



ELEKTR TA'MINOTI TIZIMIDA FILTR KOMPENSATSIYA QURILMALARI YORDAMIDA ELEKTR ENERGIYASI SIFAT KO'RSATKICHLARINI OSHIRISHNING TIZIMLI TAHLILI

Akram Tovboyev ¹[0000-0003-2677-6977], **Islom Tog'ayev** ²[0000-0002-4481-874X],
Sardor Norbayev ³[0009-0001-2873-804],

¹*Candidate of technical science, Navoi State Mining and Technology University,
Email: tovboyev70@mail.ru*

^{2,3}*Assistant, Navoi State Mining and Technology University, Email: sardor_ng@mail.ru*

Annotatsiya. Ushbu maqolada reaktiv quvvat kompensatsiyasining elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlariga ta'siri muhim mavzulardan biri bo'lib, bu energetika tizimining samaradorligini oshirish va elektr energiyasidan tejamkor foydalanishga yordam berishi, elektr ta'minoti tizimi elementlari va reaktiv quvvat kompensatsiyasining roli, reaktiv quvvatni kompensatsiya qilishning muhimligi, reaktiv quvvatni kompensatsiya qilishning qo'llanilish sohalari, energetika qurilmalarining chiziqli bo'lmagan yuklamalari va elektr energiyasi sifati, yuqori garmonikalarning kelib chiqish sabablari va ularni kamaytirish kabi holat va jarayonlar keltirib o'tilgan.

Kalit so'zlar: Kompensatsiyalovchi qurilmalarning tuzilishi va parametrlarini ketma-ket tanlash, kondensatorlarning nominal quvvati, kompensatsiya usuli, reaktiv quvvat manbalari, markazlashgan kompensatsiya, avtomatik kompensatsiya, guruhli kompensatsiya, individual kompensatsiya, kompensatsiya tizimlari.

Аннотация. В данной статье Влияние компенсации реактивной мощности на показатели качества электроэнергии в этой статье является одной из важных тем, которая может способствовать повышению эффективности энергосистемы и более экономичному использованию электроэнергии, роль элементов системы электроснабжения и компенсации реактивной мощности, важность компенсации реактивной мощности, области применения компенсации реактивной мощности, нелинейные нагрузки энергетических установок и качество электроэнергии, перечислены такие состояния и процессы, как причины возникновения высоких гармоник и их редукция.

Ключевые слова: Последовательный выбор структуры и параметров компенсирующих устройств, номинальной мощности конденсаторов, метода компенсации, источников реактивного питания, централизованной компенсации, автоматической компенсации, групповой компенсации, индивидуальной компенсации, компенсационных систем.

Annotation. In this article, the impact of reactive power compensation on electricity quality indicators in this article is one of the important topics that can contribute to improving the efficiency of the power system and more economical use of electricity, the role of elements of the power supply system and reactive power compensation, the importance of reactive power compensation, applications of reactive power compensation, nonlinear loads of power plants and electricity quality, Such states and processes as the causes of high harmonics and their reduction are listed.

Key words: Sequential selection of the structure and parameters of compensating devices, the rated power of capacitors, compensation method, reactive power sources, centralized compensation, automatic compensation, group compensation, individual compensation, compensation systems.

Kirish

Sanoat elektr ta'minoti tizimlari yuqori garmonikalarning asosiy manbalarini, ularning elektr energiyasi sifati darajasiga ta'sirini va elektr jihozlari tarmoq elementlaridagi yo'qotishlarni tahlil qilish, shuningdek elektr energiyasi sifatini mahalliy va xalqaro me'yoriy-huquqiy hujjatlarda ko'rsatilgan normalariga yetkazish muhim ahamiyat kasb etadi [1]. Chiziqli bo'lmagan yuklamalarda kondensator qurilmalari bo'lgan turli xil tuzilmalarning sanoat elektr ta'minoti tizimlarida sinusoidal bo'lmagan rejimlarni



modellashtirish va tahlil qilish, rezonansli hodisalarning paydo bo'lishi, ular kuchlanishining sinusoidal emasligi, yuqori tok garmonikalarining amplitudalari, shuningdek tok darajasi nuqtai nazaridan elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlariga ta'sirini baholash uchun kondensatorlarning haddan tashqari yuklanishlarini modellashtirish zarur. Har xil turdagi va tuzilishdagi filtr kompensatsiya qurilmalarning parametrlari, xususiyatlari, boshqaruv usullari, qo'llanilish sohalari, afzalliklari va kamchiliklari, shuningdek aktiv qurilmalarga asoslangan ixtisoslashtirilgan qurilmalarni tizimli tahlil qilish keltiriladi. Ish rejimlarining imitatsiya modelini ishlab chiqish, elektr energiyasi sifatini yaxshilash, eng oqilona texnik yechimni tanlash uchun rezonans hodisalarida chiziqli va chiziqli bo'lmagan yuklamalarni o'rganish, kondensator qurilmalarining sanoat elektr ta'minoti tizimida ishlash samaradorligini baholash va har xil turdagi filtr kompensatsion qurilmalaridan foydalanish jarayonlari o'rganilib tahlil qilindi [2].

Asosiy qism

Mazkur maqolada aniqlangan va o'zaro bog'liqliklar, qonuniyatlar chiziqli bo'lmagan yuklama tokining yuqori garmonikalari va amplitudalarining o'zgarishi o'rganilib chiqilgan. Bunda kondensator qurilmalarining quvvati o'zgarganda kuchlanishning buzilish darajasi va rezonans paytida yuqori tok garmonikalarining haddan tashqari yuklanish koeffitsiyenti, shuningdek, ular asosida o'rganilgan cheklovlar va taxminlar texnik vositani yoki yechimni to'g'ri tanlash uchun murakkab sinusoidal bo'lmagan rejimlarni modellashtirish va tahlil qilish uchun nazariy asos ekanligi aniqlandi. Asosiy maqsad esa sanoat elektr ta'minoti tizimlarida elektr energiyasi sifatini oshirishdir. Aktiv filtrning chiqishiga o'rnatilgan aktiv sig'imli passiv filtr parametrlarining tok va kuchlanishning yuqori garmonikalarini kompensatsiya qilish samaradorligi darajasiga ta'sirini va chiziqli hamda nochiziqli yuklamalar, reaktiv quvvatni qoplash kondensator qurilmalari bilan elektr ta'minoti tizimlarida rezonans sharoitlari aks ettiruvchi qiymatlar qabul qilingan. Parallel aktiv filtrning chiqishiga o'rnatilgan passiv aktiv sig'imli filtrning xususiyati o'rganildi. Rezonansli chastotalar asosiy komponent va chiziqli bo'lmagan yuklama tomonidan yaratilgan kanonik garmonikalarining minimal tartibi orasidagi maydonga va reaktiv quvvat kompensatsiyasi kondensator qurilmasi mavjud bo'lganda, elektr energiyasining tegishli sifat darajasini ta'minlashga rezonans rejimlarda imkon beradi [3].

$THD_U(n)$ - ifoda bilan aniqlangan kuchlanishning garmonik tarkibiy qismlarining koeffitsiyentlari.

$$THD_U(n) = \frac{U_{(n)}}{U} \cdot 100\% \quad (1)$$

$THD_U(\%)$ -ifoda bilan aniqlangan kuchlanishning garmonik tarkibiy qismlarining umumiy koeffitsiyenti

$$THD_U(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}}{U_1} \cdot 100\% \quad (2)$$

Elektr tarmoqlarida yuqori tok garmonikalarining paydo bo'lishining, tok va kuchlanish egri chiziqlari buzilishining sababi chiziqli bo'lmagan volt-ampere xususiyatiga ega elektr energiyasi iste'molchilaridir. Tok va kuchlanishning n -garmonikasi uchun ifoda quyidagicha aniqlanadi.

$$i_{n(t)} = I_{n \max}(t) \sin(n\omega t + \varphi_n) \text{ va } u_{n(t)} = U_{n \max}(t) \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (3)$$

bu yerda $I_{n \max}$ va $U_{n \max}$ mos ravishda tok va kuchlanish garmonikasining amplitudasi. $\omega = 2\pi f$ –sanoat chastotasi, Hz, φ_n –boshlang'ich garmonika fazalari



$u(t) = U_{1max} \sin(\omega t + \varphi_1) + U_{2max} \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + U_{nmax} \sin(n\omega t + \varphi_n)$ (4)
Amaldagi kuchlanish qiymati uning oniy qiymatlari orqali ifodalanadi $u(t)$ ifoda bo'yicha aniqlanadi [4]:

$$U_d^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt \quad (5)$$

bu yerda $T = 2\pi$ – kuchlanish signal davri.

Agar $u(t)$ kuchlanish (5) ifodasiga almashtirilsa, u holda oraliq konversiyalarni o'tkazib yuborsak (1.10):

$$U_d = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} = \sqrt{U_1^2 + \sum_{k=1}^n U_k^2} \quad (6)$$

bu yerda U_1 –birinchi (asosiy) ning joriy qiymatlari; $U_2, \dots, U_n$ –kuchlanishning yuqori garmonikalari

Kuchlanishga o'xshash, bir lahzadagi tok qiymati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi.

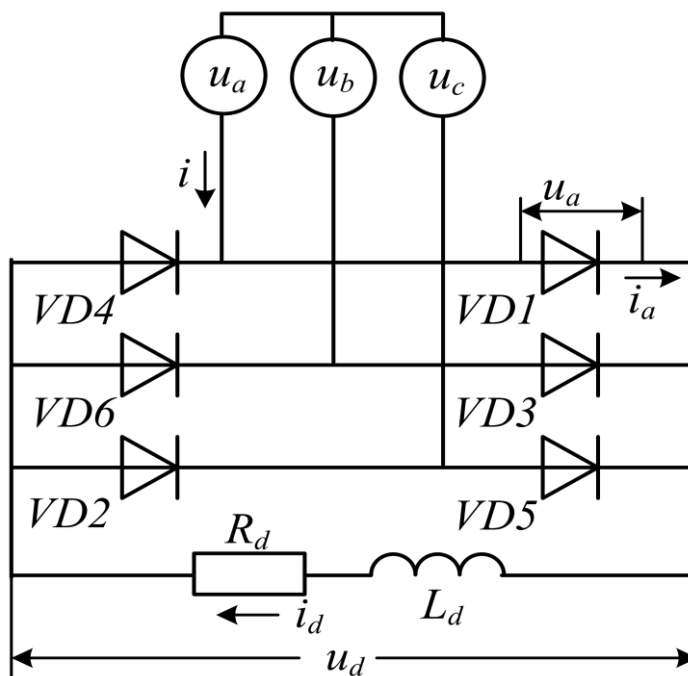
$$i(t) = I_{1max} \sin(\omega t + \varphi_1) + I_{2max} \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + I_{nmax} \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (7)$$

va sinusoidal bo'lmagan tokning haqiqiy qiymati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi.

$$I_d = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{k=1}^n I_k^2} \quad (8)$$

Ventilli to'g'rilagichlar sanoatda elektr yuritmalarni sozlashni, elektroliz qurilmalari, galvanik qurilmalar galvanik qurilmalar va boshqa elektr texnologiyalari qurilmalari, shuningdek elektrlashtirilgan temir yo'l transporti uchun keng qo'llaniladi. Ventilli to'g'rilagichlar 1-rasmda ko'rsatilgan uch fazali ko'priki to'g'rilash sxemasi eng ko'p qo'llaniladi.

- VD diodlari ideal volt-ampere xususiyatiga ega.
- O'zgarmas tok zanjirlarida tekislovchi induksiya $L_d = \infty$
- R_d -qarshilik qiymati bilan belgilanadigan to'g'irlangan tok i_d
- cheksiz quvvatning u_a, u_b va u_c kuchlanish manbai, bu i_d tokning bir lahzadan ikkinchisiga bir zumda o'tishiga olib keladi.



1-rasm. To'g'rilagichning uch fazali ko'priki sxemasi ko'rsatilgan.

Bir yarim to'lqinning o'tkazuvchanlik oralig'i 120° ga teng. Keyingi tok ifodasi quyidagi formula bilan aniqlanadi.

$$i = \frac{2\sqrt{3}i_d}{\pi} (\cos\omega t - \frac{1}{5}\cos 5\omega t + \frac{1}{7}\cos 7\omega t - \frac{1}{11}\cos 11\omega t + \dots) \quad (9)$$



To'g'rilagichning faza toki yuqori garmonikalarni o'z ichiga oladi. Ushbu kanonik garmonikalarning amplitudalari birinchi garmonikaning fraksiyalarida garmonik raqamlarga teskari proporsional ravishda aniqlanadi. Turli garmonikalarda rezonans rejimlari paydo bo'lib, 1-jadvalda rezonansni keltirib chiqaradigan kondensator batareyalarining quvvati keltirilgan.

1-jadval

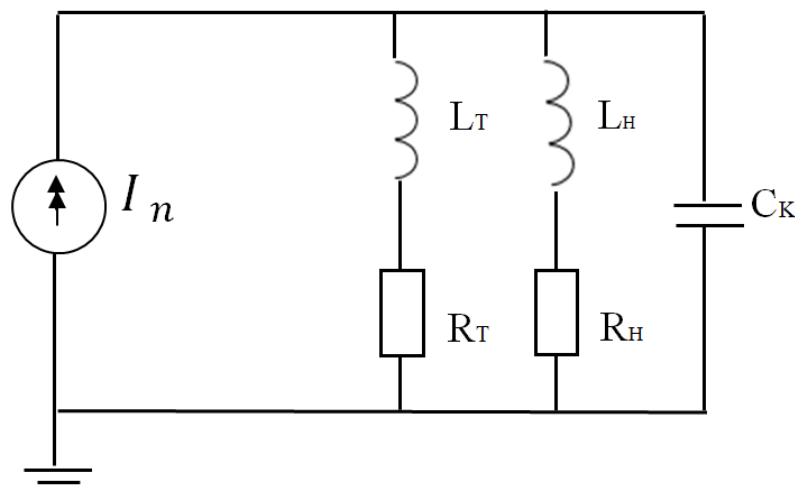
S_{Tnom}, kVA	$u_k\%$	n	5	7	11	13	17	19
250 va 400	4.5	Q_k^*	0.89	0.45	0.18	0.13	0.08	0.06
630 va 1000	5.5		0.73	0.37	0.15	0.11	0.06	0.05
1600 va 2500	6.0		0.67	0.34	0.14	0.10	0.06	0.05

Kondensator batareyasining tok fazasi Furrye qatoriga bo'linishi 2-jadvalda ko'rsatilgan.

2-jadval

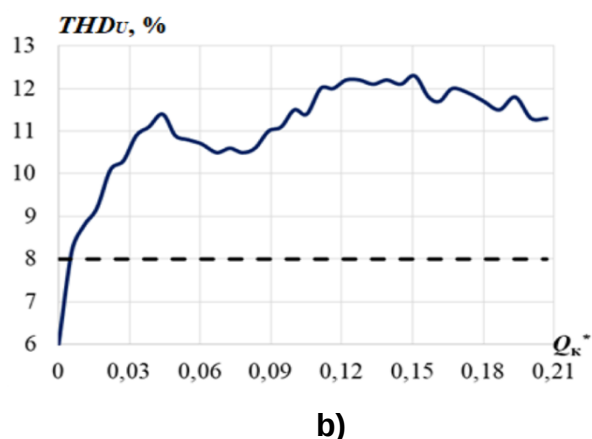
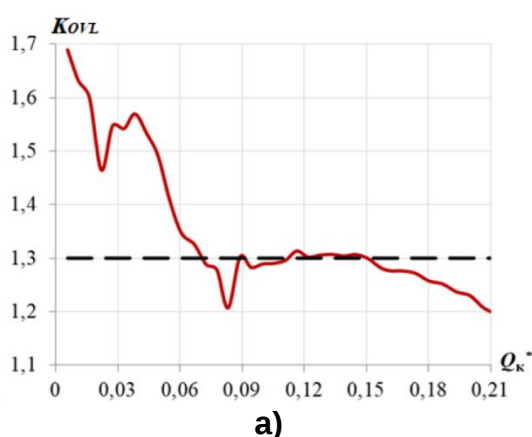
Rejimlar		11-garmonikadagi rezonansli rejimlar		7-11-garmoniklar rezonanslar orasidagi rejimlarda	
Tarmoq parametrlari		$P_d^*=0.3, S_n^*=0.4, Q_k^*=0.15$		$P_d^*=0.3, S_n^*=0.4, Q_k^*=0.25$	
n	Chastota, Hz	Tok garmonikalarining amplitudalari		Tok garmonikalarining amplitudalari	
		A	K	A	K
1	50	297.7	1	506.4	1
5	250	26.5	0.089	64.6	0.127
7	350	39.8	0.134	181.8	0.359
11	550	483.4	1.624	136.7	0.270
13	650	19.6	0.066	81.2	0.160
17	850	37.3	0.125	47.1	0.093
19	950	42.1	0.141	39.3	0.078
23	1150	47.3	0.159	29.8	0.059
25	1250	48.5	0.163	26.6	0.052
29	1450	49.3	0.165	21.9	0.043
31	1550	48.9	0.164	20.1	0.040
35	1750	47.0	0.158	17.2	0.034
37	1850	45.3	0.152	16.0	0.032
$I_{kb nom}, A$		217		361	
$I_{kb \Sigma}, A$		417		397	
$K_{ovl}, o.e$		1.92		1.7	

Shuni ta'kidlash kerakki, manbalarining aksariyat qismida, xususan [5], yuqori tok garmonikalarining tarqalishini o'rganish sanoat elektr ta'minoti tizimi 2-rasmda keltirilgan soddalashtirilgan bir fazali sxema bo'yicha amalga oshiriladi.



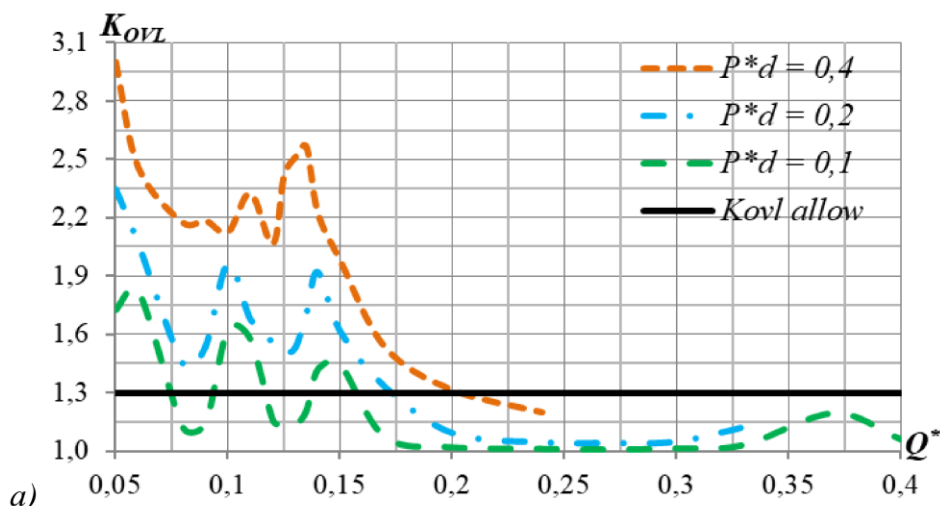
2-rasm. 10/0,4 kV kuchlanishli transformatorning elektr ta'minoti tizimini bir fazali almashtirish sxemasi.

Transformatorning yuqori darajadagi aktiv qarshiligi bilan fizik model ham kompyuter analogiga o'xshash natijalarni namoyish etadi. Bu imitatsiya modelining yetarliligini va uni sinusoidal bo'lmagan murakkab rejimlarni tahlil qilish uchun qo'llash imkoniyatini tasdiqlaydi.

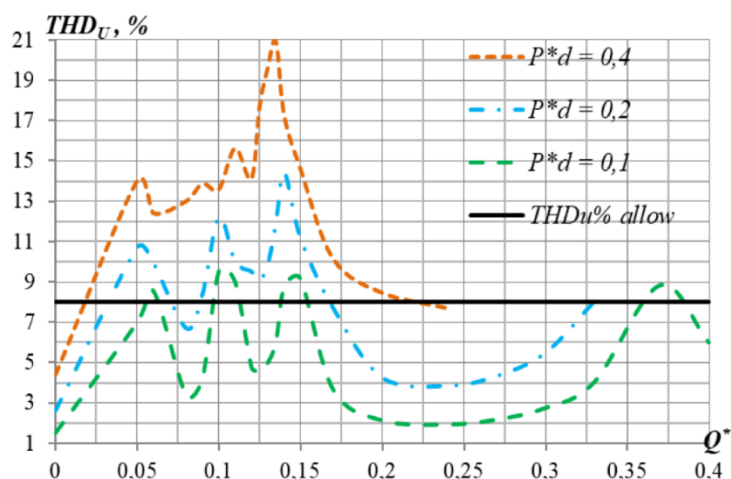


3-rasm. K_{ovl} (a) va kondensatorlarning joriy ortiqcha yuklama koeffitsiyentlarining bog'liqligi Q_k^* kondensatorlarni quvvatidan THD_U % (b) kuchlanish buzilishi.

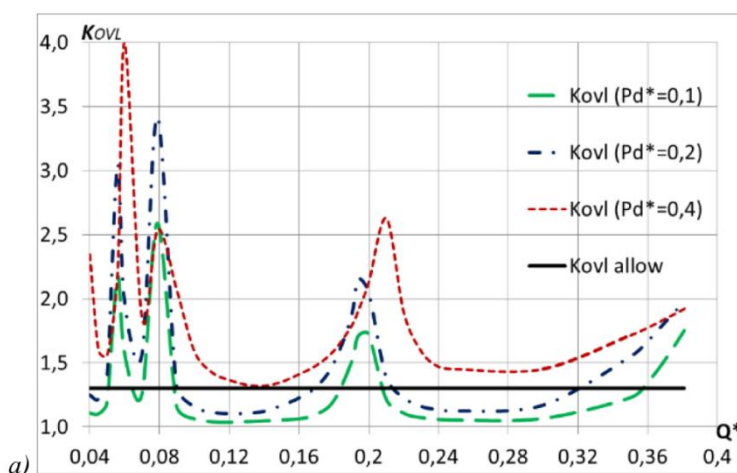
Shunday qilib, yuqoridagi ifodalar imitatsion modellashtirish usuli bilan haqiqiy sanoat elektr ta'minoti tizimlarining parametrlaridan foydalangan holda nosinusoidal rejimlar tahlilining nazariy asosi hisoblanadi [6]. Modellashtirishda elektr energiyasi sifatining darajasi kuchlanishning nosinusoidallik koeffitsienti THD_U yordamida baholandi, kondensatorlarning tok ortiqchaligi K_{ovl} ortiqchalilik koeffitsiyenti yordamida aniqlanadi. Bu koeffitsient kondensatorning haqiqiy toki uning nominal parametrlari bilan qanchalik ortiq ekanligini ko'rsatadi, tarmoq tokining yuqori garmonikalarining nisbiy qiymatlari chiziqli va chiziqli bo'lmagan yuklamalar va kondensator qurilmalari quvvatlarining o'zgarishi bilan aniqlandi. THD_U va K_{ovl} o'lchovlari bilan modellashtirish natijalari 4-5-rasmlarda keltirilgan.



4-rasm. K_{OVL} kondensatorlarning joriy ortiqcha yuklama koefitsiyentlarining bog'liqligi

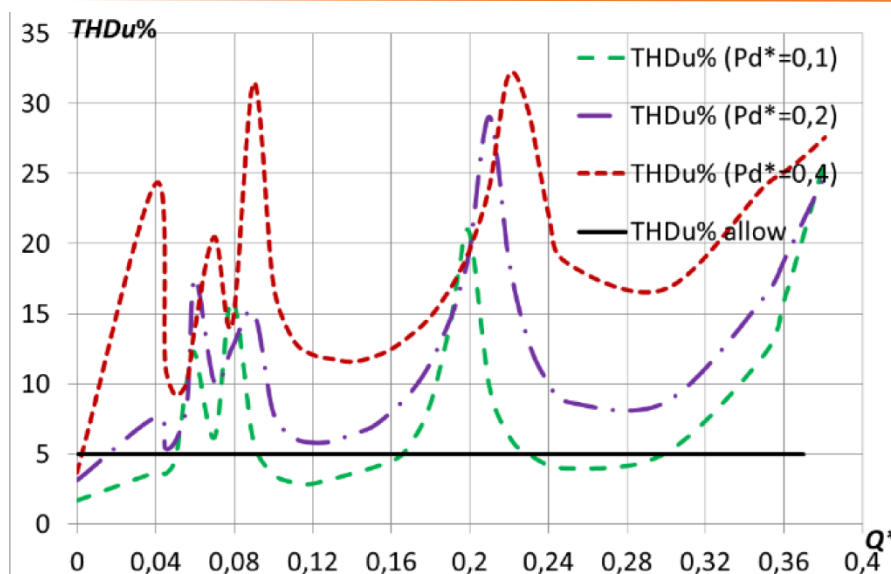


5-rasm. Q_k^* kondensatorlarni quvvatidan THD_U % (b) kuchlanish buzilishi.



6-rasm. Q_k^* kondensatorlarni quvvatidan K_{OVL} kuchlanish buzilishi.

10/0,4 kV S=1000 kVA transformator uchun modellashtirish natijalari ko'rsatilgan. Rezonansli rejimlarga erishiladigan Q_k^* kondensator batareyasining kuchi uchun (6) rasmning ishonchliligi tasdiqlandi.



7-rasm. Transformator quvvati 10000 kVA bo'lgan sxemasi uchun K_{ovl} va THDu ning Q_k^* kuchiga bog'liqligi

Aktiv filtrning chiqishi aktiv sig'imli filtri bilan ishlashining salbiy ta'siri darajasi rezonansli garmonika ortishi bilan kamayishi ko'rsatilgan bo'lib, uning passiv qismining parametrlaridan sozlangan qiymat: kompensatsiya samaradorligi bilan ta'minlovchi transformator va kondensator qurilmasi o'rtasida 11-garmonik rezonansda 30,1% va 44,7% ga teng bo'lgan yuqori kuchlanish va tok garmonikalari iste'mol qilinadigan tokni mos ravishda 10% ga va kuchlanish pasayishini 3,4% ga oshiradi.

Xulosa

Umuman olganda, aktiv qismning chiqishida passiv filtr parametrlarining o'zgarishidan yuqori tok va kuchlanish garmonikalari darajasining o'zgarishi qonuniyatlari gibril qurilma yordamida olingan bo'lib, filtr qarshiligining sig'imli qismining rezonans rejimlarida yuqori tok va kuchlanish garmonikalarini kompensatsiya qilish samaradorligiga sezilarli ta'sirini aks ettirishi, shuningdek, iste'mol qilinadigan o'sish darajasining joriy yuklama birligi keltirildi. Umumiy quvvat koeffitsiyenti va shunga o'xshash asosiy komponentdagi tok va kuchlanishning yuqori garmonikalari darajasining o'zgarish qonuniyatlari aniqlangan bo'lib, ko'proq muhim ta'sirni ko'rsatish gibril qurilmaning aktiv qismining chiqishidagi aktiv sig'imli filtr parametrlari chiziqli bo'lmagan yuklamaning umumiy quvvat koeffitsiyentini oshirish darajasiga bog'liq.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

- [1]. Ibadullayev M.I., Tovboyev A.N., Yesenbekov A.K., Nazarov A.I. Avtoparametrik tebranishlarni tahlil qilishda chastota-energiya munosabatlari // «O'zbekiston Konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali. – Navoiy, 2017. № 2. 165-167 betlar
- [2]. Tog'ayev I.B., Isoqulov D.SH., Turniyozov Z.A. Havo elektr uzatish liniyalarining holatini baholash bilan ularni monitoring qilish // Central Asian Research Journal For Interdisciplinary Studies (CARJIS) ISSN (online): 2181-2454 Volume 2 | Issue 5 | May, 2022.
- [3]. Tovboyev A.N., Ibadullayev M.I., Murodov H.Sh., Narzullayev B.Sh. Yuqori kuchlanishli elektr tarmoq va tizimlarida subgarmonik ferrerezonans. «Uzbekiston



konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali – Navoi 2020. №4 (83). 110-113 bet

[4]. Mavlonov J A., Mardonov D.Sh. “Rudani yanchuvchi tegirmonlarni elektr energiya samaradorligini oshirish usullari” // Konchilik xabarnomasi. Ilmiy texnik va ishlab chiqarish jurnali. – Navoiy, 2022. № 3.102-104 bet.

[5]. Tovboyev A.N., Baynazarov G.G., Jumayev Z.I. Bo'lingan ferromagnit elementga ega bo'lgan uch fazali zanjirlarda uchinchi darajali subarmonik tebranishlarni tahlil qilish. Ilm-fan, texnika va texnologiyalar bo'yicha ilg'or tadqiqotlar xalqaro jurnali. Hindiston, IJARSET mualliflik huquqi. Jild. 6,12-son, 2019 yil dekabr, 12229-12233-betlar.

[6]. Tovboyev A.N., Ibadullayev M.I., Murodov H.Sh., Narzullayev B.Sh. Yuqori kuchlanishli elektr tarmoq va tizimlarida subgarmonik ferreazonans. «Uzbekiston konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali – Navoi 2020. №4 (83). 110-113 bet