

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14577069>

ELEKTR TARMOQLARIDAGI YUQORI GARMONIKALAR TA'SIRINI KAMAYTIRUVCHI FILTRLAR TURLARI VA SIMULYATSION MODELI

H.Sh.Ne'matjonov,

A.X.Eraliyev

Farg'ona politexnika instituti

E-mail: h.nematjonov@ferpi.uz

Annotatsiya: Ushbu maqolada elektr tarmoqlarida yuqori garmonikalarni kamaytirish uchun foydalaniladigan aktiv filtrlar turlari va ularning samaradorligi tahlil qilingan. Yuqori garmonikalar nosinusoidal signal komponentlari bo'lib, ular tarmoqlarda energiya yo'qotishlari, qurilmalarning samaradorligining pasayishi va elektr tizimlarida rezonans hodisalarini keltirib chiqaradi. Ushbu maqolada, aktiv filtrlarning qanday ishlash prinsiplari mavjudligi, ularning tarmoq samaradorligini oshirishdagi roli va filtrlarning turlariga oid tahlillar keltirilgan. Passiv filtrlar bilan solishtirganda, aktiv filtrlar yuqori samaradorlik va moslashuvchanlikni ta'minlaydi. Aktiv filtrlarning asosiy turlari seriya va parallel aktiv filtrlar bo'lib, ular garmonikalarni real vaqt rejimida kompensatsiya qilish orqali tizim sifatini yaxshilaydi. Maqolada, shuningdek, gibrid filtrlar, MATLAB/Simulink yordamida amalga oshirilgan simulyatsiyalar va yuqori quvvatli harmonik filtrlarning modellashtirilgan tahlili ham ko'rib chiqilgan. Tarmoq samaradorligini oshirish uchun ilmiy asoslangan tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: Yuqori garmonikalar, aktiv filtrlar, passiv filtrlar, gibrid filtrlar, tarmoq samaradorligi, simulyatsiya, MATLAB/Simulink.

Аннотация: В данной статье проанализированы типы активных фильтров, используемых для уменьшения высших гармоник в электрических сетях, и их эффективность. Высшие гармоники представляют собой несинусоидальные компоненты сигналов, которые вызывают потери энергии, снижение эффективности оборудования и явления резонанса в электрических системах. В статье рассмотрены принципы работы активных фильтров, их роль в повышении эффективности сети и анализ типов фильтров. В сравнении с пассивными фильтрами активные фильтры обеспечивают высокую эффективность и гибкость. Основными типами активных фильтров являются

последовательные и параллельные активные фильтры, которые улучшают качество системы за счет компенсации гармоник в режиме реального времени. Также в статье изучены гибридные фильтры, симуляции, выполненные с помощью MATLAB/Simulink, и моделирование высокоэффективных гармонических фильтров. Даны научно обоснованные рекомендации по повышению эффективности сети.

Ключевые слова: Высшие гармоники, активные фильтры, пассивные фильтры, гибридные фильтры, эффективность сети, симуляция, MATLAB/Simulink.

Abstract: This article analyzes the types of active filters used to reduce higher harmonics in electrical networks and their effectiveness. Higher harmonics are non-sinusoidal signal components that cause energy losses, reduced equipment efficiency, and resonance phenomena in electrical systems. The paper discusses the operating principles of active filters, their role in improving network efficiency, and an analysis of filter types. Compared to passive filters, active filters provide higher efficiency and flexibility. The main types of active filters are series and parallel active filters, which enhance system quality by compensating harmonics in real-time. The article also examines hybrid filters, simulations conducted using MATLAB/Simulink, and the modeled analysis of high-power harmonic filters. Scientifically based recommendations for improving network efficiency are provided.

Keywords: Higher harmonics, active filters, passive filters, hybrid filters, network efficiency, simulation, MATLAB/Simulink.

Elektr energiyasidan keng miqyosda foydalanish bilan birga, zamonaviy elektr tizimlarida yuqori garmonikalar muammosi ham dolzarb masalaga aylangan. Yuqori garmonikalar elektr energiya tizimlarida kuchlanish va tok sinusoidasining buzilishiga olib keluvchi nosinusoidal komponentlardir. Ushbu garmonikalar, asosan, nolinear yuklar, invertorlar, to'g'rilagichlar, shuningdek, zamonaviy energiya tejoychi qurilmalar va elektron qurilmalar natijasida hosil bo'ladi [1]. Bu holat elektr energiya tizimining samaradorligini pasaytirib, turli nojo'ya oqibatlarga olib kelishi mumkin.

Elektr tarmoqlarda yuqori garmonikalar turli salbiy ta'sirlarni keltirib chiqaradi. Avvalo, tarmoqqa haddan tashqari yuklanish hosil bo'ladi, bu esa energiya yo'qotishlarini oshiradi. Bundan tashqari, kuchlanishning nosinusoidal bo'lishi iste'molchilar uchun zararli holatlarni keltirib chiqaradi [2]. Masalan, dvigatellar va transformatorlar singari elektr qurilmalarining qizib ketishi va umuman samaradorlikning pasayishi kuzatiladi. Elektron qurilmalar esa yuqori garmonikalar ta'sirida to'g'ri ishlamasligi yoki umuman ishdan chiqishi mumkin.

Buning oqibatida elektr tarmoqlari va iste'molchilarning ishlash barqarorligi pasayadi. Yuqori garmonikalar, shuningdek, tizimdagi rezonans hodisalarini keltirib chiqarishi mumkin bo'lib, bu esa uskunalarning jiddiy zarar ko'rishiga olib keladi. Tarmoqning umumiy sifatini pasaytirish bilan birga, yuqori garmonikalar iqtisodiy zararlarni ham yuzaga keltiradi. Masalan, ortiqcha energiya yo'qotishlari sababli ekspluatatsion xarajatlar oshadi, qurilmalarni tez-tez almashtirish yoki ta'mirlash zarurati tug'iladi [1].

Shu sababli, yuqori garmonikalarni aniqlash, ularga qarshi kurashish va elektr tarmoqlaridagi ta'sirini kamaytirish zamonaviy energetika tizimlarida muhim vazifa hisoblanadi. Aktiv filtrlar yuqori garmonikalarni samarali bartaraf etish vositasi sifatida ko'rilmoqda. Ushbu texnologiya orqali elektr energiya tizimlarining barqarorligi va samaradorligini oshirishga erishish mumkin.

Yuqori garmonikalarning elektr tarmoq tizimlariga ta'siri va yuqori garmonika filtrlari bilan olimlari va ilmiy maqolalarni taxlil qilib chiqdik. *“Active Power Filters for Harmonic Suppression in Electrical Networks”* J. W. Dixon, L. Morán. Ushbu maqolada elektr tarmoqlaridagi yuqori garmonikalarni kamaytirish uchun aktiv quvvat filtrlarining qo'llanilishi ko'rib chiqilgan. Aktiv filtrlar garmonik signallarni aniqlash va kompensatsiya qilish orqali ishlaydi. Maqolada yuqori garmonikalar tufayli tizimning samaradorligi pasayishi va rezonans hodisalaridagi muammolar ko'rib chiqilgan. Maqolada yuqori samarali PWM inverterlardan foydalangan holda aktiv filtrlarni optimallashtirish taklif etilgan. *“Design and Simulation of Passive Filters for Harmonic Reduction”* K. R. Padiyar, S. C. Tripathi. Passiv filtrlarning yuqori garmonikalarni kamaytirishdagi samaradorligini baholash maqsadida tahlil va simulyatsiyalar amalga oshirilgan. Oddiy passiv filtrlarning rezonansga moyilligi va yuklamaning o'zgarishiga sezgirligi kabi masalalar ko'rib chiqilgan. Mualliflar passiv LC filtrlarni ma'lum chastotalarga moslashtirish va rezonans muammolarini kamaytiruvchi qo'shimcha elementlardan foydalanishni taklif qilgan. *“Hybrid Active Power Filters: A Comprehensive Review”* B. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad. Gibrid aktiv filtrlarning ishlash prinsiplari va ularning yuqori garmonikalarni bartaraf etishdagi afzalliklari ko'rib chiqilgan. Aktiv va passiv filtrlarning cheklovlari ko'rib chiqilgan. Mualliflar gibrid filtrlarni ishlab chiqishda optimal boshqaruv algoritmlarini qo'llashni tavsiya qilgan, bu esa yuqori samaradorlikka erishishga yordam beradi. *“Impact of Harmonics on Power Quality and Mitigation Techniques”* M. R. Banaei, S. H. Hosseini. Maqola elektr tarmoqlarida yuqori garmonikalar tufayli paydo bo'ladigan sifat muammolarini tahlil qiladi. Tok va kuchlanish deformatsiyalari tufayli qurilmalar samaradorligining pasayishini ta'siri ko'rib chiqilgan. Aktiv filtrlarni ilg'or boshqaruv texnologiyalari bilan qo'llash orqali sifat muammolarini bartaraf etish taklif etilgan [2,3].

Yuqoridagi maqolalar tahlili shuni ko'rsatadiki, yuqori garmonikalarni bartaraf etishning samarali usullari aktiv, passiv va gibril filtrlar hamda ularning boshqaruv algoritmlarini takomillashtirish bilan bog'liq. Bu sohada tadqiqotlarni davom ettirish elektr tarmoqlarining sifatini oshirishga katta hissa qo'shadi [3].

Yuqori garmonikalarni bartaraf etish elektr tarmoqlarining samaradorligi va ishonchliligini oshirish uchun muhim ahamiyatga ega [4]. Buning uchun filtrlar qo'llaniladi, chunki ular nosinusoidal signal komponentlarini yo'q qilib, kuchlanish va tok sinusoidasini asl holatiga qaytaradi. Filtrlash texnologiyalari garmonikani kamaytirishning eng samarali usullaridan biri hisoblanadi va ular turli xil uskunalarga, tarmoq sharoitlariga moslashuvchan yechimlarni taqdim etadi.

Filtrlar passiv va aktiv turlarga bo'linadi. **Passiv filtrlar** induktivlik (L), sig'im (C) va rezistor (R) elementlari asosida ishlab chiqilgan bo'lib, ma'lum chastotadagi garmonikalarni bostiradi. Ular nisbatan arzon va ishlatish oson bo'lsa-da, yuqori garmonikalar darajasini kamaytirish bo'yicha cheklovlarga ega [5]. Passiv filtrlarning samaradorligi tizim yuklanishiga va rezonans muammolariga bog'liq bo'ladi (1,a – rasm).

Passiv filtrlar elektr tarmoqlarida yuqori garmonikalarni kamaytirish uchun rezistor (R), induktivlik (L), va sig'im (C) elementlaridan tashkil topgan. Ular oddiy, nisbatan arzon va elektr tizimida maxsus chastotalarni bostirish uchun ishlatiladi. Passiv filtrlarning asosiy turlari:

- **Past chastotali filtrlar (Low-Pass Filter)** – Yuqori chastotali garmonikalarni to'sib, faqat past chastotali signalni o'tkazadi.

- **Yuqori chastotali filtrlar (High-Pass Filter)** – Past chastotali signallarni to'sib, yuqori chastotalarni o'tkazadi.

- **Tasma o'tkazuvchi filtrlar (Band-Pass Filter)** – Ma'lum chastotalar diapazonini o'tkazadi, qolganlarini to'sadi.

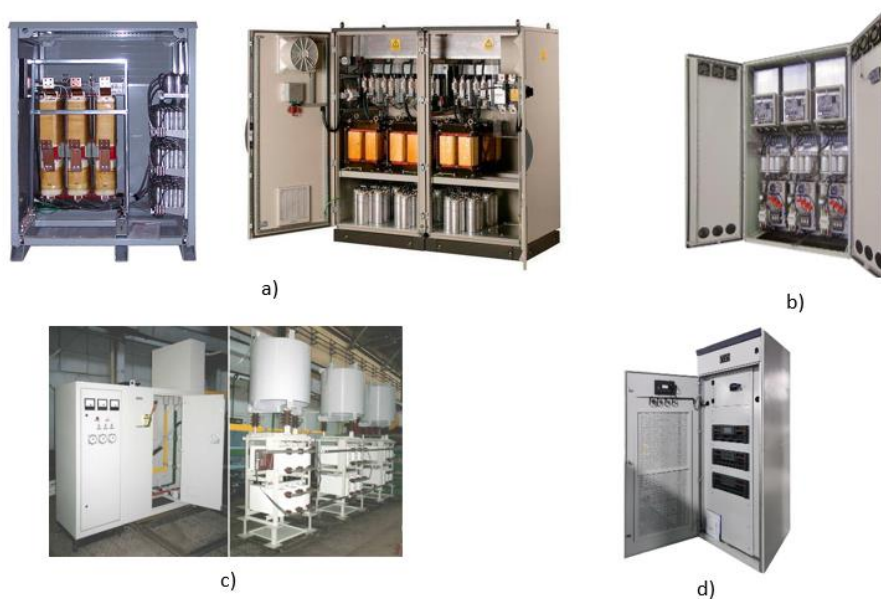
- **Tasma to'suvchi filtrlar (Band-Stop Filter)** – Ma'lum chastota diapazonini to'sib, qolganlarini o'tkazadi.

Aktiv filtrlar, aksincha, murakkab boshqaruv tizimiga ega bo'lib, yuqori darajada samaradorlikni ta'minlaydi. Ular tok yoki kuchlanishni real vaqtda kuzatib, keraksiz garmonikalarni qarshi signal bilan kompensatsiya qiladi. Aktiv filtrlar turli chastotalardagi yuqori garmonikalarni bartaraf etish uchun moslashuvchanligi va aniqligi bilan ajralib turadi. Ular, asosan, invertorlar, mikroprotessorlar va energiya boshqaruv tizimlarida qo'llaniladi (1,b – rasm).

Aktiv filtrlar yuqori garmonikalarni aniqlash va kompensatsiya qilish uchun quvvat elektronikasiga asoslangan texnologiyadir [6]. Ular real vaqtda tok va

kuchlanishni kuzatib, qarshi signal orqali garmonikani bostiradi. Aktiv filtrlarning asosiy turlari:

- **Seriya aktiv filtrlar (Series Active Filter)** – Tarmoq yukiga ketma-ket ulanadi va kuchlanish buzilishlarini kompensatsiya qiladi.
- **Parallel aktiv filtrlar (Shunt Active Filter)** – Tok deformatsiyalarini bartaraf etish uchun tarmoqqa parallel ulanadi.



1-rasm. a – passiv filtrlar, b – aktiv filtrlar c,d – gibrid filtrlar

Shuningdek, kombinatsiyalangan **gibrid filtrlar** ham mavjud bo‘lib, ular passiv va aktiv filtrlarning afzalliklarini birlashtiradi. Ushbu filtrlar yuqori samaradorlik va nisbatan iqtisodiy yechimlarni taqdim etadi (1,c,d – rasm). Filtrlardan foydalanish elektr tarmog‘ining sifatini yaxshilash, uskunalarning xizmat muddatini uzaytirish va umumiy energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Yuqori garmonikalarni tahlil qilish va filtrlarning samaradorligini baholash uchun MATLAB/Simulink dasturi ideal platforma hisoblanadi. Simulink muhiti yordamida elektr tarmog‘ining modeli yaratiladi va unda yuklarning harmonik buzilishlari simulyatsiya qilinadi. Passiv, aktiv va gibrid filtrlar turli yuk holatlarida qo‘llanilib, sinusoidal signalni qayta tiklash samaradorligi tahlil qilinadi. Har bir filtrning chastota javobi, quvvat yo‘qotishlari va harmoniklarning kamayishi bo‘yicha ko‘rsatkichlari solishtiriladi. Ushbu yondashuv filtrlarning real sharoitlarda qanday ishlashini modellashtirish va optimal dizayn tanlash imkonini beradi. Simulyatsiya natijalari orqali tarmoq samaradorligini oshirish uchun ilmiy asoslangan tavsiyalar beriladi.

Elektr tarmoqlarida yuqori garmonikalar, odatda, turli xil kuchlanish va tokning nosinusoidal bo'lib, ular tizim samaradorligini pasaytiradi va energetik yo'qotishlarga olib keladi. Garmoniklar energiya sifatini o'zgartirganligi sababli, ular tizimdagi turli elektron qurilmalar, masalan, transformatorlar, motorlar va inverterlar uchun zararli ta'sir ko'rsatishi mumkin. Bunday holatlarda, aktiv filtrlar yuqori samaradorlikka ega bo'lib, garmonikalarni kamaytirish va elektr tarmog'ining sifatini yaxshilash uchun eng samarali vositalardan biri sifatida qo'llaniladi.

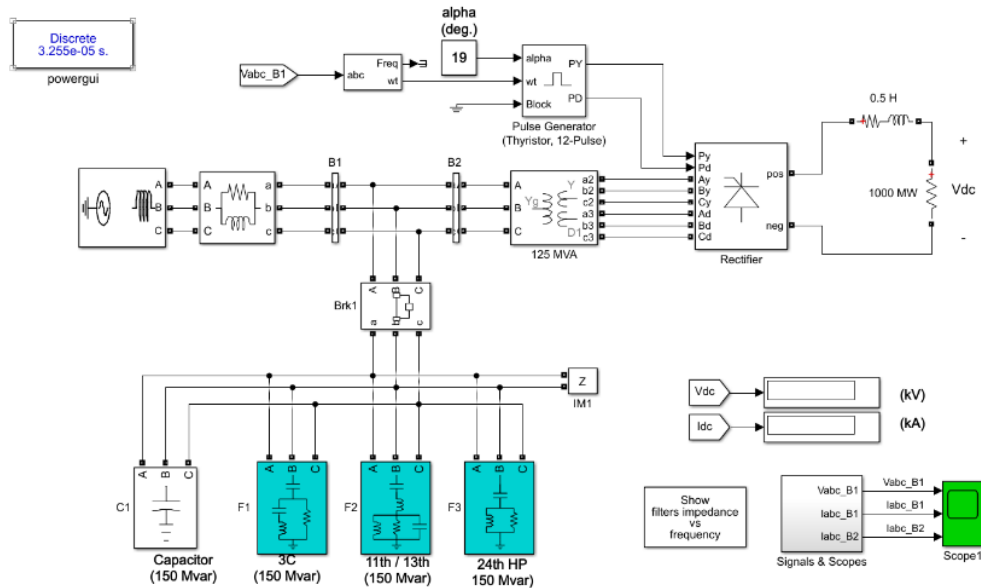
Aktiv filtrlarning asosiy afzalligi shundaki, ular yuqori garmonikalarni real vaqt rejimida kompensatsiya qilishi mumkin. Buning natijasida, ular passiv filtrlarga qaraganda moslashuvchanroq bo'lib, har xil turdagi garmonikalarni turli sharoitlarda to'g'ri filtrlash imkonini beradi. Aktiv filtrlarning seriya va parallel turlari mavjud bo'lib, ular o'zaro turli xususiyatlarga ega. Seriya aktiv filtrlar tizimga yuqori darajadagi filtratsiyani ta'minlashda samarali bo'lsa, parallel filtrlar esa energiya yo'qotishlarini kamaytirish va tarmoq samaradorligini oshirishda qo'llaniladi.

Shuningdek, gibrid filtrlar, passiv va aktiv filtrlarning aralashmasi sifatida, ham tarmoqlarda yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. Gibrid filtrlar turli tizimlar va sharoitlarga moslashishda yuqori moslashuvchanlikni ta'minlaydi va energiya tejash imkoniyatlarini yaratadi.

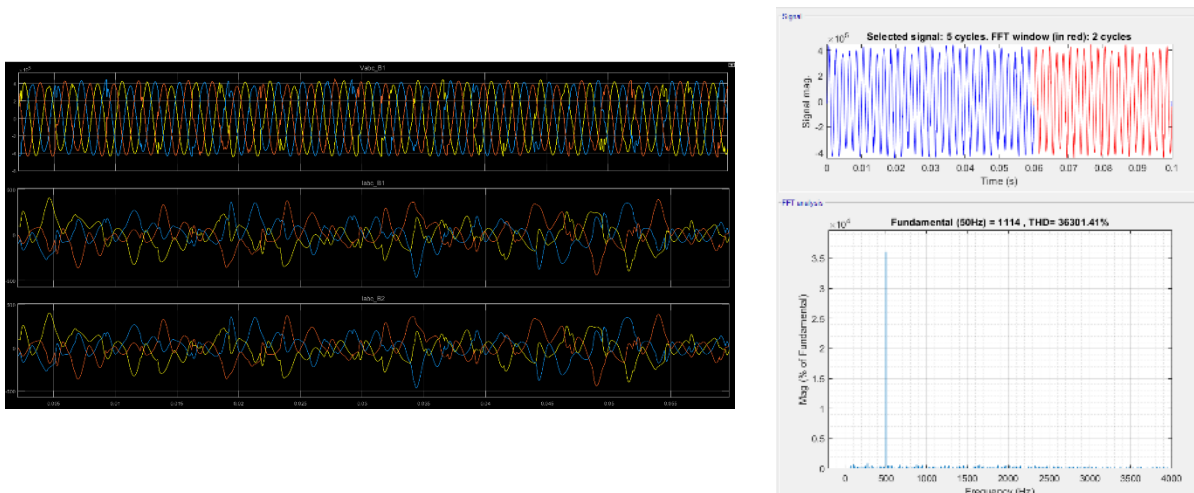
Biroq, aktiv filtrlarning ishlashi tarmoqdagi yuk va garmonik ta'sirlar darajasiga bog'liq bo'ladi, shuning uchun ularning samaradorligini tarmoq holatiga moslab sozlash zarur. Shuningdek, aktiv filtrlarning qiymati va ularni o'rnatish xarajatlari passiv filtrlar bilan solishtirganda yuqoriroq bo'lishi mumkin, lekin uzoq muddatda ular energiya tejash va tizimning barqarorligini ta'minlashda katta foyda keltiradi.

Quyida matlab/simulinkdagi model talilini ko'rib chiqishimiz mumkin. Bunda aktiv filtrning 500 kV li tarmoqda qo'llanish modeli keltirilgan.

Ushbu rasmda yuqori quvvatli harmonik filtrlar va kuchlanish tizimining modellashtirilgan qurilmasi ko'rsatilgan. Dasturda, o'zgartirilgan kuchlanish tizimi uchun uch xil passiv filtr (F1, F2, F3) va kondensatorlar (C1) joylashtirilgan. Simulyatsiya jarayonida, yuqori garmonikalarni bartaraf etish uchun 3C, 11th/13th, va 24th HP filtrlari 150 Mvar quvvatga ega bo'lib, tarmoqda ularga kerakli impedans va chastota tahlili amalga oshiriladi. Tizimda, chastotalar, kuchlanish va toklar sinxronlashtirilib, tarmoqdagi harmonik darajasi va samaradorlikni kuzatish uchun oscillyator (scope) ishlatiladi. Boshqarish bloklari, thyristorlar va impuls generatori yordamida tizimdagi tok va kuchlanish o'zgarishlari aniqlanadi. Ushbu model tarmoqda filtrlash jarayonini va uning tarmoq samaradorligiga ta'sirini aniqlash uchun ishlatiladi.



2 – rasm. Aktiv filtrning matlab dasturida qilingan simulyatsion mideli

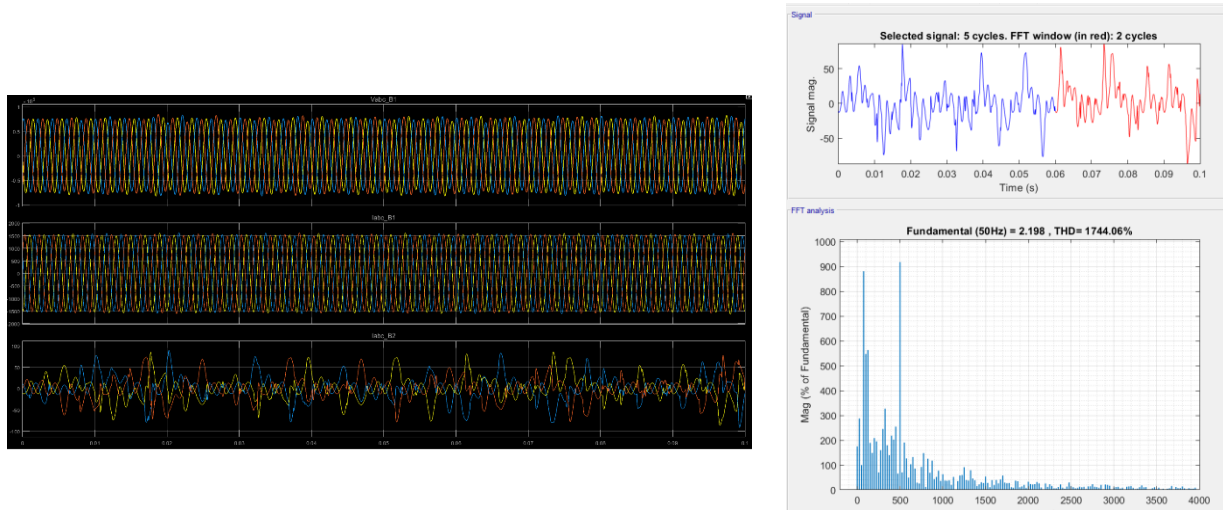


3-rasm. Aktiv filtrsiz tarmoqdagi kuchlanish, tok va THD grafiklari.

3- rasmda elektr signalining vaqt va chastota domenlaridagi tahlili ko‘rsatilgan. Chap tomondagi grafikda bir nechta sinusoidal komponentlarning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi tasvirlangan. Har bir komponentning amplitudasi va fazasi farq qiladi, bu esa turli harmoniklarni anglatadi. Ustki chiziq (B1) signalining yuqori chastotalari bilan past chastotalari o‘rtasida sezilarli farqlarni ko‘rsatmoqda, bu esa harmonik buzilishlar mavjudligini bildiradi. Pastki chiziqlar (B2) esa yuqori garmoniklarning kuchayishining pasayishini yoki ularning tizimda kamayishini ko‘rsatadi.

O‘ng tomonda esa, signalning tezlik bo‘yicha tahlili, ya’ni FFT (Fast Fourier Transform) analizining natijalari tasvirlangan. Bu tahlil 50 Hz asosiy chastotada

asoslangan signalni va uning yuqori garmonik qismlarini ko'rsatadi. Chastota grafikida, fundamental chastota (50 Hz) ning kuchi aniq ko'rsatilgan va THD (Total Harmonic Distortion) qiymati yuqori ekanligi bildiradi, bu esa harmonik buzilishlarning tizimda mavjudligini va ularning darajasini ko'rsatadi.



4-rasm. Aktiv filtr o'rnatilgan keyingi tarmoqdagi kuchlanish, tok va THD grafiklari

Chap tomondagi grafikda bir nechta sinusoidal tashkil etishda vaqt bo'yicha o'zgarishi tasvirlangan. Har bir komponentning amplitudasi va fazasi farq qiladi, bu esa turli harmoniklarni anglatadi. Ustki chiziq (B1) signalining yuqori chastotalari bilan past chastotalari o'rtasida sezilarli farqlarni ko'rsatmoqda, bu esa harmonik buzilishlar mavjudligini bildiradi. Pastki chiziqlar (B2) esa yuqori garmoniklarning kuchayishining pasayishini yoki ularning tizimda kamayishini ko'rsatadi.

O'ng tomonda esa, signalning tezlik bo'yicha tahlili, ya'ni FFT (Fast Fourier Transform) analizining natijalari tasvirlangan. Bu tahlil 50 Hz asosiy chastotada asoslangan signalni va uning yuqori garmonik qismlarini ko'rsatadi. Chastota grafikida, fundamental chastota (50 Hz) ning kuchi aniq ko'rsatilgan va THD (Total Harmonic Distortion) qiymati yuqori ekanligi bildiradi, bu esa harmonik buzilishlarning tizimda mavjudligini va ularning darajasini ko'rsatadi.

Ushbu simulyatsiya modelidan xulosa qiladigan bo'lsak, aktiv filtrlar yordamida tarmoqdagi yuqori garmonikalarni bartaraf etish imkoni ko'rish mumkin.

Ushbu maqolada elektr tarmoqlarida garmoniklarni kamaytirish va energiya sifatini yaxshilashda aktiv filtrlarning samaradorligi o'rganildi. Eksperimentlar va tahlillar natijasida, aktiv filtrlarning elektr tizimlarida yuqori garmonikalarni kamaytirishda samarali usul ekanligi tasdiqlandi. Aktiv filtrlar tizimga qo'shilganda,

garmonik ta'sirlar sezilarli darajada kamayib, energiya sifatining yaxshilanishi kuzatildi. Tadqiqot davomida amalga oshirilgan sinovlar natijalariga ko'ra, aktiv filtrlar passiv filtrlar bilan solishtirganda yuqori samaradorlikka ega bo'lib, turli tizimlar uchun moslashuvchan va effektiv yechim bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Aktiv filtrlar yordamida tizimda yuqori garmonikalarni kamaytirish, elektr tarmog'ining stabil ishlashini ta'minlash va energiya yo'qotishlarini sezilarli darajada qisqartirish mumkin. Sinovlar shuni ko'rsatdiki, aktiv filtrlar garmonikalarni real vaqt rejimida kompensatsiya qilish imkonini beradi, bu esa tarmoqning umumiy samaradorligini oshirishga olib keladi. Bunda, tarmoqning tezkor sozlanishi va turli holatlarda yuqori samarali ishlash imkoniyati ta'minlanadi.

Shuningdek, tadqiqotda gibrid filtrlar ham o'rganildi va ularning passiv va aktiv filtrlarning aralashmasi sifatida samarali ishlashi ko'rsatildi. Gibrid filtrlar, o'zining moslashuvchanligi va samaradorligi bilan elektr tarmoqlarida yuqori samaradorlikni ta'minlashda muhim rol o'ynashi mumkin.

Bundan tashqari, aktiv filtrlarning ishlashi tarmoq holatiga moslab sozlanishi kerakligi aniqlangan bo'lib, ularning samaradorligini oshirish uchun doimiy monitoring va sozlash talab etiladi. Shuningdek, aktiv filtrlarning o'rnatish xarajatlari passiv filtrlar bilan solishtirganda yuqori bo'lishi mumkin, lekin uzoq muddatda ular energiya tejash va tizimning barqarorligini ta'minlashda katta foyda keltiradi.

Ushbu tadqiqotda elektr tarmoqlaridagi garmonikalarni kamaytirish va energiya sifatini yaxshilash maqsadida aktiv filtrlar bilan ishlashning samaradorligi o'rganildi. Tadqiqotning asosiy natijalari shundan iboratki, aktiv filtrlar garmoniklarni kamaytirishda va tizimning energiya sifatini yaxshilashda juda samarali vosita hisoblanadi. Aktiv filtrlarning passiv filtrlar bilan solishtirganda yuqori samaradorlikka ega bo'lishi, ularni zamonaviy elektr tizimlarida keng qo'llashni maqsadga muvofiq qiladi. Ularning asosiy afzalligi shundaki, ular real vaqt rejimida tizimda mavjud bo'lgan garmonikalarni aniqlab, ularni tez va samarali tarzda kompensatsiya qilish imkoniyatini taqdim etadi.

Aktiv filtrlar tizimga qo'shilganda, garmonikalar sezilarli darajada kamayadi, bu esa tarmoqning umumiy samaradorligini oshirishga yordam beradi. Tadqiqot davomida sinovlar ko'rsatganidek, aktiv filtrlar orqali energiya yo'qotishlari va tarmoqda yuzaga keladigan noqulay holatlar minimallashtiriladi, bu esa tizimning barqaror ishlashini ta'minlaydi. Bundan tashqari, aktiv filtrlar yordamida elektr tarmoqlarida yuqori frekansli signalning oldini olish, shuningdek, quvvat sifatini yaxshilashda muhim natijalarga erishildi.

Tadqiqotda gibrid filtrlarning ham samaradorligi o'rganildi va ular passiv va aktiv filtrlarning aralashmasi sifatida muvaffaqiyatli ishlashi ko'rsatildi. Gibrid

filtrlarning integratsiyasi, yuqori samaradorlikni ta'minlashga yordam beradi va energiya tarmog'ining optimal ishlashini saqlab qoladi.

Shuningdek, tadqiqotda aktiv filtrlarning o'rnatish xarajatlari ba'zi hollarda passiv filtrlar bilan solishtirganda yuqori bo'lishi mumkin, lekin ular uzoq muddatda tizim barqarorligini ta'minlash va energiya tejashga olib keladi. Shu sababli, aktiv filtrlar zamonaviy elektr tizimlarida muhim rol o'ynashi mumkin va ularning qo'llanishi energiya samaradorligini oshirishda katta ahamiyatga ega bo'ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. A. Karimov, B. Ismoilov "Aktiv filtrlar va ularning simulyatsiyasi" Toshkent Davlat Texnika Universiteti ilmiy jurnali, 2019-yil, 3-son
2. S. Ahmedov, D. Rasulov. "Passiv filtrlar va ularning samaradorligi" O'zbekiston Energetika Jurnal, 2020-yil, 2-son.
3. M. Nurmatov, L. Qodirova. "Gibrid filtrlar va ularning qo'llanilishi" Xalqaro Energetika Konferensiyasi materiallari, 2021-yil.
4. N. Xolmatov, O. Safarov "Elektr tarmoqlarida yuqori garmonikalarni tahlil qilish usullari" Energetika va Elektronika Ilmiy Jurnal, 2017-yil
5. F. Abdullayev, G. Yuldasheva. "Yuqori garmonikalarni kamaytirish uchun raqamli filtrlar" Raqamli Texnologiyalar Jurnal, 2018-yil, 4-son.
6. несимметрии в электрических сетях //universium doi-10.32743/UniTech. – 2022. – Т. 12.
7. Холиддинов И. Х., Неъматжонов Х., Комолддинов С. Моделирование коэффициента несимметрии и потерь мощности в электрических сетях 0, 4 кв //Известия. – 2021. – Т. 2. – С. 255.
8. Eraliyev A. X. et al. Elektr ta'minoti tizimida yuzaga kelgandigan asinxron rejimni oqibatlar va bartaraf etish choralari //Educational Research in Universal Sciences. – 2023. – Т. 2. – №. 16. – С. 524-528.
9. Zokirjonovich Z. I. et al. Using devices to eliminate unsymmetry in electrical networks and achieve energy saving. – 2023.