik elektrik şəbəkəsindən tələb etdiyindən artıq enerji götürmədiyi üçün elektrik enerjisinə əhəmiyyətli dərəcədə qənaət olunur. Səlis idarəetmə nəticəsində elektrik şəbəkəsi artıq yüklənmir və güclü mexaniki zərbələr baş vermir.

Dəyişən Sürət İntiqalları (DSİ) əsasən iki qrupa bölünür: Sabit Cərəyan İntiqalı (SCI) və Dəyişən Tezlik İntiqalı (DTİ).

Asinxron mühərriklər üçün dəyişən sürət intiqallarının təsnifatı şəkil 1-də verilir və təsnifat üzrə bütün intiqalların idarəetmə sxemləri, tənzimləmə metodları, fərqli və üstün cəhətləri ayrılıqda izah edilir, müqayisəli analiz olunur.

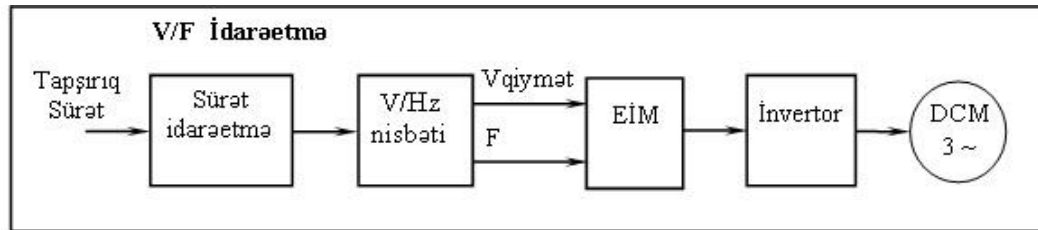


Şəkil 1: Dəyişən Sürət İntiqalının təsnifatı

Dəyişən tezlik intiqalları isə əsasən üç qrupa bölünür: Eninə-impuls modulyasiyalı V/F (*Volt/Frequency*) intiqalı (*Volt/Tezlik*); Eninə-impuls modulyasiyalı Maqnitsele vektor intiqalı (*Flux Control*); Birbaşa moment idarəetmə intiqalı (*DTC-Direct Torque Control*).

3.1. Dəyişən Tezlik İntiqalı – Volt/Tezlik İdarəetmə (V/F Control). Mühərriyin sürətini dəyişməyin ən sadə və geniş yayılmış üsullarından biri Eninə-İmpuls Modulyasiyası (EİM) ilə idarəetmədir [1]. Eninə-impuls modulyasiyası rəqəmsal vasitələrlə enerjinin yükə qismən verilməsi texnikasıdır. Eninə-impuls modulyasiyasında fiksə olunmuş tezlikli axında hər bir impuls eninin öz perioduna nisbəti faiz ilə təyin edilir. İdarəedici çıxış siqnalı alınan nisbətin dəyişməsinə düz mütənəsb olaraq təsir edir və enerjinin orta qiymətinin dəyişməsi sürətin tənzimlənməsinə imkan verir. Enerjinin orta qiyməti impulsun eni ilə düz mütənəsbdir və ümumi idarəetmə hallarında demək olar ki, həmişə xətti olur. Eninə-impuls modulyasiyalı Volt/Tezlik (Volt/Hers) idarəetmə intiqal texnikasında istifadə olunan tənzimlənən parametrlər mühərriyin daxilində gedən proseslərdən asılı olmayaraq kənarında intiqal kontrollerinin yaratdığı **gərginliyin qiyməti (V qiymət)** və **tezlik (F)** parametrləridir [2, 3].

Volt/Hers idarəetmə intiqalı (Şəkil 2) sürət tapşırığını xarici mənbədən götürür, mühərriyə tətbiq olunan gərginliyin qiymətini (V qiymət) və tezliyini (F), onların nisbətini sabit saxlamaqla ($V/F = const$) dəyişərək asinxron mühərriyin sürətini idarə edir. Burada gərginlik vektorundan istifadə olunmur. Gərginlik vektoru mühərriyin maqnit seli cərəyanını təyin edir və vektor bucağı düz olmazsa, mühərrik qeyri-səlis işləyər. Belə ki, Volt/Hers intiqalında gərginlik vektoru nəzərə alınmadığından aşağı sürətlərdə və balanssız yüklə idarəetmə dəqiqliyi az olur. Ancaq çatışmazlıqlara baxmayaraq Volt/Hers intiqalının tətbiq sahələri çox genişdir, sürət və momentin tənzimlənməsində yüksək dəqiqlik tələb olunmayan nasos və havalandırma sistemlərində uğurla istifadə olunurlar.

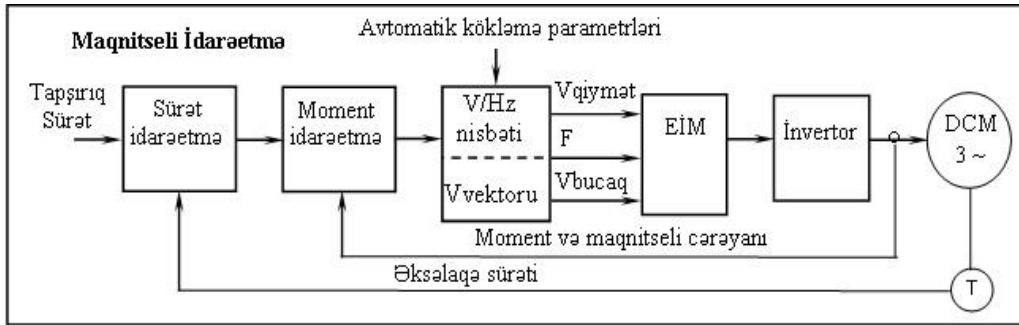


Şəkil 2: Volt/Tezlik idarəetmə intiqalının sxemi

V/F idarəetmə metodunun ən yaxşı xüsusiyyəti budur ki, mühərrik valının (rotorun) sürət və ya vəziyyətini təyin edən əksəlaqə qurğularından (enkoder) istifadə olunmur, əksəlaqə idarəetmə dövrəsinə ehtiyac qalmır. Əksəlaqəsiz idarəetmə qurğusu “açıq-konturlu intiqal” (Open-loop drive) adlanır.

3.2. Dəyişən Tezlik İntiqalı – Maqnit seli Vektor İdarəetmə (Flux Vector Control). Eninə-impuls modulyasiyalı Maqnit seli vektor intiqalında maqnit sahəsinin istiqamətini təyin etmək üçün, asinxron mühərriyin daxilində rotor maqnit selinin fəza bucaq vəziyyəti bilinməlidir [4].

Maqnit seli vektor intiqalı (Şəkil 3) Volt/Hers idarəetmədə olduğu kimi V/F idarəetmə prinsipini saxlayır, əlavə olaraq mühərrikdə maqnit seli və moment yaranan cərəyanları müəyyən etməklə gərginlik vektorunu (V bucaq) təyin edir ki, nəticədə daha dəqiq tənzimləməyə imkan yaranır.



Şəkil 3: Maqnitsele Vektor idarəetmə intiqalının sxemi

Maqnitsele vektor intiqal kontrolleri tənzimlənən **gərginlik (V)**, **cərəyan (İ)** və **tezlik (F)** elektrik kəmiyyətlərinin təyini zamanı mühərrik kökləmə parametrlərindən istifadə etməklə eninə-impuls modulyatoru vasitəsilə asinxron mühərriyin sürətini daha dəqiq idarə edir. Moment dolayı üsul ilə idarə olunur.

Maqnitsele vektor idarəetmə metodunda momentin dəyişməsinə tez reaksiya verilməsini və sürətin dəqiq tənzimlənməsini təmin etmək üçün asinxron mühərriyin valına birləşən əks əlaqə qurğusu tələb olunur. Bu iş ümumi qiymətin artmasına və asinxron mühərriyin idarədilməsi sxeminin mürəkkəbləşməsinə səbəb olur.

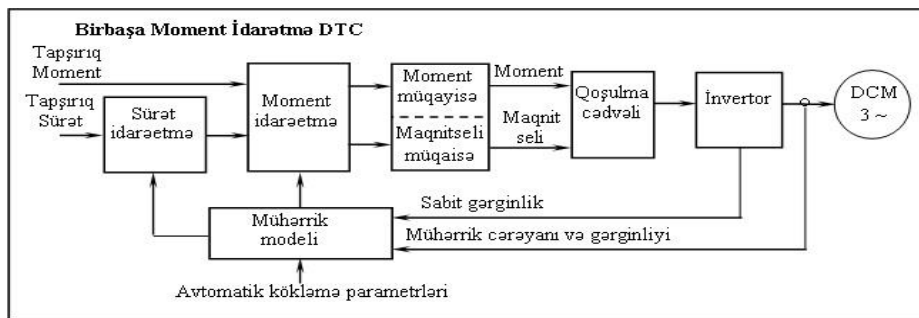
Əks əlaqə enkoderi (taxometri) vasitəsilə statorun maqnit sahəsinə nəzərən, rotorun sürəti və bucaq yerdəyişməsi haqqında məlumatlar mikroprosessora ötürülür. Həmçinin mühərriyin elektrik xarakteristikaları mikroprosessorun köməyi ilə modelləşdirilir və idarəetmədə istifadə olunur. Əks əlaqə enkoderi olan idarəetmə intiqalı "qapalı-konturlu intiqal" (Closed-loop drive) adlanır.

Maqnitsele vektor idarəetmədə sürətin sıfır anında yüksək momentin yaranması, sabit cərəyan intiqallı idarəetmədəki eyni xüsusiyyətə çox yaxındır.

3.3. Dəyişən Tezlik İntiqalı – Birbaşa Moment İdarəetmə (DTC- Direct Torque Control).

Birbaşa Moment İdarəetmə texnologiyasının (Şəkil 4) inkişafı nəticəsində mühərriklə əks əlaqə qurğusu olmadan, eninə-impuls modulyatoru istifadə etmədən, mükəmməl mühərrik nəzəriyyəsi əsasında momenti birbaşa hesablayaraq, maqnit sahəsinin istiqamətini təyin etmək imkanı yarandı.

Birbaşa moment idarəetmə intiqalında invertorun hər qoşulma vəziyyətinə uyğun olaraq, mühərriyin iki faza cərəyanı, gərginliyi və aralıq sabit qıda gərginliyi ölçülərək riyazi mühərrik modelinə daxil olur. Mühərrik modelinin idarəedicisi çıxış siqnalları birbaşa aktual mühərrik momentini və aktual stator maqnit selini ifadə edir. Həmçinin mühərrik modeli valın sürətini hesablayır və aşağı sürətlərdə tam tənzimləmə dəqiqliyi yaradır. Birbaşa moment idarəetmə intiqalında tənzimlənən parametrlər riyazi mühərrik modelinin yaratdığı aktual **maqnitsele** və **momentdir** [5].



Şəkil 4: Birbaşa Moment İdarəetmə intiqalının idarəetmə sxemi.

Birbaşa moment intiqalı işə başlamazdan öncə mühərrik haqqında bütün məlumatlar avtomatik kökləmə mərhələsində riyazi mühərrik modelinə ötürülməlidir. Avtomatik tanınma adlanan bu mərhələdə mühərriyin stator müqaviməti, maqnit selinin qarşılıqlı induksiyası və doyma əmsalı təyin edilir. Birbaşa moment idarəetmə texnologiyası mühərrik valını fırlatmadan belə, riyazi model parametrlərinin tanınmasını təmin edir. Ancaq dəqiq tənzimləmə məqsədilə riyazi model parametrlərinin tanınması üçün mühərrik valını bir neçə saniyə fırlatmaq lazımdır.

Sürət dəqiqliyi 0,5 faizdən aşağı olmayan çoxlu sənaye sahələrində birbaşa moment idarəetmə intiqallarında heç bir əks əlaqə qurğusuna (encoder və ya taxometr) ehtiyac olmur. Bu xüsusiyyət digər intiqallar ilə müqayisədə böyük üstünlükdür.

Birbaşa moment idarəetmə intiqalında eninə-impuls modulyatoru olmadığından birbaşa idarəetmə nəticəsində moment və sürətin dəyişmələrinə mühərriyin cavab reaksiyası digər dəyişən sürət intiqallarına nisbətən dəfələrlə cəld təsir edir.

Birbaşa moment idarəetmə intiqalı öz mükəmməlliyinə görə ilk “universal” intiqal adlanır.

3.4. Dəyişən sürət intiqallarının müqayisəsi. Müxtəlif metodlar əsasında yaradılan dəyişən sürət intiqallarının (şəkil 2 – şəkil 4) idarəetmə sxemlərini müqayisə edərək, fərqli cəhətlərini müəyyən etməyə çalışsaq [6, 7].

Hər iki eninə-impuls modulyasiyalı **V/F idarəetmə** və **Maqnitseleli vektor idarəetmə** (şəkil 2 və 3) dəyişən cərəyan intiqallarının idarəetmə sxemlərinin müqayisəsi göstərir ki, tənzimləmə prosesində mühərriyin daxili parametrlərindən deyil, proqramlaşdırılan intiqal kontrollerinin yaratdığı idarəedici siqnallardan (gərginlik və tezlik) istifadə olunur. Onlar arasında əsas fərq odur ki, maqnitseleli vektor idarəetmə intiqalında daha dəqiq tənzimləmə üçün əks əlaqə qurğusundan istifadə olunur və V/F nisbətində vektorların hesabı əlavə edilir.

Birbaşa moment intiqalı (şəkil 4) ilə digər iki eninə-impuls modulyasiyalı **dəyişən cərəyan intiqal** idarəetmə sxemlərinin (şəkil 2 və 3) müqayisəsi zamanı əsas fərq odur ki, birbaşa moment idarəetmə intiqalında eninə-impuls modulyatoru (EİM) yoxdur, tənzimləmə birbaşa mühərriyin daxili parametrlərini (moment və maqnit seli) ifadə edən və riyazi mühərrik modelinin yaratdığı parametrlər ilə yerinə yetirilir.

Eninə-impuls modulyasiyalı dəyişən cərəyan intiqallarında isə idarəetmə funksiyası mühərriyin statoruna verilən tezlik və gərginlik parametrlərinin tənzimlənməsi ilə yerinə yetirilir. Asinxron mühərriyinin fırlanma sürətinə uyğun tələb olunan tezlik və gərginlik siqnalları, stator dolaqlarına təsir edənə qədər bir neçə kontroller pilləsindən keçərək, müxtəlif çevirmələrə məruz qalırlar.

Eninə-impuls modulyasiyalı dəyişən cərəyan intiqal idarəetməsində gərginlik və tezlik impulsları mühərriyə verilməzdən qabaq eninə-impuls modulyatorunda müəyyən zaman ərzində modulyasiya olunur. Beləliklə, modulyator pilləsində siqnalın təsir müddəti emal prosesi vaxtı hesabına xeyli uzanır. Nəticədə gərginlik və tezliyin dəyişmələrinə mühərriyin cavab reaksiyası ləngiyir, momentin səviyyəsi və sürətin dəqiqliyi məhdudlaşır.

Nəzəri və təcrübi hesablamalara əsasən eninə-impuls modulyasiyalı dəyişən cərəyan idarəetmə intiqalları birbaşa moment idarəetmə intiqallarına nisbətən ilkin dəyişmələrə 10 dəfə ləng reaksiya verir.

Birbaşa moment idarəetmə intiqalında istifadə olunan ilkin dəyişənlər mühərrik momenti və stator maqnit seli birbaşa mühərriyin öz daxilindən götürülən parametrlərdir. Burada gərginlik və tezliyi idarəedən gecikdirici eninə-impuls modulyatoruna ehtiyac yoxdur, ən böyük üstünlük isə çox halda (95%) əks əlaqə qurğularından istifadə olunmamasıdır.

Vektor idarəetmə intiqalları mühərriyin riyazi modelindən istifadə etməklə analitik üsul ilə əsas əməliyyat və idarəetmə parametrlərinin qiymətlərini dinamik təyin edir. Burada analizlər cərəyan, gərginlik və maqnit selini ifadə edən vektorlar əsasında aparıldığından onlar “Vektor idarəetmə” intiqalları adlanır.

Vektor intiqalları dəqiq sürət və moment idarəetməsi üçün optimal maqnitləşmə cərəyanı yaratmaq məqsədi ilə mühərriyin çıxış cərəyanını müntəzəm olaraq analiz edərək ixtiyari verilmiş tapşırıq tezliyinə uyğun hansı gərginliyin tətbiq olunmasını təyin edir, aşkarlanan səhvləri düzəltmək üçün cəld olaraq əks tədbirlər görür, hər zaman mühərriyin tapşırıq həddində işləməsini təmin edir.

Vektor intiqalları statik və dinamik sürətin dəqiq tənzimlənməsi, yük momentinin ani dəyişmələrinə cəld reaksiya verilməsinə görə V/F intiqalına nisbətən üstün xüsusiyyətə malikdir.

Eninə-impuls modulyasiyalı V/F idarəetmə intiqalı, vektor istiqamətindən istifadə etmədən, ancaq stator dolaqlarına verilən tezlik və gərginliyin qiymətlərini tənzimlədiyinə görə, həm də “Skalyar” (“Miqyaslı”) intiqal adlanır, çünki çıxışda V/F nisbəti həmişə eyni (sabit) miqyaslanır.

Müxtəlif metodlu dəyişən sürət intiqallarının müqayisəli analizi cədvəl 1-də verilir.

Cədvəl üzrə müxtəlif metodlu dəyişən sürət intiqallarının idarəetmə parametrlərini müqayisə etməklə də onlar arasındakı fərqli cəhətləri görmək mümkündür.

Cədvəl 1

Dəyişən Sürət İntiqalları		
V/F idarəetmə intiqalı	Maqnitseleli vektor idarəetmə intiqalı	Birbaşa moment idarəetmə intiqalı
Kontrollerin yaratdığı gərginlik (V) və tezlik (F) ilə idarəetmə	Kontrollerin yaratdığı gərginlik (V) və tezlik (F) ilə idarəetmə	Daxili moment (T) və maqnit seli (Φ) ilə idarəetmə
EİM istifadə olunur	EİM istifadə olunur	EİM yoxdur
Maqnitseleli V/F nisbətə ilə təyin edilir	Maqnitseleli V/F nisbəti və vektor hesabı ilə təyin edilir	Maqnitseleli stator maqnitləşmə cərəyanı ilə təyin edilir
Açıq-konturlu dövrədir	Qapalı-konturlu dövrədir	Açıq-konturlu dövrədir
Moment yükədən asılıdır	Moment yükədən asılı deyil	Moment yükədən asılı deyil
Əks əlaqə yoxdur	Əks əlaqə var	Əks əlaqə yoxdur
Sadə və ucuzdur	Mürəkkəb və bahadır	Mürəkkəb və bahadır
Vektor istifadə olunmur	Maqnit sahə vektorundan istifadə olunur	Moment və maqnit sahə vektorundan istifadə olunur
Moment tənzimlənmir	Moment dolaylı tənzimlənilir	Moment birbaşa tənzimlənilir
Rotor vəziyyəti nəzərə alınmır	Rotor vəziyyəti vektorla təyin olunur	Rotor vəziyyəti moment və maqnitseleli ilə təyin edilir
Avtomatik kökləmə yoxdur	Avtomatik kökləmə var	Mühərrik modeli və Avtomatik kökləmə var
Sürət tənzimləmə dəqiqliyi aşağıdır	Sürət və moment tənzimləmə dəqiqliyi yaxşıdır	Sürət və moment tənzimləmə dəqiqliyi yüksəkdir
Sıfır sürətdə zəif moment yaradır	Sıfır sürətdə yüksək moment yaradır	Sıfır sürətdə maksimum tam moment yaradır
Sürət dəyişməsinə reaksiyası ləngdir	Sürət və moment dəyişməsinə reaksiyası yaxşıdır	Sürət və moment dəyişməsinə reaksiyası cəldir
Nasos, havalandırma və s. qurğularda işləyir	Konveyer, yükqaldırma və s. qurğularda işləyir	Qaldırıcı kran, lift və s. qurğularda işləyir

Gərginliyi sabit saxlayaraq tezliyin qiymətini dəyişməklə mühərrik sürəti tənzimlənsə də, optimal idarəetmə mümkün olmur. Ancaq gərginlik və tezliyin qiymətlərini eyni nisbətdə ($V/F = const$) dəyişməklə mühərriyin yaratdığı maqnit selini və ona uyğun olan momenti bütün sürət həddində sabit saxlamaq olar. Bu xüsusiyyətinə görə V/F intiqalları asinxron mühərriklərin sürət tənzimlənməsində çox geniş istifadə olunurlar.

Skalyar intiqal idarəetmədə mühərriyin EİM siqnallarına necə reaksiya verməsi yükün vəziyyətindən çox asılıdır. Skalyar intiqal yükün xarakteri haqqında heç nə bilmədən mühərriyə nə etmək əmrini verir, tapşırığın yerinə yetirilməsini yoxlamır, aşkarlanan səhvləri düzəltmir. Məsələn, əgər intiqal mühərriyə 45Hz tezlik verirsə və mühərrik 40Hz tezliyə ekvivalent sürətlə fırlanırsa, skalyar intiqal bunu bilmir. Skalyar intiqal mühərriyin çıxış momenti və sürəti haqqında heç bir əks əlaqə bilgisi almadığından düzgün moment və sürət idarəetməsi də mümkün olmur.

Skalyar intiqallar 10Hz həddindən yuxarı tezliklərdə işləyən, az dəqiqlik tələb olunan sürət və moment idarəetmə obyektlərində uğurla istifadə olunurlar.

Vektor intiqalında sürətli mikroprosessorlardan istifadə etməklə əksəlaqə məlumatları əsasında düzgün sürət və moment idarəetməsi üçün tezlik və gərginliyin dəqiq vektoru hesablanır. Vektor intiqalı mühərriyə nə etmək əmrini verir, sonra tapşırığın yerinə yetirilməsini yoxlayır, əmri dəyişməklə aşkarlanan səhvləri düzəldir.

Vektor intiqalları əks əlaqə məlumatlarını əldə etmək üsullarına görə iki tipə bölünür:

- qapalı-konturlu vektor intiqalı;
- açıq-konturlu vektor intiqalı.

Qapalı-konturlu intiqalda mühərriyin valına bərkidilən əks əlaqə enkoderi vasitəsi ilə valın vəziyyəti haqqında məlumatlar mikroprosessorla (MP) ötürülür. Məsələn, əgər MP mühərriyə (x) Hers tezliklə işləmək tapşırığı verərsə və əksəlaqə enkoderi mühərriyin ($x-2$) Hers tezliklə işlədiyini bildirərsə, onda MP idarəedici EİM siqnallarını dəyişməklə səhvi düzəltməyə çalışacaqdır. Moment idarəetməsində MP əks əlaqə bilgilərindən istifadə etməklə EİM siqnallarını elə tənzimləyir ki, sürətdən asılı olmayaraq momentin səviyyəsi həmişə sabit qalır. Qapalı-konturlu vektor intiqalı həmçinin asinxron mühərriyin sıfır sürətdə yüksək moment yaratmasını təmin edir. Ona görə də yükqaldırıcılarda, kranlarda və liftlərdə qapalı-konturlu intiqallardan geniş istifadə olunur.

Açıq-konturlu vektor intiqalı da əslində qapalı-konturlu sistemdir. Burada əksəlaqə siqnalları xarici enkoderdən deyil intiqalın öz daxilində hesablama nəticəsində alınır. Belə intiqallar bəzən “Sensorsuz intiqal” adlanır. Volt/Hers intiqalları da “Sensorsuz intiqal” sinfinə aid edilir.

Açıq-konturlu vektor intiqalında MP mühərriyin əsas işçi parametrlərinin riyazi modelini yaradaraq yaddaşda saxlayır. Mühərrik işləyən zaman MP onun çıxış cərəyanına müntəzəm nəzarət edir, model cərəyanı ilə müqayisə edir, fərqi müəyyən edir. Sonra MP daxili əks əlaqə bilgilərindən istifadə edərək lazımi əməliyyatları yerinə yetirməklə qapalı-konturlu intiqalda olduğu kimi səhvi düzəltməyə çalışır.

Açıq-konturlu intiqalın çatışmayan cəhəti odur ki, mühərrik yavaş sürətlə işləyəndə maqnit sahəsinin zəif dəyişmələrini aşkar etmək çox çətinləşir, idarəetmənin dəqiqliyi azalır və sıfır sürətdə yüksək moment almaq mümkün olmur. Ona görə də yükqaldırıcılarda, kranlarda və liftlərdə açıq-konturlu intiqallardan istifadə olunmur.

İntiqalların idarəetmə mexanizmlərini başa düşmək üçün onların eyni tapşırığı necə yerinə yetirmələrinə diqqət edək.

Fərz edək ki, Skalyar intiqal 380V 50Hz asinxron mühərriyini 50% sürətlə işlətməlidir. İntiqalın çıxışında V/F siqnallar nisbəti həmişə eyni miqyasların və $7,6V/Hz$ qiymətinə bərabərdir ($380V/50Hz=7,6V/Hz$). Beləliklə, mühərrik nominal sürətinin 50% (25Hz) həddində işləyən zaman ona tətbiq olunan gərginlik $25Hz*7,6V/Hz=190V$ olur. Mühərrik yüksüz və ya az yüklü iş rejimində 50% sürətlə normal işləyir. Yük artan zaman moment dəyişir və mühərriyin sürəti verilən tapşırıqdan aşağı düşməyə başlayır (məsələn, 40% olur). Bu zaman mühərriyin stator və rotor

maqnit sahələri arasında artan sürüşmə stator cərəyanını çoxaltmaqla arzu olunan sürətə çatmağa cəhd edir, ancaq sabit V/F çıxış signalı buna imkan vermir.

İndi isə vektor intiqalının bu tapşırığı necə yerinə yetirməsinə baxaq. Qapalı-konturlu vektor intiqalında rotor valının vəziyyət modelinin, açıq-konturlu vektor intiqalında isə mühərrik cərəyanı əsasında əvvəlcədən yaradılmış riyazi mühərrik modelinin müqayisəsi nəticəsində MP gərginlik və tezliyin dəqiq vektorlarını hesablayır, çıxış momentini dəyişərək mühərriyin arzu olunan 50% sürətlə işləməsinə təmin edir. Hər iki halda (qapalı və açıq-konturlu) tənzimləmə 0,01Hz dəqiqliklə aparılır. Onlar arasında yeganə fərq odur ki, açıq-konturlu idarəetmədə mühərrik sıfır sürətdə yüksək moment yarada bilmir.

Dəyişən sürət intiqalından istifadə zamanı idarəetmə sisteminin ümumi faydalı iş əmsalı artır. Asinxron mühərriyi elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirdiyindən, elektriki giriş gücü (P_{in}) tətbiq olunan gərginlikdən (U), cərəyandan (I) və güc əmsalından ($\cos \varphi$) asılıdır. Aktiv güc tələb olunan mexaniki çıxış enerjisini yaratmaq üçün, reaktiv güc isə mühərriyin daxilində maqnitləşməni təmin etmək üçün istifadə olunur. ($P_{in} = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi$).

Mexaniki çıxış gücü (P_{out}) tələb olunan momentdən (T) və valın fırlanma sürətindən (n) asılıdır. Böyük sürət və ya moment üçün böyük güc tələb olunur. ($P_{out} = T * 2\pi * n/60$).

Faydalı iş əmsalı (η) çıxış gücünün giriş gücünə nisbətində bərabərdir ($\eta = P_{out} / P_{in}$).

Dəyişən sürət intiqallarının (Tezlik çeviriciləri) çıxış güc-invertor dövrələrində ötürmə əmsalları çox böyük olan, yüksək sürətli tranzistor elektrik açarlarından istifadə olunduğundan, onların ümumi faydalı iş əmsalları (0.97,...,0.99) hədd arasında dəyişir. Asinxron mühərriyin faydalı iş əmsalı, adətən (0.8,...,0.9) hədd arasında olur. Beləliklə, dəyişən sürət intiqallı idarəetmə sistemlərinin ümumi faydalı iş əmsalı həmişə yüksək olur.

3.5. Ştanqlı dərinlik nasos qurğusunun asinxron mühərriyi üçün dəyişən sürət intiqalının seçilməsi: Ştanqlı dərinlik nasos qurğularında idarəetmə zamanı asinxron mühərrikdən sürət və moment parametrlərinə görə böyük dəqiqlik tələb olunmadığından açıq-konturlu Vektor intiqalı seçilə bilər. Məlumdur ki, ştanqlı dərinlik nasos qurğusunun yükünü balans etmək çətindir. Yük balansı məhsuldarlıqdan asılı olur və ya təmirdən sonra dəyişir. Ona görə də seçilən intiqal balanssız yük halında dayanıqlı və səlis işləməlidir.

Deyənləri nəzərə alaraq, ştanqlı dərinlik nasos qurğularında asinxron mühərrikləri idarəetmək üçün “**Schneider Electric**” firmasının V/F idarəetmə əsaslı “**Altivar 71**” dəyişən sürət intiqalı seçilmiş [8, 9] və **Bibiheybət** neft mədəninə uğurla tətbiq olunmuşdur [10].

4. Nəticə. Məqalədə müxtəlif idarəetmə metoduna malik dəyişən sürət intiqalları müqayisəli analiz olunmuş, fərqli cəhətləri göstərilmiş və ştanqlı dərinlik nasos qurğularının asinxron mühərrikləri üçün uyğun olan dəyişən sürət intiqalı seçilmişdir.

Müqayisəli analiz göstərdi ki, asinxron mühərriklərinin idarəedilməsi zamanı moment və sürətin tənzimlənməsində dəyişən sürət intiqalları öz təsir mexanizmlərinə, əks əlaqə dövrlərinə, idarəetmə metodlarına, tənzimləmə dəqiqliyinə və s. görə fərqlənsələr də, ən aşağı texniki göstəriciyə malik və ən az dəqiqlik dərəcəsi olan intiqal belə, özünə uyğun seçilmiş idarəetmə prosesində əvəzsizdir və fayda verir.

Dəyişən sürət intiqalı istifadə olunan hər bir idarəetmə prosesində enerjiyə qənaət olunur, mexaniki təsirlər azalır, avadanlığın işləmə müddəti artır. Ona görə də Dəyişən Sürət İntiqallarından istifadə etməklə Enerjiyə Qənaət Avadanlıqları yaradaraq, neftçıxarma, havalandırma, suvurma və s. təsərrüfatlarda asinxron mühərriklərinin idarəedilməsində tətbiq etməklə çox böyük iqtisadi səmərə əldə etmək olar.

*** Bu məqalə Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun maliyyə yardımı ilə yerinə yetirilmişdir – Qrant № EIF-RİTN-MQM-2/İKT-2-2013-7(13)-29/15/1**

Ədəbiyyat

1. PWM Techniques: A Pure Sine Wave Inverter. 2011.
2. M. Harsha Vardhan Reddy and V. Jegathesan, "Open loop V/f Control of Induction Motor based on hybrid PWM with Reduced Torque Ripple", ICETECT 2011, Karunya University.
3. B.G. Starr, J.C.F. Van Loon: "LSI circuit for AC motor speed control", in proceedings of Electronic Components and Application, Vol. 2, No.4, pp. 219-229, 1980.
4. "Three-phase AC induction vector control drive with single shunt current sensing", 2007.
5. Technical guide No. 1, "Direct torque control - the world's most advanced AC drive technology", ABB, 2011.
6. Thida Win, Nang Sabai, and Hnin Nandar Maung "Analysis of variable frequency three phase induction motor drive", World academy of science, engineering and technology, 2008.
7. Technical guide No. 4, "Guide to variable speed drives", ABB, 2011.
8. "Variable speed drives for asynchronous motors" ATV71, ENA, programming manual, 2005.
9. "Variable speed drives for asynchronous motors" ATV71, User guide, 2005.
10. Т.А.Алиев, Д.А. Искендеров, Г.А.Гулуев, Ас.Г. Рзаев, М.Г. Резван. Результаты внедрения комплекса контроля, диагностики и управления для нефтяных скважин, эксплуатирующихся штанговыми глубинными насосами в нефтегазодобывающем управлении «Бибиэйбатнефть» // Azərbaycan neft təsərrüfatı, № 06,2014, s.37-41.

УДК 004.021

Г.А. Гулуев, Ас.Г. Рзаев, Ф.Г. Пашаев, Я.Г. Алиев, М.Г. Резван

Привод переменной скорости для асинхронного двигателя штанговой глубинно-насосной установки

Для выбора привода переменной скорости, обеспечивающего регулирование в широком диапазоне скорости вращения ротора асинхронного двигателя для штанговых глубинно-насосных установок и экономии потребляемой электроэнергии, сравниваются различные схемы приводов. Выявлены их отличительные особенности, анализируются методы управления, указываются источники энергосбережения. В итоге производится выбор соответствующего привода.

Ключевые слова: нефтедобыча, асинхронный двигатель, мягкое управление, регулирование скорости и момента, энергосберегающий

G.A. Guluyev, As.H. Rzayev, F.H. Pashayev, Y.G. Aliyev, M.H. Rezvan

Variable speed drives for asynchronous motor of Sucker rod pump

In this article discuss development scheme of the VSDs, detect different aspects, comparatively analysis and describe control methods of drives, coverage energy saving source and select adequate variable speed drive for asynchronous motor of sucker rod pump, which regulate AC motor at full speed range and give energy saving opportunity.

Keywords: oil-extracting, asynchronous motor, soft control, speed and torque control, energy saving