

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 4, 2025 vol. 2

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 2, ISSUE 4

DECEMBER, 2025



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 2, ISSUE 4 DECEMBER, 2025

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

The “**Journal of Transport**” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Improving power quality using filtered compensation devices

J.N. Tolipov¹^a, Sh.I. Murtazov¹^b

¹Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Uzbekistan

Abstract: This article analyzes the challenges of ensuring power quality in modern power supply systems and the methods for mitigating these issues. In particular, it highlights the negative effects caused by higher-order harmonics generated by equipment with semiconductor converters, such as variable-frequency drives, uninterruptible power supplies, and other power electronic devices. These harmonics lead to voltage distortion, excessive losses in the electrical network, premature failure of equipment, and malfunction of automation systems. The paper examines technologies for harmonic compensation using passive, active, and hybrid filtered compensation devices. Although active filters offer high dynamic performance, flexibility, and efficiency, their high cost limits widespread application. Therefore, the article also discusses hybrid filters, which combine economic feasibility with technical effectiveness. In the conclusion, recommendations are provided for the development and implementation of comprehensive engineering methodologies aimed at improving power quality.

Keywords: power quality, higher-order harmonics, active filter, passive filter, hybrid filter, compensation devices

Filtrli kompensatsiya qurilmalari yordamida elektr energiyasi sifatini oshirish

Murtazov Sh.I.¹^a, Tolipov J.N.¹^b

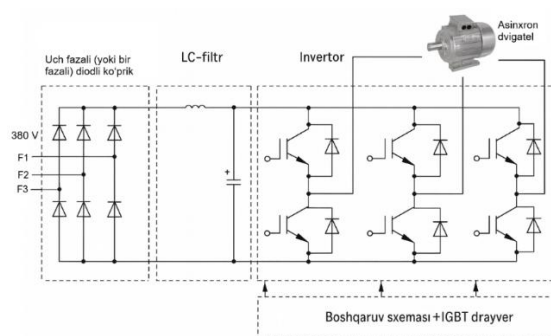
¹O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Energetika muammolari instituti, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada zamonaviy elektr ta'minoti tizimlarida elektr energiyasi sifatini ta'minlash muammolari va ularni bartaraf etish yo'llari tahlil qilingan. Xususan, chastotali boshqaruvga ega elektr yuritmalari, uzluksiz elektr ta'minoti manbalari va boshqa yarim o'tkazgichli o'zgartirgichlarga ega qurilmalar tomonidan yuqori tartibli garmonikalar hosil bo'lishi natijasida yuzaga keladigan salbiy oqibatlar yoritilgan. Bu garmonikalar elektr tarmoqlarida kuchlanish buzilishi, ortiqcha isroflar, uskunalarning muddatidan oldin ishdan chiqishi va avtomatika tizimlarining noto'g'ri ishlashiga sabab bo'ladi. Maqolada passiv, aktiv va gibrid filtrli kompensatsiya qurilmalari yordamida garmonikalarni kompensatsiya qilish texnologiyalari ko'rib chiqilgan. Aktiv filtrlarning yuqori dinamik xususiyatlari, moslashuvchanligi va samaradorligi ularni istiqbolli yechimga aylantirsada, ularning yuqori narxi keng qo'llanilishini cheklaydi. Shu sababli maqolada iqtisodiy samaradorlik va texnik imkoniyatlarni birlashtirgan gibrid filtrlar haqida ham fikr yuritiladi. Yakuniy qismda elektr energiyasi sifatini oshirish uchun kompleks muhandislik metodikalarini ishlab chiqish va joriy etish bo'yicha tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: elektr energiyasi sifati, yuqori tartibli garmonikalar, aktiv filtr, passiv filtr, gibrid filtr, kompensatsiya qurilmalari

1. Kirish

Hozirgi vaqtda elektr ta'minoti tizimlarida, jumladan, energiya manbalari quvvati iste'mol qilinayotgan quvvat bilan teng darajada bo'lgan avtonom elektr ta'minoti tizimlarida ham, elektr energiyasi sifati bo'yicha talab qilinadigan darajani ta'minlash muammosi tobora dolzarb bo'lib bormoqda. Bu holat, kuchli o'zgartirgich texnologiyasiga asoslangan elektr iste'molchilarining - turli mexanizmlar uchun chastotali boshqaruvga ega elektr yuritmalari (ChBEY), uzluksiz elektr ta'minoti manbalari (UETM), maxsus tok generatorlari kabi qurilmalarning soni oshib borayotgani bilan bog'liq.



1-rasm. Ikki bosqichli chastota o'zgartirgichli ChBEY (chastotali boshqaruvdagi elektr yuritma) sxemasi

^a <https://orcid.org/0009-0009-2520-8995>

^b <https://orcid.org/0009-0002-5095-0234>

Hozirgi vaqtda mazkur qurilmalar, odatda, ikki bosqichli sxema asosida quriladi. Bunda kirishdagi sinusoidal kuchlanish boshqarilmaydigan to'g'rilagich yordamida to'g'rilanadi, so'ngra inverter orqali zarur chastota va amplitudaga ega bo'lgan o'zgaruvchan kuchlanishga aylantiriladi.

Yarimo'tkazgichli o'zgartirgich klemmlariga sinusoidal kuchlanish uzatilganda, u tarmoqdan nocosoidal (ya'ni, harmonikalarga ega) tokni iste'mol qiladi.

Bu nocosoidal tok tarmoq elementlari orqali o'tganda, ushbu elementlarning qarshiliklarida kuchlanishning tushishiga olib keladi. Natijada, bu tushishlar asosiy sinusoidal kuchlanishga qo'shib, umumiy kuchlanish egri chizig'ining shaklini buzilishiga sabab bo'ladi [2-3].

2. Tadqiqot metodologiyasi

Elektr energiyasi sifatini buzuvchi yuqori tartibli harmonikalarni aniqlash, baholash va ularni kompensatsiya qilish bo'yicha tadqiqotlar quyidagi metodik yondashuvlar asosida olib borildi. Birinchi bosqichda tarmoqda mavjud bo'lgan nochiqli yuklamalar (masalan, 6-impulsi to'g'rilagichlar, inverterlar, UPS tizimlari) aniqlanadi. Ushbu qurilmalar tomonidan tarmoqqa kiritilayotgan tokning harmonik tarkibi hisobga olinadi. Baholashda quyidagi parametrlar aniqlanadi:

- Yuklama turi va quvvati;
- Quvvat manbaining qarshilik xususiyatlari (ichki impedans);
- Transformatorning quvvati va ulanish sxemasi.

Tadqiqot metodikasi doirasida ishlab chiqilgan kompensatsiya qurilmalari sanoat tarmoqlarida (masalan, paxta to'qimachilik klasteri, metallurgiya zavodi) uchun modelashirildi. Olingan natijalar asosida elektr energiyasi sifatini saqlashga oid tavsiyalar ishlab chiqildi.

3. Natijalar

Matematikada ma'lum bo'lgan usullarga (funktsiyani Furje qatoriga yoyish) muvofiq, nocosoidal tok har biri asosiy chastotaga karrali bo'lgan o'ziga xos chastotaga ega sinusoidal toklarning yig'indisi sifatida ifodalanishi mumkin. Bunday tarkibiy qismlar yuqori tartibli harmonika (YTG) komponentlari deb ataladi.

Shu holda, iste'mol qilinayotgan tok quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I \sin(n\omega t + \psi_n)_{mn} \quad (1)$$

bunda $I \sin(n\omega t + \psi_n)_{mn}$ - n-tartibli harmonika yoki harmonika tarkibiy qismlari, ularning har biri I_{mn} amplitudaga va ψ_n boshlang'ich fazaga ega bo'ladi.

$n = 1$ bo'lgan harmonika, ya'ni chastotasi tarmoqning asosiy chastotasiga mos keladigan komponent, birinchi yoki asosiy harmonika deb ataladi. Qolgan barcha harmonika komponentlari esa yuqori tartibli harmonikalar deb yuritiladi.

Bunday holatda, ta'minlovchi tarmoq kuchlanishining funksiyasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$u(t) = \sum_{n=1}^{\infty} U \sin(n\omega t + \psi_n)_{mn} \quad (2)$$

Tarmoqdan iste'mol qilinayotgan tokning harmonik tarkibi to'g'rilagich sxemasining pulsatsiya soniga bog'liq. Unda mavjud bo'lgan harmonikalar qatori quyidagi qonuniyatga bo'ysunadi:

$$n = km \pm 1,$$

bunda n - tok egri chizig'idagi harmonikaning tartib raqami, m - to'g'rilagich sxemasining pulsatsiya (impuls) soni, k - natural sonlar ketma-ketligining elementi.

Kuchlanish egri chizig'ining buzilish darajasini miqdoriy baholash uchun quyidagi koeffitsiyentlar qo'llaniladi:

Kuchlanishning n-tartibli harmonika tarkibiy qismining koeffitsiyenti $K_{U(n)}$, bu ko'rsatkich kuchlanishning asosiy (birinchi) harmonika tarkibiy qismining qiymati U_1 ga nisbatan foizlarda ifodalanadi va odatda 40-tartibgacha bo'lgan harmonikalar uchun hisoblanadi

$$K_{U(n)} = 100 \cdot \frac{U_{(n)}}{U_1}, \% \quad (3)$$

Kuchlanishning umumiy harmonika tarkibiy qismlarining koeffitsiyenti (K_U) bu 40-tartibgacha bo'lgan barcha harmonika tarkibiy qismlarining o'rtacha kvadratik qiymatlari yig'indisining, asosiy (birinchi) harmonika tarkibiy qismining o'rtacha kvadratik qiymatiga nisbati sifatida aniqlanadi. Bu koeffitsiyent kuchlanish egri chizig'ining umumiy harmonika buzilish darajasini tavsiflaydi

$$K_U = 100 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}{U_1^2}}, \% \quad (4)$$

bunda $U_{(n)}$ - kuchlanishning n-tartibli harmonika tarkibiy qismining o'rtacha kvadratik qiymati, V, kV;

n - kuchlanishning harmonika tarkibiy qismining tartib raqami;

N - hisobga olinayotgan oxirgi (eng yuqori) harmonika tartibi.

Kuchlanish va tok tarkibida yuqori tartibli harmonikalar mavjudligi bir qator noxush oqibatlariga olib keladi: elektr mashinalari, transformatorlar va elektr tarmoqlarida qo'shimcha isroflar yuzaga keladi; reaktiv quvvatni kondensator batareyalari yordamida kompensatsiya qilish qiyinlashadi; elektr mashinalari va apparatlarining izolyatsiya xizmat muddati qisqaradi; avtomatika, telemexanika va aloqa qurilmalarining ishlashi yomonlashadi [2-3].

Asinxron dvigatellarda tok va kuchlanishning yuqori tartibli harmonikalarining mavjudligi stator va rotor chulg'amlarida uyurma toklar hamda yuza effekti natijasida qo'shimcha isroflarga olib keladi. Bundan tashqari, statoridagi tok harmonikasi mos aylanish momentlarni hosil qiladi, bu esa dvigatelning ortiqcha vibratsiyasiga sabab bo'ladi.

Kuchlanish egri chizig'ining shakli buzilishi elektr mashinalari va transformatorlarning izolyatsiyasida sodir bo'ladigan ionlanish jarayonlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bu holat shundan iboratki, kuchlanish egri chizig'i shaklining buzilishi natijasida izolyatsiya ichidagi gaz qo'shilmalari (bo'shliqlari)ning ionlanishi ancha kuchayadi, bu esa izolyatsiyaning elektr mustahkamligini pasayishiga, dielektrik isroflarining oshishiga va natijada xizmat muddati qisqarishiga olib keladi.



Sinusoidal kuchlanish sharoitida va $K_U = 6...8,5\%$ bo'lgan holatda ishlayotgan kabel tizimlari bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki: ikkinchi holatda (ya'ni, garmonika buzilish koeffitsiyenti mavjud bo'lgan sharoitda) 2,5 yillik ekspluatatsiyadan so'ng teshilish toklarining o'rtacha qiymati birinchi holatga nisbatan 36% ga, 3,5 yildan so'ng esa 43% ga ortgan.

Kuchlanish egri chizig'ida yuqori tartibli garmonikalar (YTG) mavjud bo'lsa, bu holat kondensator dielektrigining eskirish jarayonini ham sezilarli darajada tezlashtiradi. Bundan tashqari, kondensator batareyalari (KB) davriy ravishda garmonik toklarning qandaydir chastotasidagi rezonans holatiga yaqin rejimda ishlashi mumkin. Bunday sharoitda kondensator orqali o'tadigan garmonika toki nominal qiymatlardan bir necha baravar ortib ketishi mumkin. Bu esa kondensatorlar shishishi yoki portlashiga olib keladi. Ushbu holat elektr tarmoqlarida reaktiv quvvatni kondensatorli qurilmalar yordamida kompensatsiya qilish imkoniyatlarini sezilarli darajada cheklaydi.

Yuqori tartibli garmonikalar, shuningdek, himoya tizimlarining ishdan chiqishiga, noto'g'ri yoki asossiz ishga tushishiga sabab bo'ladi, ularning ish faoliyatini buzadi, texnik ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi va xizmat muddatini qisqartiradi. Natijada tok va kuchlanish bo'yicha sozlangan ishga tushish (ustavka) parametrlarining aniq ishlashi buziladi. Ayniqsa, raqamli elementlar asosida qurilgan himoya tizimlari garmoniklarga nisbatan juda sezuvchandir.

Shuningdek, avtonom energiya manbalaridagi sinxron generatorlarning avtomatik uyg'otish boshqaruv tizimlari, avtomatik sinxronlashtirish va reaktiv quvvatni taqsimlash tizimlari ham yuqori tartibli garmonikalar ta'siriga juda sezgir bo'lib, ular hozirda ko'plab hollarda mikrokontrollerlar va raqamli elementlar asosida ishlab chiqilmoqda.

Tok va kuchlanishning yuqori tartibli garmonikalari telemechanika qurilmalarining ishlashida uzilishlarga olib kelishi mumkin, ayniqsa dispatcherlik va nazorat punktlari o'rtasidagi aloqa kanallari sifatida elektr uzatish liniyalari ishlatilganda.

Yuqori darajadagi garmonikalarning salbiy ta'siriga o'zgartirgichlarning o'zi ham duchor bo'ladi. Bunday ta'sir, asosan, katta quvvatli ventillarni kommutatsiyalash (ulab o'chirish) sharoitlarining yomonlashuvi, boshqaruv tizimidagi nosozliklar va doimiy tok tomonida pulsatsiyalar darajasining oshishi kabi holatlarda namoyon bo'ladi.

Iste'mol qilinayotgan elektr energiyasi sifatiga radioelektron qurilmalar va tizimlar ham sezgir hisoblanadi. Ta'minlovchi kuchlanishdagi yuqori darajadagi garmonikalar har xil turdagi radioelektron qurilmalar ish faoliyatida nosozliklar yuzaga kelishiga sabab bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, tokning yuqori garmonik tarkibiy qismlari elektromagnit shovqinlarning yuzaga kelishiga olib kelishi mumkin.

Garmonika tashkil etuvchilari koeffitsiyentlari elektr energiyasi sifatining ko'rsatkichlari bo'lib, ularning chegaraviy qiymatlari me'yoriy hujjatlar bilan belgilanadi.

Garmonika tashkil etuvchilari koeffitsiyentlari davlat standart talablariga muvofiq aniqlanadi. Ushbu standartga ko'ra, 0,38 kV kuchlanishli tarmoqlarda kuchlanish garmonik tashkil etuvchilarining yig'indi koeffitsiyenti K_U quyidagi chegaralardan oshmasligi lozim:

– bir haftalik interval davomida 95 % vaqt mobaynida - 8 % dan,

– bir haftalik interval davomida 100 % vaqt mobaynida - 12 % dan.

Bu talablar elektr energiyasi sifatini saqlash va iste'molchilarning elektr uskunalari ishonchli ishlashini ta'minlash maqsadida belgilangan.

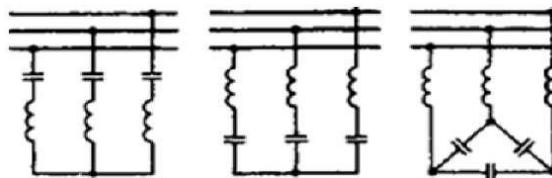
Mavjud baholash vositalari, ta'minlovchi tarmoqdagi nohiziqli yuklamaning elektr energiyasi sifatiga ta'sirini aniqlash imkonini beradi. Bunda nohiziqli yuklama turi, uning quvvati hamda quvvat manbai parametrlari asosida garmonik tarkibiy qismlar koeffitsiyentlarini hisoblash mumkin. Masalan, agar quvvat manbai cheklangan quvvatga ega bo'lsa va umumiy nohiziqli yuklama 6-impulsi to'g'rilagichlardan tashkil topgan bo'lib, unda tokning yuqori garmonik komponentalarini kompensatsiyalovchi hech qanday vosita mavjud bo'lmasa va bu yuklama transformator quvvatining 50 % ini tashkil etsa, unda kuchlanishdagi garmonik tarkibiy qismlar yig'indisi koeffitsiyenti K_U taxminan 15 % ga yetadi. Bu esa amaldagi me'yorlardan deyarli ikki baravar yuqori deganidir. Ushbu ma'lumotlar nohiziqli yuklamalar mavjud bo'lgan elektr tarmoqlarda yuqori darajadagi garmonikalarni kompensatsiyalash zaruratini yaqqol ko'rsatadi.

Nohiziqli buzilishlarni kompensatsiyalovchi maxsus vositalardan foydalanish holatlari, asosan, yirik sanoat korxonalarida (metallurgiya kombinatlari, selluloza-qog'oz kombinatlari, paxta to'qimachilik klasterlari) uchraydi. Bunday korxonalarda yuqori darajadagi garmonikalarni kamaytirish maqsadida, hisoblar yoki tabiiy (amaliy) o'lchovlar asosida passiv filtrlar o'rnatiladi. Ushbu filtrlar ketma-ket ulanadigan reaktorlar (induktivliklar) va kondensator batareyalari kombinatsiyasidan iborat bo'ladi. Filtrning yuqori tartibli garmonik toklariga bo'lgan qarshiligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$X_{\phi(n)} = n \cdot X_L - \frac{X_C}{n}, \% \quad (5)$$

bunda X_L , X_C - reaktor va kondensator batareyasining sanoat chastotasidagi tok uchun qarshiliklari.

Chastota oshgani sayin reaktoring induktiv qarshiligi ortadi, kondensator batareyasining sig'im qarshiligi esa garmonika tartib raqamiga teskari proporsional ravishda kamayadi. Garmonikalardan birining chastotasida reaktoring induktiv qarshiligi kondensator batareyasining sig'im qarshiligiga tenglashadi va natijada filtr zanjirida kuchlanish rezonansi yuzaga keladi. Bunday holatda, rezonans chastotasidagi tok uchun filtrning umumiy qarshiligi nolga teng bo'ladi va u elektr tizimni aynan shu chastotada shuntlaydi, ya'ni o'ziga tortadi. Shu sababli bu chastotadagi garmonik toklar tarmoqqa tarqalmay, filtr orqali yo'naltiriladi. Umuman olganda, har bir alohida garmonikani samarali bostirish uchun uning chastotasiga mos alohida filtr zarur bo'ladi.



2-rasm. Filtrli kompensatsiya qurilmalarining (FKQ) soddalashtirilgan sxemalari

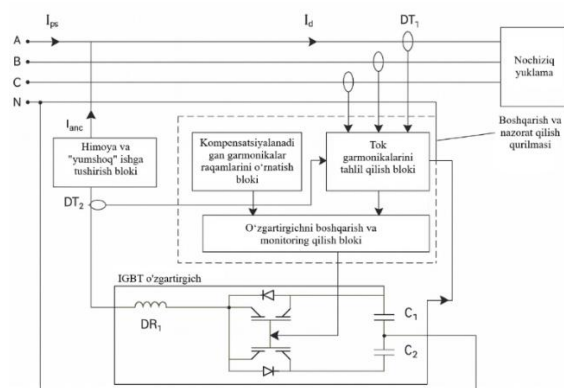
Filtrning asosiy (sanoat) chastotadagi qarshiligi sig'im xarakterga ega bo'ladi. Bunday qurilmalar yuqori tartibli garmonikalarni kamaytirish bilan birga reaktiv quvvat hosil

qilish funksiyasini ham bajaradi. Shu sababli ular filtrli kompensatsiya qurilmalari (FKQ) deb ataladi. FKQ ning mumkin bo'lgan sxematik variantlari 2-rasmda keltirilgan.

Filtrli kompensatsiya qurilmalaridan (FKQ) foydalanish ularning bir qator muhim kamchiliklarini aniqlashga olib keldi. Birinchidan, bunday qurilmalar yuqori o'rnatilgan quvvatga ega bo'lishi, shuningdek, bir nechta garmonikani bostirish uchun alohida FKQ talab qilinishi ularning ishonchligini pasaytiradi, qisqa tutashuv toklarining qiymatini oshiradi va butun tizimning gabarit o'lchamlarini kattalashtiradi. Ikkinchidan, FKQ lar sozlash aniqligiga juda sezgir bo'ladi, ya'ni tizim parametrlari o'zgarishi natijasida filtrlar samarasiz bo'lishi mumkin. Uchinchidan, rezonansli filtrlar faqat ma'lum bir chastotaga (asosiy tarmoq chastotasining butun sonli ko'paytmasiga) sozlanadi, holbuki real ish rejimlarida bu chastota o'zgarib turadi, bu esa filtrning samaradorligini pasaytiradi.

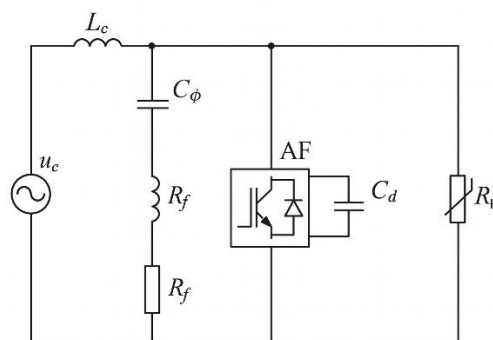
Shu sababli, so'nggi yillarda yuqorida keltirilgan kamchiliklarni bartaraf etishga qaratilgan intensiv izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada eng istiqbolli yo'nalishlardan biri aktiv garmonik filtrlardan foydalanish hisoblanadi [2-4].

Aktiv filtr (AF) bu tok manbai bo'lib, u yuklamaning birinchi garmonikasi bo'yicha reaktiv toki hamda yuqori garmonikalar (YG) ning yig'indi tokidan iborat bo'ladi. AF ning quvvat qismida kuchlanish inverteri qo'llaniladi, uning doimiy tok tomoniga energiya akkumulyatori sifatida xizmat qiluvchi kondensator ulanadi (3-rasmga). Ushbu inverter orqali aktiv filtr yuklamadan kelayotgan zararli garmonikalarni aniqlaydi va ularga qarshi faza bo'yicha qarama-qarshi tokni generatsiyalab, ularni tarmoqdan bostiradi.



3-rasm. Aktiv filtrning (AF) struktura sxemasi

Boshqaruv qurilmasi kompensatsiya nuqtasida (ya'ni aktiv filtrning tarmoqqa ulanadigan nuqtasida) kuchlanish va tok signallarini o'lchaydi, nochiziqli yuklama tomonidan kiritilayotgan buzilish tokini hisoblab chiqaradi, foydalanuvchi tomonidan belgilangan talablarga muvofiq filtr kompensatsiya tokining umumiy qiymatini aniqlaydi va invertorning quvvat kalitlari uchun boshqaruv impulslarini shakllantiradi. Ko'rib chiqilayotgan ushbu sxemada birinchi garmonikaga tegishli reaktiv quvvat va filtrlanayotgan garmonikalar buzilish quvvati o'rtasida ikki yo'nalishli almashuv mavjud bo'lib, bu filtr va tarmoq o'rtasida amalga oshadi. Natijada, barqarorlashgan rejimda ushbu energiya almashuvining o'rtacha qiymati nolga teng bo'ladi. Bu esa aktiv filtrning samarali ishlashini va elektr energiyasi sifatini yuqori darajada saqlab qolishini ta'minlaydi.



4-rasm. Garmonik filtrning (GF) aktiv qismini parallel ulash sxemasi

Aktiv filtrlari (AF) passiv filtrlar bilan taqqoslaganda quyidagi afzalliklarga ega:

- Yuqori dinamik xususiyatlar – sezgirlik vaqti 1 millisekunddan kam;
- 20 gacha bo'lgan garmonikani samarali filtrlay olish imkoniyati;
- To'rt simli ulanish sxemasi mavjud bo'lib, u uchinchi va unga karrali garmonikalarni neytral sim bo'yicha yo'qotish imkonini beradi;
- Eksploatatsiya rejimini tanlash imkoniyati – faqat yuqori garmonikalarni, yoki ham garmonikalarni, ham reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish;
- Kichik o'lchamlar – o'rnatish uchun kam joy talab etadi;
- Kam quvvat isroflari – yuklamaning nominal quvvatiga nisbatan 3 % dan kam;
- Boshqaruv tizimlariga ta'sir qiluvchi elektromagnit shovqinlarning yo'qligi;
- Ishlash rejimini oson va moslashuvchan sozlash imkoniyati;
- Ortiqcha yuklanish ehtimoli mavjud emas, ya'ni ortiqcha yuklamadan himoyalangan.

Ushbu afzalliklar aktiv filtrlarni zamonaviy elektr energiyasi sifati boshqaruv tizimlarida eng istiqbolli yechimlardan biriga aylantiradi [3-5].

Biroq aktiv filtrlarning yuqori narxi ularning keng qo'llanishini cheklaydi. Shu sababli, muqobil va muvozanatli (kompromissli) yechimlarni izlash zarurati yuzaga keldi. Ana shunday yechimlardan biri bu gibril filtrlardir (GF). Gibril filtrning ishlash prinsipi shundan iboratki, quvvat elektron qurilmasi passiv filtr zanjirlarida tok va kuchlanish shakllantirib, ularning chastotaviy xususiyatlarini o'zgartiradi va shu orqali filtrning umumiy samaradorligini oshiradi. Hozirgi vaqtda aktiv filtrlarni passiv filtrlarning parametrlarini boshqarish regulyatorining ijrochi organi sifatida qo'llashga asoslangan turli boshqaruv uslublari ishlab chiqilmoqda. Bunday yechimda aktiv qismining o'rnatilgan quvvati ancha kamayadi va u parallel ulangan to'liq aktiv filtr quvvatiga nisbatan bir necha barobar kichik bo'ladi. Bundan tashqari, filtr parametrlarini eksploatatsiya jarayonida avtomatik tarzda tuzatish (korreksiya qilish) imkoniyati ham yuzaga keladi, bu esa tizimni yanada moslashuvchan va barqaror qiladi. Amaliyotda esa aktiv va passiv qismlarning parallel ulanish sxemalari (4-rasm) eng keng tarqalgan hisoblanadi [4].



4. Xulosa

Shunday xulosa qilish mumkin: elektr ta'minoti tizimlarida elektr energiyasi sifatini yomonlashtiruvchi iste'molchilar ulushi ortib bormoqda. Shu bilan birga, elektr energiyasi sifatiga yuqori talab qo'yuvchi iste'molchilar soni ham ko'paymoqda, jumladan, hisoblash texnikasi, avtomatlashtirish vositalari va boshqa mikroprotessor asosidagi qurilmalar. Bu holat elektr energiyasi sifatini ta'minlovchi maxsus texnik vositalarni qo'llash zarurligini ko'rsatadi. Bunday qurilmalar zamonaviy talablar asosida quyidagi xususiyatlarga ega bo'lishi lozim: kompakt hajmli bo'lishi, yuqori dinamik xususiyatlarga ega bo'lishi (ya'ni yuklama o'zgarishlariga deyarli zudlik bilan javob qaytarishi), iqtisodiy jihatdan samarador, energiya tejamkor bo'lishi, ekspluatatsiya rejimini tanlash imkoniyatini taqdim etishi. Ushbu qurilmalarni amaliyotga joriy etish kompleks chora-tadbirlarni talab etadi, normativ-texnik hujjatlarni ishlab chiqishdan tortib, to ularni real ekspluatatsiyada qo'llashgacha. Shuningdek, quyidagi yo'nalishlarda muhandislik metodikalari ishlab chiqilishi zarur: ob'ektning ish rejimlarini hisobga olgan holda garmonik tarkibiy qismlarni baholash metodikasi; kompensatsiya vositalari turlari va ularning o'rnatiladigan quvvatlarini tanlash uslublari; kompensatsiya vositalarini joylashtirish nuqtalarini tanlash metodikalari. Bu metodikalar elektr energiyasi sifatini tizimli ravishda boshqarish imkonini beradi va iste'molchilarni barqaror, ishonchli energiya bilan ta'minlashga xizmat qiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Кобозев В.А., Лыгин И.В. Качество электроэнергии и энергоэффективность систем электроснабжения потребителей. Учебное пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2022. – 356 с.

[2] Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 4-е издание переработанное и дополненное. // Энергоатомиздат, М. 2000 г. – 331 с.

[3] Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. Руководство для практических расчетов. // ЭНАС, М. 2016 г. – 456 с.

[4] Розанов Ю. К., Рябичский М.В., Кваснюк А.А. Силовая электроника: учебник. - Москва: МЭИ, 2016. - 632 с.

[5] Янукович Г.И. Качество электрической энергии и способы его повышения: пособие. – Минск: БГАТУ, 2008. - 70 с.

[6] S.Mahamadjonov. "Work Of Asynchronous Generator In The Composition Of Mini-Ges In Autonomous Mode" The American Journal of Engineering and Technology The USA Journals Volume 03 Issue 02-2021.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot/ Information about the authors

Tolipov Jamshid Nurbekovich/ Jamshid Tolipov	O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Energetika muammolari instituti, katta ilmiy xodimi PhD, k.i.x. E-mail: tolipovjamshidn@gmail.com Tel.: +99893 565-22-08 https://orcid.org/0009-0009-2520-8995
Murtazov Sherzod Isakbayevich/ Sherzod Murtazov	O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Energetika muammolari instituti, mustaqil izlanuvchisi. E-mail: shermurtazov@gmail.com Tel.: +99893 555-10-24 https://orcid.org/0009-0002-5095-0234



- S. Razzakov, A. Martazaev, I. Egamberdiev, A. Akhmedov**
Strength calculation of reinforced concrete beam reinforced with glass fibers.....133
- O. Kopytenkova, L. Levanchuk, Z. Tursunov**
Modern methodological approaches to assessing health risks of the working population.....139
- O. Kopytenkova, L. Levanchuk, Z. Tursunov**
Methodological approaches to organizing control of acoustic load from railway transport.....144
- Z. Mirzaeva, Sh. Temirova**
Promising directions for the development of automation of geodetic survey in the construction of the metropoliten.....147
- E. Khidirov**
Determination of the reliability of rolling stock derailment control devices.....152
- J. Tolipov, A. Saidov, S. Makhamadjonov**
Operating modes and control challenges of microgrids based on distributed generation.....156
- J. Tolipov, Sh. Murtazov**
Improving power quality using filtered compensation devices.....160