

## TOK BILAN BOSHQARILADIGAN VA GISTEREZISLI TOK ROSTLAGICHLI INVERTORLI CHASTOTA O‘ZGARTIRGICH

*F.F.Muzaffarov, G.U.Bafoyeva*

*Buxoro davlat texnika universiteti,  
“Elektr va energetika muhandisligi” kafedrasida dotsenti,  
[firdavsmuzaffarov11111@mail.ru](mailto:firdavsmuzaffarov11111@mail.ru)*

**Annotatsiya:** Mazkur maqolada chastota o‘zgartirgichli elektr yuritmalarda tokni boshqarishning samarali usullari, xususan, gisterezisli tok rostlagichli inverterlarning ishlash prinsiplari tadqiq etilgan. Tadqiqotda gisterezisli boshqarishning tizim dinamikasiga ta’siri, uning an’anaviy kenglik-impuls modulyatsiyasidan (KIM) afzalliklari va o‘ziga xos kamchiliklari tahlil qilingan. Shuningdek, tok xatoligini berilgan gisterezis diapazonida ushlab turish orqali yuqori aniqlikdagi tezkor boshqaruvga erishish imkoniyatlari ko‘rsatib o‘tilgan. Maqola yakunida gisterezisli rostlagichlarning energiya samaradorligi va elektromagnit moslashuvchanlik ko‘rsatkichlarini yaxshilash bo‘yicha tavsiyalar berilgan.

**Tayanch so‘zlar:** chastota o‘zgartirgich, inverter, gisterezisli tok rostlagichi, elektr yuritmalari, dinamik xarakteristika, garmonik buzilishlar, kommutatsiya chastotasi.

**Abstract:** This article studies effective methods of current control in frequency converter electric drives, in particular, the principles of operation of inverters with hysteresis current regulators. The study analyzes the effect of hysteresis control on system dynamics, its advantages and inherent disadvantages over traditional pulse-width modulation (PWM). It also shows the possibilities of achieving high-precision fast control by maintaining the current error within a given hysteresis range. At the end of the article, recommendations are given to improve the energy efficiency and electromagnetic compatibility of hysteresis regulators.

**Keywords:** frequency converter, inverter, hysteresis current regulator, electric drives, dynamic characteristics, harmonic distortion, switching frequency.

**Аннотация:** В данной статье исследуются эффективные методы регулирования тока в электроприводах с частотным преобразователем, в частности, принципы работы инверторов с гистерезисными регуляторами тока. Анализируется влияние гистерезисного управления на динамику системы, его преимущества и присущие ему недостатки по сравнению с традиционной широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Также показаны возможности достижения высокоточного быстрого управления путем поддержания ошибки тока в заданном диапазоне гистерезиса. В заключение статьи даются рекомендации по повышению энергоэффективности и электромагнитной совместимости гистерезисных регуляторов.

**Ключевые слова:** частотный преобразователь, инвертор, гистерезисный регулятор тока, электроприводы, динамические характеристики, гармонические искажения, частота переключения.

**Kirish.** Zamonaviy sanoat ishlab chiqarishining jadal rivojlanishi elektr yuritmalarning energiya samaradorligi va ishchi xarakteristikalarining aniqligiga bo'lgan talablarni kundan-kunga oshirmoqda. Ayniqsa, asinxron va sinxron motorlarni boshqarishda chastota o'zgartirgichlar (ChO') asosiy bo'g'in hisoblanadi.

Ushbu sohadagi eng muhim masalalardan biri — o'zgaruvchan tok mashinalarining dinamik xususiyatlarini yaxshilash va tarmoqqa qaytayotgan garmonik buzilishlarni kamaytirishdir. Mazkur muammolarni hal etishda tok bilan boshqariladigan invertorlar alohida o'rin tutadi. An'anaviy kuchlanish bilan boshqariladigan tizimlardan farqli o'laroq, tokni bevosita nazorat qilish dvigatel momentini tezkor va aniq boshqarish imkonini beradi.

Gisterezisli rostlagichlarning asosiy kamchiligi — kommutatsiya chastotasining o'zgaruvchanligi bo'lib, bu quvvat kalitlarining qizib ketishiga va filtr tanlashda qiyinchiliklarga olib keladi. Shu sababli, gisterezisli tok rostlagichlarini optimallashtirish, ularning kommutatsiya chastotasini barqarorlashtirish va

zamonaviy mikroprotessorli boshqaruv tizimlariga tatbiq etish bugungi kunda elektrotexnikaning eng dolzarb vazifalaridan biri bo'lib qolmoqda.

**Metodlar.** Tok bilan to'g'ri boshqariladigan chastota o'zgartirgichning oddiyroq varianti ikki pozitsiyali gisterezisli rostlagichli sxema hisoblanadi. O'zgartirgich tarkibiga kiruvchi bunday rostlagichli avtonom invertorning tuzilmasi 1- rasmda ko'rsatilgan.

Uchala rostlagichlarning (invertorning fazaliri soni bo'yicha) har biri gisterezis xarakteriga ega. Invertor uchun boshqaruvchi signallar faza toklarining beriluvchi  $i_{1A}^*, i_{1B}^*, i_{1C}^*$  signallari hisoblanadi. Bu signallar bilan stator faza toklarining  $i_{1A}, i_{1B}, i_{1C}$  haqiqiy qiymatlari solishtiriladi. Natijada gisterezisli tok rostlagichlarning kirishiga quyidagi mos signallar farqi ta'sir qiladi:

$$\Delta i_{1A} = i_{1A}^* - i_{1A};$$

$$\Delta i_{1B} = i_{1B}^* - i_{1B};$$

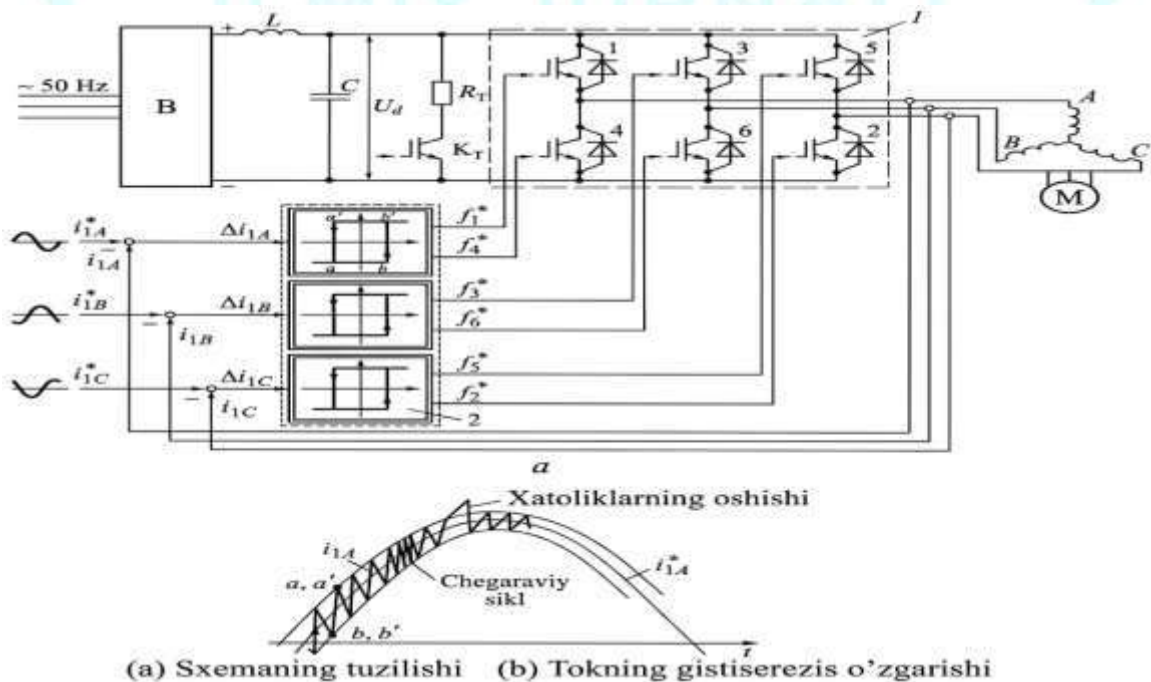
$$\Delta i_{1C} = i_{1C}^* - i_{1C}.$$

Gisterezisli rostlagich ikkita barqaror holatga ega bo'ladiki, ularning har biriga chiquvchi signallardan birining aktiv holati mos keladi. Bunda chiquvchi signaldan ikkinchisi passiv holatda bo'ladi. Masalan, Afaza uchun ushbu signallar  $f_1^*$  yoki  $f_4^*$  bo'ladi. SHartli ravishda aktiv holatni bir deb, passiv holatni esa nol deb qabul qilamiz.  $f_1^* = 1$  qiymat 1-tranzistorning ochiq holatiga mos kelsa,  $f_1^* = 0$  qiymat esa yopiq holatiga mos keladi. SHunga o'xshash tarzda  $f_4^* = 1$  qiymat 4-tranzistorning ochiq holatigi,  $f_4^* = 0$  qiymat esa yopiq holatiga mos keladi.

A fazaning gisterezisli rostlagichining ishlashini batafsil ko'rib chiqamiz. Faraz qilaylik boshlang'ich vaqt momentida ishchi nuqta rostlagich xarakteristikasining  $a - b$  qismidagi  $b$  nuqta yaqinida joylashgan bo'lsin. Bunda tok rostlagichining chiqishiga  $f_4^* = 1$  chiqish signali ta'sir qiladi, 4-kalit ulangan (tiristor ochiq), A fazadagi tok kamayadi va  $\Delta i_{1A} = i_{1A}^* - i_{1A}$  kabi aniqlanadigan musbat toklar farqi, tokni haqiqiy qiymati  $i_{1A}$  ning kamayishi hisobidan oshadi. Rasmda  $b, b'$  harflar bilan belgilangan tokning minimal qiymatiga mos keladigan vaqt momentida ishchi nuqta  $b$  holatni egallaydi va shu lahzada  $b'$  nuqtaga ko'chadi. Bunda rostlagich chiqishidagi signallar o'zgarib  $f_4^* = 0$ ,  $f_1^* = 1$  ga teng bo'ladi, 4-

kalit uziladi va 1-kalit ulanadi. Bu holat rasmda  $a, a'$  harflar bilan belgilangan. Bu holatda rostlagich xarakteristikasidagi ishchi nuqta  $a'$  holatni va shu zahoti  $a$  holatni egallaydi natijada 1-kalit uziladi va yana 4-kalit ulanadi. Bunday sikl doimiy takrorlanadi va yuklamaning  $A$  fazadagi tok gisterezis ilmog'ining kengligiga bog'liq ravishda maksimal farq bilan beriluvchi tok  $i_{1A}^*$  ga ergashib boradi.

Tokni rostlashning bunday usuli ma'lum bir kamchiliklardan xoli emas. Bu kamchiliklar shu bilan bog'liqki, tokni rostlashning uchala konturlari bir-biridan mustaqqil ravishdv ishlasa ham, invertorning har bir elkasidagi kommutatsiya jarayoni uchala fazaning barchasiga ta'sir ko'rsatadi. Nol simisiz yulduz usulida ulangan uch fazali cho'lg'amda tokning oniy qiymatlari yig'indisi nolga teng, ya'ni faqatgina ikkita faza toki mustaqqil kattaliklar hisoblanadi. SHunday qilib, qaralayotgan tizimda ikkita mustaqqil o'zgaruvchilar bo'lgan holda uchta mustaqqil rostlagichlar ta'sir ko'rsatadi. Bu esa bir qator hollarda kalitlarni ulab-uzishning keraksiz kombinatsiyalarini hosil bo'lishiga olib keladi. Rasmda shu bilan bog'liq bo'lgan, gisterezis ilmog'i kengligi bilan aniqlanadigan rostlash chegarasidagi xatolikning oshishidek avtotebranishli rejimlarning paydo bo'lishi ko'rsatilgan.



1-rasm. Tok bilan boshqariladigan va gisterezisli tok rostlagichli invertorli chastota o'zgartirgich:

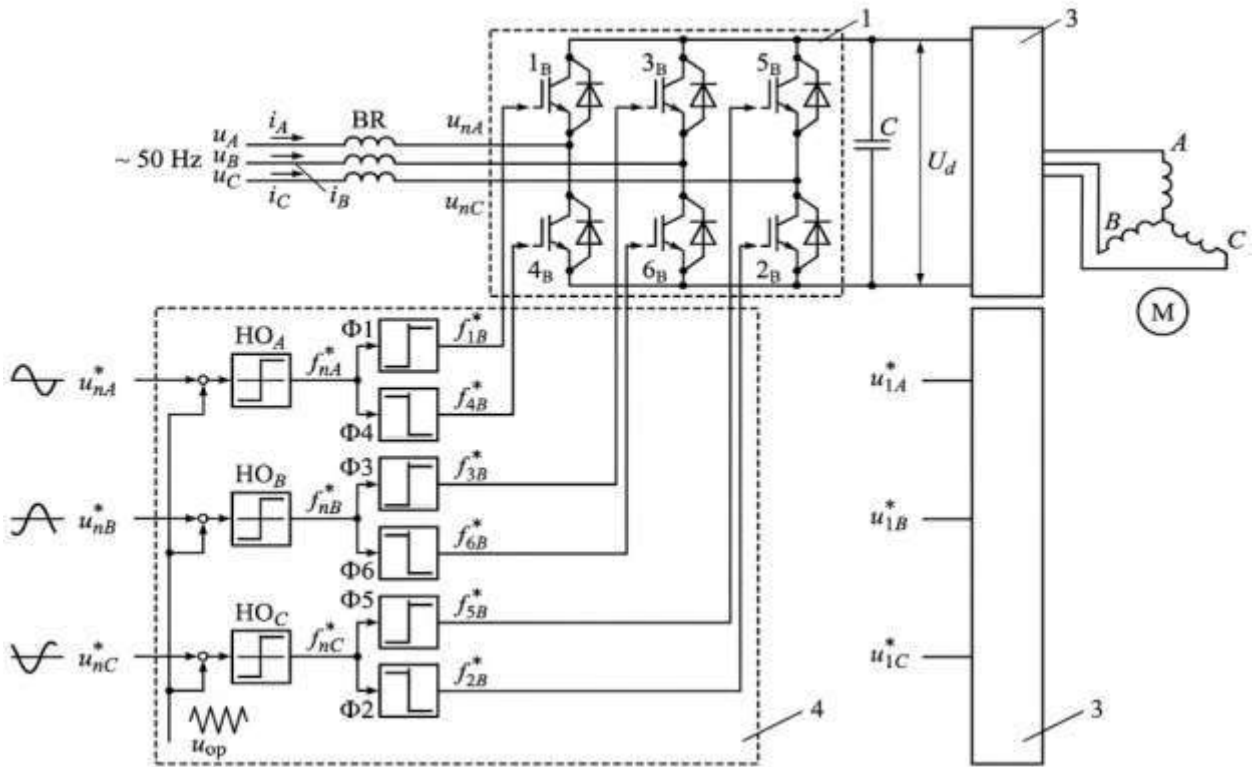
*a*-invertorning tuzilmasi; *b*- chiqishdagi tokning shakli [20]; 1-avtonom kuchlanish inverteri; 2- ikkipozitsiyali gisterezisli tok rostlagichlari

**Natijalar.** Oldin ta’kidlanganidek, avtonom inverter elkalarini hosil qiluvchi tranzistorli kalitlar ikki tomonlama o‘tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo‘ladi, chunki tokni to‘g‘ri yo‘nalishda o‘tkazuvchi har bir tranzistor teskari tok diodlari bilan shuntlangan. SHuning uchun ushbu kalit qo‘llanilishi bilan qurilgan inverter quvvatni har ikkala yo‘nalishda ham uzatishi mumkin. Agar bunday xususiyat o‘zgarmas tok zvenosida ham bo‘lganda edi, unda dvigatelni rekuperativ tormozlashning tadbiri bilan bog‘liq muammo (isroflari chegirib tashlangan tormozlash quvvati ta’minlovchi tarmoqqa qaytadi) yuzaga kelmagan bo‘lar edi. Agar qachonkim o‘zgarmas tok zvenisi sifatida boshqarilmaydigan to‘g‘rilagich hisoblansa, u faqatgina dvigatel rejimiga mos keluvchi yo‘nalishdagina quvvat oqimini uzatadi va tarmoqqa energiyaning qaytishi bilan bog‘liq tormoz rejimi hosil qilish mumkin bo‘lmaydi. Dvigatelni tormoz rejimiga o‘tishida inverter kirishidagi tokning o‘zgarmas tashkil etuvchisi yo‘nalishini dvigatel rejimiga nisbatan teskarisiga qarab o‘zgartiradi, bu esa to‘g‘rilagich chiqishidagi kondensatorning qo‘shimcha zaryad yig‘ishiga va undagi kuchlanishning oshishiga olib keladi. Tormozlash energiya isrofidan qutilishning ikkita asosiy usuli mavjud:

tormozlash energiyasini maxsus tormoz rezistori  $R_T$ da sochilishi (tormoz rezistori, kondensatordagi kuchlanishning qiymati dvigatel rejimidagi qiymatiga qaraganda katta bo‘lganda,  $K_T$  tranzistorli kalit yordamida ulanadi);

o‘zgarmas tok zvenosi sifatida aktiv kuchlanish to‘g‘rilagichining qo‘llanilishi [17].

Birinchi usul tormozlash energiya isrofi nisbatan kichik ahamiyatga ega bo‘lgan kichik va o‘rta quvvatli elektr yuritmalarda keng qo‘llaniladi. Ikkinchi usul katta quvvatli elektr yuritmalarda qo‘llaniladi. U nafaqat uskunaning FIK ni oshiradi, balki o‘zgartirgich tarmoqdan ta’minot olayotgan yoki tarmoqqa qaytarilayotgan tokning garmonik tarkibini yaxshilash, hamda elektr yuritma quvvat koeffitsientining kerakli qiymatini olish imkoniyatini beradi.



2-rasm. Aktiv to‘g‘rilagichli chastota o‘zgartirgichni kuch qismining tuzilmasi:  
 1- aktiv kuchlanish to‘g‘rilagichi; 2- avtonom kuchlanish invertori; 3- AKI ni boshqaruv tizimi; 4- AKT ni boshqaruv tizimi

Tarkibida aktiv kuchlanish to‘g‘rilagichi (AKT) bo‘lgan o‘zgartirgichli elektr yuritmaning tuzilmasi 2-rasmda tasvirlangan. AKTning sxemasi avtonom kuchlanish invertori sxemasi bilan bir xil. Rasmda shuningdek yaqqol ko‘rinadigan arrasimon kuchlanishli boshqaruv tizimining tuzilmasi ham ko‘rsatilgan. O‘zgartirgichning kirish zanjirida buferli reaktorlar o‘rnatilgan bo‘lib, ulardagi  $i_A, i_B$  va  $i_C$  toklardan bo‘ladigan kuchlanish tushuvilari tarmoq sinusoidal kuchlanishining oniy qiymatlari va o‘zgaruvchan tok AKT qismlaridagi kuchlanishlar orasidagi farqini aks ettiradi. O‘z navbatida o‘zgaruvchan tok AKT qismlaridagi kuchlanishlarning yuqori garmonikalari keng-impulsi modulyasiya yuqori chastotalari bilan aniqlanadi. Invertorni boshqarish tizimi kirishidagi  $u_{nA}^*, u_{nB}^*, u_{nC}^*$  boshqaruvchi signallar (bu signallarning chastotasi inverter chiqishidagi kuchlanishni asosiy garmonikasining chastotasini beradi) dan farqli ravishda, AKT kirishida  $u_A, u_B$  va  $u_C$  ta‘minot kuchlanishi oniy qiymatlarini

beruvchi  $u_{pA}^*$ ,  $u_{pB}^*$ ,  $u_{pC}^*$  boshqaruv signallari, tarmoq quchlanishi chastotasiga teng bo'lgan chastotaga ega bo'lishi kerak. Bu tarkibida toklarini rostlanishning ichki konturi va to'g'rilangan kuchlanish  $U_d$ ni rostlashning tashqi konturi bo'lgan chastotani rostlashning xususiy yopiq tizimi yordamida amalga oshiriladi.

**Xulosa.** Dvigatel tarmoqdan quvvat oladigan dvigatel rejimida, AKT to'g'rilagich rejimida ishlaydi, AKI esa inverter rejimida ishlaydi. Bunda AKT  $1_B$  –  $6_B$  tranzistorli kalitlardagi tokning aksariyat qismi teskari tok diodlari orqali oqib o'tadi. Tormozlash rejimida AKI to'g'rilagich rejimiga o'tadi, AKT esa  $C$  kondensatordagi kuchlanishni inverterlab inverter rejimida ishlaydi. Bunda tok asosan tranzistorli kalitlardagi tranzistorlar orqali oqib o'tadi.

Keng-impulsi modulyasiyani qo'llanilishi tarmoqdan ta'milanayotgan  $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_S$  toklar shaklini sinusoidalikka yaqin olish imkoniyatini beradi. Boshqaruv signallari boshlang'ich fazasini o'zgartirib o'zgartirgichning quvvat koeffitsientini o'zgartirish mumkin.

#### ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Brod, D. M., & Novotny, D. W. (1985). "Current control of VSI-PWM inverters". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-21, No. 3, pp. 562-570.
2. Kazmierkowski, M. P., & Malesani, L. (1998). "Current control techniques for three-phase voltage-source PWM converters: a survey". IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 45, No. 5, pp. 691-703.
3. Bose, B. K. (2002). "Modern Power Electronics and AC Drives". Prentice Hall.
4. Zeyad, A. "Fixed-frequency hysteresis current control of three-phase voltage source inverters". International Journal of Engineering Science, 2017.
5. Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. "Power Electronics: Converters, Applications, and Design". Wiley, 2003.