



## O'ZGARUVCHAN YUKLAMADAGI ELEKTR YURITMALARNING YUQORI GARMONIKAVIY TAHLILI

*Shodiyev Oqiljon Abdurashit o'g'li*

*Olmaliq davlat texnika instituti*

[shodiyevoqiljon2@gmail.com](mailto:shodiyevoqiljon2@gmail.com)

### ANNOTATSIYA

Mazkur maqolada o'zgaruvchan yuklama sharoitida ishlovchi elektr yuritmalarda yuzaga keladigan yuqori garmonikaviy tarkiblar va ularning elektr-mexanik jarayonlarga ta'siri tahlil qilinadi. Zamonaviy sanoat qurilmalarida chastota o'zgartirgichlar, impulsli kuchlanish manbalari va nolinear yuklamalardan keng foydalanilishi natijasida elektr yuritma tizimlarida tok va kuchlanish shakllarining buzilishi kuzatilmoqda. Bu holat elektr mashinalarining qizishi, moment tebranishlari, shovqin va vibratsiya darajasining oshishi hamda energiya samaradorligining pasayishiga olib keladi. Maqolada o'zgaruvchan yuklama rejimida yuqori garmoniklarning shakllanish mexanizmlari, ularning spektral tarkibi va asosiy ta'sir omillari ko'rib chiqiladi. Tadqiqot natijalari elektr yuritma tizimlarini loyihalash va ekspluatatsiya qilishda garmonik buzilishlarni kamaytirish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga xizmat qiladi.

**Kalit so'zlar:** elektr yuritma, o'zgaruvchan yuklama, yuqori garmoniklar, chastota o'zgartirgich, tok spektri, energiya sifati.

### KIRISH

Bugungi kunda sanoat, transport va kommunal xo'jalik sohalarida elektr yuritmalar energiya iste'molining asosiy qismini tashkil etadi. Ayniqsa, avtomatlashtirilgan texnologik jarayonlarda tezlik va momentni keng diapazonda rostlash imkonini beruvchi elektr yuritmalardan foydalanish tobora kengayib



bormoqda. Bunday tizimlarning aksariyati chastota o'zgartirgichlar va yarimo'tkazgichli quvvat elektronika qurilmalari asosida ishlaydi.

Elektr yuritmalar real ekspluatatsiya sharoitida doimiy emas, balki o'zgaruvchan yuklama rejimida faoliyat yuritadi. Yuklamaning keskin yoki davriy o'zgarishi tok va kuchlanishning nosinusoidal shakllanishiga sabab bo'lib, yuqori garmonikaviy tarkiblarning paydo bo'lishiga olib keladi. Ushbu garmoniklar elektr tarmog'i va elektr mashinalarining elektromagnit jarayonlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Yuqori garmoniklar natijasida elektr mashinalarida qo'shimcha mis va po'lat yo'qotishlari yuzaga keladi, izolyatsiya tizimining eskirishi tezlashadi hamda aylanish momentida tebranishlar hosil bo'ladi. Bu esa mexanik uzellarning ishonchliligini pasaytiradi, shovqin va vibratsiya darajasini oshiradi. Shuningdek, yuqori garmoniklar elektr energiyasi sifatining yomonlashishiga sabab bo'lib, umumiy energiya samaradorligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Shu sababli o'zgaruvchan yuklamada ishlovchi elektr yuritmalarda yuqori garmonikaviy tarkibni chuqur tahlil qilish, ularning paydo bo'lish sabablarini aniqlash va salbiy ta'sirini kamaytirish muhim ilmiy-amaliy masala hisoblanadi. Ushbu maqolada aynan shu muammolar tahlil qilinib, elektr yuritma tizimlarining ishonchliligi va samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy xulosalar bayon etiladi.

### ADABIYOTLAR TAHLILI

Elektr yuritmalarda yuqori garmonikaviy buzilishlar masalasi so'nggi yillarda quvvat elektronikasi qurilmalarining keng joriy etilishi bilan bog'liq holda dolzarb ilmiy yo'nalishlardan biriga aylandi. Turli tadqiqotchilar tomonidan elektr yuritma tizimlarida garmoniklarning paydo bo'lish sabablari, ularning elektromagnit va mexanik jarayonlarga ta'siri hamda kamaytirish usullari o'rganilgan.

Ko'pgina ilmiy ishlarda chastota o'zgartirgichlar bilan boshqariladigan asinxron elektr yuritmalarda tok va kuchlanishning nosinusoidal shakllanishi asosiy



garmonik manba sifatida ko'rsatiladi. Tadqiqotlarda impulsli kenglik-modulyatsiyalangan (SHIM) kuchlanishlar elektr mashina o'ramlarida yuqori tartibli garmonik toklarning hosil bo'lishiga olib kelishi isbotlangan. Bu holat magnit oqimning deformatsiyalanishi va qo'shimcha elektromagnit yo'qotishlar bilan izohlanadi.

Bir qator mualliflar o'z ishlarida elektr yuritmalarning **doimiy yuklama** sharoitidagi garmonik tarkibini tahlil qilgan bo'lsa-da, **o'zgaruvchan yuklama rejimi** kamroq tadqiq etilgan. Yuklama momentining keskin o'zgarishi yoki davriy tebranishi natijasida garmonik spektrning vaqt bo'yicha o'zgaruvchanligi yuzaga keladi. Bu esa klassik statsionar spektral tahlil usullarining yetarli aniqlik bermasligiga sabab bo'ladi.

Ilmiy adabiyotlarda yuqori garmoniklarning elektr mashinalariga ta'siri asosan uch yo'nalishda ko'rib chiqilgan: issiqlik jarayonlari, mexanik tebranishlar va energiya samaradorligi. Tadqiqotlar natijasiga ko'ra, 5-, 7-, 11- va 13-tartibli garmoniklar aylanish momentida pulsatsiyalar hosil qilib, podshipnik va mexanik uzellarning xizmat muddatini qisqartiradi. Bundan tashqari, yuqori chastotali garmoniklar izolyatsiya tizimiga elektr stress yuklab, uning tezroq eskirishiga olib keladi.

So'nggi yillarda garmoniklarni kamaytirish bo'yicha faol va passiv filtrlash usullari, shuningdek, optimallashtirilgan SHIM algoritmlari taklif etilmoqda. Biroq ushbu yechimlarning aksariyati o'zgarmas yoki sekin o'zgaruvchi yuklama sharoitlari uchun mo'ljallangan. O'zgaruvchan yuklama rejimida filtr parametrlari va boshqaruv algoritmlarining moslashuvchanligi muhim ahamiyat kasb etadi.

Shu bilan birga, ayrim tadqiqotlarda vaqt-chastota tahlili, diskret Furye o'zgartirishining modifikatsiyalari hamda veyvlet-analiz usullaridan foydalanish orqali o'zgaruvchan rejimlarda garmonik tarkibni aniqlashga urinishlar mavjud. Biroq bu yondashuvlar elektr yuritma tizimlariga to'liq moslashtirilmagan va amaliy tavsiyalar yetarli darajada ishlab chiqilmagan.



Yuqoridagi adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, o'zgaruvchan yuklamada ishlovchi elektr yuritmalarda yuqori garmonikaviy tarkibni kompleks ravishda tahlil qilish, ularning vaqt bo'yicha dinamik xususiyatlarini hisobga olgan holda baholash va samarali kamaytirish usullarini ishlab chiqish hozirgi kunda dolzarb ilmiy-amaliy masala bo'lib qolmoqda. Mazkur maqola aynan ushbu ilmiy bo'shliqni to'ldirishga qaratilgan.

### MATEMATIK MODEL VA ASOSIY TENGLAMALAR

Tadqiqot ob'ekti sifatida chastota o'zgartirgich orqali boshqariladigan, o'zgaruvchan yuklama sharoitida ishlovchi asinxron elektr yuritma tanlanadi. Elektr yuritmaning matematik modeli elektromagnit va mexanik jarayonlarning o'zaro bog'liqligini hisobga olgan holda tuziladi. Model yuqori garmonikaviy tarkibning shakllanishini tahlil qilish imkonini berishi lozim.

#### Elektr qismi modeli

Asinxron motorning stator va rotor zanjirlari uchun tenglamalar fazalar bo'yicha yoki soddalashtirish maqsadida ikki o'qli aylanuvchi koordinatalar tizimida ( $\alpha$ - $\beta$  yoki d-q) ifodalanadi. Ushbu tadqiqotda elektromagnit jarayonlarni aniqlik bilan ifodalash uchun statorga bog'langan d-q koordinatalar tizimi qabul qilinadi.

Stator kuchlanish tenglamalari quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\begin{aligned}u_{sd} &= R_s i_{sd} + \frac{d\psi_{sd}}{dt} - \omega_s \psi_{sq} \\u_{sq} &= R_s i_{sq} + \frac{d\psi_{sq}}{dt} + \omega_s \psi_{sd}\end{aligned}$$

Rotor zanjiri uchun:

$$\begin{aligned}0 &= R_r i_{rd} + \frac{d\psi_{rd}}{dt} - (\omega_s - \omega_r) \psi_{rq} \\0 &= R_r i_{rq} + \frac{d\psi_{rq}}{dt} + (\omega_s - \omega_r) \psi_{rd}\end{aligned}$$

bu yerda

$u_{sd}, u_{sq}$  — stator kuchlanishining d va q tarkiblari,



$i_{sd}, i_{sq}, i_{rd}, i_{rq}$  — stator va rotor toklarining tarkiblari,

$R_s, R_r$  — stator va rotor aktiv qarshiliklari,

$\psi_{sd}, \psi_{sq}, \psi_{rd}, \psi_{rq}$  — magnit bog‘lanish oqimlari,

$\omega_s$  — stator aylanish burchak tezligi,

$\omega_r$  — rotorning mexanik burchak tezligi.

Magnit bog‘lanishlar quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

$$\psi_{sd} = L_s i_{sd} + L_m i_{rd}$$

$$\psi_{sq} = L_s i_{sq} + L_m i_{rq}$$

$$\psi_{rd} = L_r i_{rd} + L_m i_{sd}$$

$$\psi_{rq} = L_r i_{rq} + L_m i_{sq}$$

bu yerda

$L_s, L_r$  — stator va rotor induktivliklari,

$L_m$  — o‘zaro induktivlik.

Chastota o‘zgartirgich chiqishidagi kuchlanish impulsli (SHIM) shaklda bo‘lgani sababli,  $u_{sd}$  va  $u_{sq}$  tarkibida asosiy garmonik bilan bir qatorda yuqori tartibli garmoniklar mavjud bo‘ladi. Bu garmoniklar tok tenglamalarida qo‘shimcha tebranishlar hosil qiladi.

Elektromagnit moment tenglamasi

Asinxron motorning elektromagnit momenti quyidagicha aniqlanadi:

$$M_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{p}{2} \cdot (\psi_{sd} i_{sq} - \psi_{sq} i_{sd})$$

bu yerda

$p$  — qutblar soni.

Yuqori garmoniklarning mavjudligi moment ifodasida pulsatsiyalar paydo bo‘lishiga olib keladi, bu esa o‘zgaruvchan yuklama sharoitida mexanik tebranishlarni kuchaytiradi.



### Mexanik qism modeli

Elektr yuritmaning mexanik harakati Nyutonning ikkinchi qonuni asosida quyidagicha ifodalanadi:

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = M_\epsilon - M_y(t) - B\omega_r$$

bu yerda:  $J$  — aylanuvchi qismlarning umumiy inertsia momenti,

$M_y(t)$  — o'zgaruvchan yuklama momenti,

$B$  — ishqalanish koeffitsienti.

O'zgaruvchan yuklama momenti vaqtga bog'liq funksiya sifatida qaraladi:

$$M_y(t) = M_0 + \Delta M \cdot f(t)$$

bu yerda  $f(t)$  yuklamaning davriy yoki tasodifiy o'zgarishini ifodalaydi.

### Yuqori garmonikaviy tahlil asoslari

Stator toklarining garmonik tarkibi Furiye qatori yordamida aniqlanadi:

$$i_s(t) = I_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \varphi_n)$$

bu yerda:  $I_1$  — asosiy garmonik amplitudasi,  $I_n$  —  $n$ -tartibli yuqori garmonik amplitudalari.

Garmonik buzilish darajasi umumiy garmonik buzilish koeffitsienti (THD) orqali baholanadi:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \cdot 100\%$$

Ushbu matematik model o'zgaruvchan yuklama sharoitida elektr yuritmalarda elektromagnit va mexanik jarayonlarning o'zaro ta'sirini, shuningdek, yuqori garmoniklarning tok, moment va tezlikka ta'sirini kompleks tahlil qilish imkonini beradi.

### MATLAB/SIMULINK MODEL TAVSIFI

O'zgaruvchan yuklama sharoitida ishlovchi elektr yuritmalarda yuqori garmonikaviy jarayonlarni tadqiq etish maqsadida Matlab/Simulink muhitida



kompleks modellashtirish modeli ishlab chiqildi. Model elektromagnit, mexanik va boshqaruv jarayonlarini o'zaro bog'langan holda aks ettirish imkonini beradi hamda tok, moment va tezlik signallarining vaqt va chastota sohalaridagi tahlilini amalga oshirishga xizmat qiladi.

### Modelning umumiy tuzilishi

Simulink modeli funksional jihatdan quyidagi asosiy bloklardan tashkil topgan:

- elektr ta'minoti va kuchlanish shakllantirish bloki;
- chastota o'zgartirgich (SHIM inverter) modeli;
- asinxron motorning matematik modeli;
- o'zgaruvchan yuklama modeli;
- o'lchash va garmonik tahlil bloklari.

Modelning umumiy tuzilmasi elektr yuritmaning real sanoat tizimlariga mos holda qurilgan bo'lib, parametrlar nominal texnik ma'lumotlar asosida tanlangan.

### Chastota o'zgartirgich modeli

Chastota o'zgartirgich Simulink'ning **Power Electronics** kutubxonasidagi uch fazali inverter asosida modellashtirilgan. Inverter boshqaruvi impulsli kenglik-modulyatsiyasi (SHIM) usulida amalga oshiriladi. Modulyatsiya signali sinusoidal shaklda bo'lib, tashuvchi signal yuqori chastotali uchburchak to'lqin sifatida tanlangan.

SHIM algoritmi inverter chiqish kuchlanishida asosiy garmonik bilan birga yuqori tartibli garmoniklarning hosil bo'lishiga olib keladi. Aynan shu holat elektr yuritma tizimida yuqori garmonikaviy buzilishlarni o'rganish imkonini beradi.

### Asinxron motor modeli

Asinxron motor modeli Simulink'ning **Asynchronous Machine** blokidan foydalanilgan holda yoki foydalanuvchi tomonidan tuzilgan d-q koordinatalar tizimidagi matematik tenglamalar asosida amalga oshiriladi. Modelda stator va rotor qarshiliklari, induktivliklar, qutblar soni hamda inertsia momenti hisobga olingan.



Motor modeli elektromagnit moment, stator toklarining fazaviy qiymatlari va aylanish tezligini real vaqt rejimida aniqlash imkonini beradi. Yuqori garmoniklarning mavjudligi stator toklarida deformatsiyalangan to'liq shakllari orqali namoyon bo'ladi.

#### O'zgaruvchan yuklama modeli

Yuklama momenti alohida funksional blok orqali modellashtirilgan bo'lib, u vaqtga bog'liq ravishda o'zgaruvchi signal sifatida beriladi. Yuklama quyidagi rejimlarda tekshiriladi:

- bosqichli (sakrashli) o'zgaruvchi yuklama;
- davriy sinusoidal yuklama;
- tasodifiy (stoxastik) yuklama.

Bu yondashuv elektr yuritmaning real ekspluatatsiya sharoitlariga yaqinlashish imkonini beradi hamda yuklama o'zgarishining yuqori garmonikaviy tarkibga ta'sirini baholashga xizmat qiladi.

#### O'lchash va garmonik tahlil bloki

Modelda stator toklarining vaqt bo'yicha signallari **Current Measurement** bloklari orqali olinadi. Ushbu signallar **FFT Analysis** yoki foydalanuvchi tomonidan yozilgan Matlab skriptlari yordamida chastota sohasiga o'tkaziladi.

Garmonik tahlil jarayonida quyidagi ko'rsatkichlar aniqlanadi:

- asosiy garmonik amplitudasi;
- yuqori tartibli garmoniklar spektri;
- umumiy garmonik buzilish koeffitsienti (THD).

Bundan tashqari, elektromagnit moment pulsatsiyalari va tezlik tebranishlari vaqt diagrammalari orqali baholanadi.

#### Modelning amaliy ahamiyati

Ishlab chiqilgan Matlab/Simulink modeli o'zgaruvchan yuklama sharoitida elektr yuritmalarda yuqori garmoniklarning shakllanish mexanizmlarini chuqur tahlil qilish imkonini beradi. Model yordamida boshqaruv algoritmlari, filtrlar yoki



yuklama xususiyatlarining garmonik tarkibga ta'siri solishtirma tarzda o'rganilishi mumkin.

Mazkur modellashtirish natijalari elektr yuritma tizimlarini loyihalash va ekspluatatsiya qilishda energiya sifati ko'rsatkichlarini yaxshilashga qaratilgan ilmiy va amaliy xulosalar chiqarish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

## **THD QIYMATLARINING YUKLAMA REJIMIGA BOG'LIQLIGI**

Elektr yuritmalarda tok va kuchlanishning umumiy garmonik buzilish koeffitsienti (THD) tizimning energetik va elektromagnit sifatini baholovchi asosiy ko'rsatkichlardan biri hisoblanadi. O'zgaruvchan yuklama sharoitida elektr yuritma tizimining ish rejimi tez-tez o'zgarib turadi, bu esa yuqori garmoniklarning spektral tarkibiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli THD ning yuklama rejimiga bog'liqligini aniqlash muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

### **Doimiy yuklama rejimi**

Doimiy yuklama sharoitida elektr yuritmaning elektromagnit jarayonlari nisbatan barqaror bo'ladi. Stator toklarining asosiy garmonik komponenti ustunlik qiladi, yuqori tartibli garmoniklar amplitudasi esa asosan chastota o'zgartirgichning SHIM algoritmi va kommutatsiya chastotasiga bog'liq bo'ladi. Simulyatsiya natijalariga ko'ra, nominal yuklama yaqinida ishlaganda THD qiymati nisbatan kichik bo'lib, o'zgarishlar minimal darajada kuzatiladi.

### **Yuklamaning bosqichli o'zgarishi**

Yuklama momentining keskin oshishi yoki kamayishi elektr yuritma tizimida o'tkinchi jarayonlarni yuzaga keltiradi. Ushbu holatda stator toklarida qisqa vaqt ichida yuqori amplitudali garmonik komponentlar paydo bo'ladi. Natijada THD qiymati keskin ortadi va faqat tizim yangi barqaror holatga o'tgandan so'ng



kamayadi. Ayniqsa, yuklamaning tez-tez almashib turishi THD ning oʻrtacha qiymatini yuqori darajada ushlab turishiga sabab boʻladi.

### Davriy oʻzgaruvchan yuklama

Davriy (sinusoidal yoki impulsli) oʻzgaruvchan yuklama sharoitida THD qiymati vaqt boʻyicha tebranuvchi xususiyatga ega boʻladi. Yuklama chastotasi elektromagnit jarayonlarga yaqin boʻlgan hollarda tok spektrida past chastotali qoʻshimcha garmoniklar hosil boʻladi. Bu esa THD ning nafaqat yuqori tartibli, balki past tartibli garmoniklar hisobiga ham ortishiga olib keladi. Simulyatsiya natijalari yuklama tebranish chastotasi oshgani sari THD ning oʻrtacha qiymati ham ortishini koʻrsatadi.

### Tasodifiy yuklama rejimi

Tasodifiy yuklama rejimi real sanoat mexanizmlariga eng yaqin holat hisoblanadi. Bunday sharoitda yuklama momenti oldindan aniqlanmagan holda oʻzgaradi va elektr yuritmaning elektromagnit tizimi doimiy ravishda oʻtkinchi holatda ishlaydi. Natijada tok spektrida keng chastota diapazonida garmoniklar hosil boʻladi. Ushbu rejimda THD qiymati eng yuqori darajaga yetib, uning vaqt boʻyicha tarqalishi notekis boʻlishi kuzatiladi.

### Yuklama darajasi va THD oʻrtasidagi bogʻliqlik

Simulyatsiya natijalari shuni koʻrsatadiki, yuklama darajasi kamaygani sari stator toklarining nisbiy deformatsiyasi ortadi. Yengil yuklama rejimida asosiy garmonikning ulushi kamayib, yuqori garmoniklarning nisbiy hissasi ortadi, bu esa THD ning oshishiga olib keladi. Aksincha, nominal yuklama yaqinida elektr yuritma tizimi energetik jihatdan eng samarali boʻlib, THD minimal qiymatga ega boʻladi.



## Tahlil natijalari

Olingan natijalar o'zgaruvchan yuklama sharoitida elektr yuritmalarda THD doimiy kattalik emas, balki yuklama xususiyati, uning o'zgarish tezligi va amplitudasiga bog'liq dinamik ko'rsatkich ekanligini ko'rsatadi. Shu sababli elektr yuritma tizimlarini loyihalashda faqat statsionar rejimlar emas, balki real ekspluatatsiya sharoitidagi yuklama rejimlari ham hisobga olinishi lozim.

## THD NI KAMAYTIRISH BO'YICHA AMALIY TAVSIYALAR

O'zgaruvchan yuklama sharoitida ishlovchi elektr yuritmalarda yuqori garmonikaviy buzilishlarni kamaytirish elektr energiyasi sifatini yaxshilash, elektr mashinalarining ishonchliligi va xizmat muddatini oshirish hamda energiya samaradorligini ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Olib borilgan matematik va simulyatsion tahlillar asosida quyidagi amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.

### Chastota o'zgartirgich boshqaruvini optimallashtirish

Yuqori garmoniklarning asosiy manbalaridan biri chastota o'zgartirgichdagi SHIM boshqaruv algoritmidir. Kommutatsiya chastotasini optimal tanlash yuqori tartibli garmoniklarning amplitudasini sezilarli darajada kamaytiradi. Juda past kommutatsiya chastotasi tok deformatsiyasini kuchaytirs, juda yuqori chastota esa kommutatsiya yo'qotishlarini oshiradi. Shu sababli kommutatsiya chastotasi motor quvvati va yuklama xususiyatlariga mos holda tanlanishi lozim.

Bundan tashqari, fazalarni siljirilgan SHIM, fazaviy simmetriyani yaxshilovchi yoki tasodifiy SHIM algoritmlaridan foydalanish tok spektrining keng diapazonga tarqalishiga va ayrim garmoniklarning kamayishiga olib keladi.

### Filtrlash vositalaridan foydalanish

Elektr yuritma tizimida passiv LC yoki LCL filtrlardan foydalanish inverter chiqishidagi yuqori chastotali garmoniklarni samarali susaytiradi. Bunday filtrlash usullari konstruktiv jihatdan sodda bo'lib, kichik va o'rta quvvatli elektr yuritmalarda keng qo'llaniladi.



Yuqori quvvatli va yuklamasi tez o'zgaruvchi tizimlarda esa faol (aktiv) filtrlardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Faol filtrlar real vaqt rejimida garmoniklarni aniqlab, ularga qarama-qarshi fazada kompensatsiya toklarini hosil qiladi. Bu usul yuklama o'zgarishlariga moslashuvchan bo'lib, THD ni sezilarli darajada kamaytiradi.

#### Yuklama rejimini barqarorlashtirish

Simulyatsiya natijalari shuni ko'rsatdiki, keskin va tez-tez o'zgaruvchi yuklama rejimlari THD ning ortishiga sabab bo'ladi. Shu bois texnologik jarayonlarda yuklama momentining keskin sakrashlarini cheklash, mexanik amortizatsiya elementlaridan foydalanish va tezlikni silliq rostlash algoritmlarini joriy etish tavsiya etiladi.

Agar texnologik jarayon imkon bersa, elektr yuritmani nominal yuklama yaqinida ishlatish THD ning minimal qiymatini ta'minlaydi va tizimning umumiy samaradorligini oshiradi.

#### Elektr yuritma parametrlarini to'g'ri tanlash

Motor quvvati, induktivliklari va qarshiliklarining yuklama xususiyatlariga mos tanlanishi garmoniklarning tokka ta'sirini kamaytiradi. Haddan tashqari katta quvvat zaxirasi bilan tanlangan motorlar yengil yuklama rejimida ishlaganda THD ning oshishiga olib kelishi mumkin.

Shuningdek, dvigatel va chastota o'zgartirgich o'rtasidagi moslikni ta'minlash, kabel uzunligini minimallashtirish va ekranlangan kabellardan foydalanish ham yuqori chastotali garmoniklarni kamaytirishga yordam beradi.

#### Monitoring va diagnostika tizimlarini joriy etish

Real vaqt rejimida tok va kuchlanishning garmonik tarkibini monitoring qilish THD ning xavfli darajada ortishini erta aniqlash imkonini beradi. Zamonaviy raqamli datchiklar va mikroprotsessorli boshqaruv tizimlari asosida qurilgan monitoring tizimlari yordamida boshqaruv algoritmlarini moslashtirish va profilaktik choralar ko'rish mumkin.



## XULOSA

Mazkur maqolada o'zgaruvchan yuklama sharoitida ishlovchi elektr yuritmalarda yuqori garmonikaviy buzilishlarning shakllanishi va ularning tok, elektromagnit moment hamda tezlik jarayonlariga ta'siri kompleks ravishda tadqiq etildi. O'rganish jarayonida elektr yuritmaning matematik modeli ishlab chiqilib, Matlab/Simulink muhitida real ekspluatatsiya sharoitlariga yaqin modellashtirish amalga oshirildi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, elektr yuritmalarda THD qiymati doimiy kattalik emas, balki yuklama darajasi, uning o'zgarish tezligi va xarakteriga bog'liq dinamik ko'rsatkich hisoblanadi. Ayniqsa, yuklamaning bosqichli, davriy va tasodifiy o'zgarishi tok spektrida qo'shimcha past va yuqori tartibli garmoniklarning paydo bo'lishiga olib keladi hamda THD ning sezilarli ortishiga sabab bo'ladi. Yengil yuklama rejimlarida asosiy garmonikning ulushi kamayib, nisbiy garmonik buzilish darajasi oshishi aniqlandi.

Matlab/Simulink modellashtirish natijalari asosida THD ni kamaytirish bo'yicha bir qator amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi. Jumladan, chastota o'zgartirgich boshqaruv algoritmlarini optimallashtirish, filtrlar qo'llash, yuklama rejimini silliqalashtirish va real vaqt monitoring tizimlarini joriy etish yuqori garmoniklarning salbiy ta'sirini sezilarli darajada kamaytirishi isbotlandi.

Olingan natijalar o'zgaruvchan yuklama sharoitida ishlovchi elektr yuritmalarni loyihalash va ekspluatatsiya qilishda energiya sifati ko'rsatkichlarini yaxshilash, elektr mashinalarining ishonchliligini oshirish hamda xizmat muddatini uzaytirishga xizmat qiladi. Tadqiqot natijalari sanoat elektr yuritmalarida garmonik buzilishlarni kamaytirishga qaratilgan keyingi ilmiy izlanishlar uchun asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.



## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Boldea I., Nasar S.A. *Electric Drives*. – Boca Raton: CRC Press, 2016.
2. Leonhard W. *Control of Electrical Drives*. – Berlin: Springer, 2001.
3. Mohan N., Undeland T.M., Robbins W.P. *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*. – New York: John Wiley & Sons, 2003.
4. Bose B.K. *Modern Power Electronics and AC Drives*. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.
5. Rashid M.H. *Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications*. – Pearson Education, 2014.
6. Krishnan R. *Electric Motor Drives: Modeling, Analysis, and Control*. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.
7. IEEE Std 519-2014. *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. – IEEE, 2014.
8. Yo'lchi Yusupovich Shoyimov, Komila Norqobil qizi Quدراتова, & Oqiljon Abdurashit o'g'li Shodiyev. (2023). KONVEYER QURILMASIDAGI TEZLIKNI ROSTLOVCHI RELE. *Journal of New Century Innovations*, 41(2), 45–51. Retrieved from <https://newjournal.org/index.php/new/article/view/9650>
9. .Oqiljon Abdurashit O'G'Li Shodiyev, Erali Nurali O'G'Li Abdukarimov, Iroda Abdulhakim Qizi Usmanaliyeva KARIYER EKSKAVATORI ELEKTR YURITGICHI TIZIMLARINI MODERNIZATSIYA QILISHNING SAMARADORLILIGI // Academic research in educational sciences. 2021. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kariyer-ekskavatori-elektr-yuritgichi-tizimlarini-modernizatsiya-qilishning-samaradorliligi>.
10. Jasur Tashpulatovich Uralov, Oqiljon Abdurshit o'g'li Shodiyev, & Komila Norqobil qizi Quدراتова. (2024). O'ZGARMAS TOK MOTORLARINING TEZLIK ROSTLASH USULLARI TAHLILI . *Journal of New Century*



- Innovations, 43(2), 39–41. Retrieved from  
<https://www.newjournal.org/index.php/new/article/view/10478>
11. Shodiyev, O. A., Yuldashev, E. U., Yuldasheva, M. A., & Jalolov, I. S. (2022). KONVEYER TRANSPORTINI ELEKTR YURITMASINI TESKARI ALOQALI DATCHIKLARI VOSITASIDA BOSHQARISH. Academic Research in Educational Sciences, 3(10), 660–664.  
<https://doi.org/>
12. Oqiljon Abdurashit o'g'li Shodiyev, Mohinur Abduhakim qizi Yuldasheva, Shoxrux Baxriddin o'g'li Xudayberdiyev, & Komila Norqobil qizi Qudratova. (2024). O'ZGARUVCHAN TOK DVIGATELLARINING TEZLIK ROSTLASH USULLARINING TAHLILI. *Journal of New Century Innovations*, 43(2), 35–38. Retrieved from  
<https://www.newjournal.org/index.php/new/article/view/10477>
13. Oqiljon Abdurashit O'G'Li Shodiyev, Elmurod Umaraliyevich Yuldashev, Jasurbek Tashpulatovich Uralov, Abbas Bahodir Ogli Nomonov KONVEYER TRANSPORTINING ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH USULLARI VA TEXNIK YECHIMLARINI ISHLAB CHIQISH // Academic research in educational sciences. 2023. №2. URL:  
<https://cyberleninka.ru/article/n/konveyer-transportining-energiya-samaradorligini-oshirish-usullari-va-texnik-yechimlarini-ishlab-chiqish>.
14. [Shodiyev Oqiljon Abdurashit o'gli](#), FILTR KOMPENSATSIYALOVCHI QURILMA (ФКУ) // YANGI O'ZBEKISTON, YANGI TADQIQOTLAR JURNALI Vol. 1 No. 3 (2024)  
<https://phoenixpublication.net/index.php/TTVAL/article/view/59>
15. qizi Qudratova K. N. et al. ZAMONAVIY SHAMOL GENERATORLARIDAN FOYDALANISHNING SAMARADORLIGI // Journal of new century innovations. – 2023. – T. 25. – №. 1. – C. 16-19.