



## RESEARCH AND ANALYSIS OF AUTONOMOUS VOLTAGE INVERTERS FOR THE ELECTRIC MOVEMENT STRUCTURE OF THE TASHKENT METROPOLITEN

Nazirxonov To'lagan Mansur o'g'li<sup>1</sup>

Baqoyev Ergash Karim o'g'li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>candidate of technical sciences, associate professor,

<sup>2</sup>master's student

Tashkent State Transport University, Uzbekistan, Tashkent

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18698914>

### ARTICLE INFO

Received: 12<sup>th</sup> February 2026

Accepted: 18<sup>th</sup> February 2026

Online: 19<sup>th</sup> February 2026

### KEYWORDS

Autonomous voltage inverter, traction electric drive, Tashkent Metro, pulse-width modulation, modulation coefficient, asynchronous electric motor, LC filter, output voltage, PID controller, automatic control, predictive control, energy efficiency.

### ABSTRACT

*The article presents a study of autonomous voltage inverters used in the traction electric drives of the Tashkent Metro's electric rolling stock. The main focus is on analyzing the effects of output voltages and pulse-width modulation, as well as examining the limitations of the modulation coefficient.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ТАШКЕНТСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Nazirxonov To'lagan Mansur o'g'li<sup>1</sup>

Baqoyev Ergash Karim o'g'li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>кандидат технических наук, доцент

<sup>2</sup>магистрант

Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан, Ташкент

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18698914>

### ARTICLE INFO

Received: 12<sup>th</sup> February 2026

Accepted: 18<sup>th</sup> February 2026

Online: 19<sup>th</sup> February 2026

### KEYWORDS

Автономный инвертор напряжения, тяговой электропривод, Ташкентский метрополитен, широтно-импульсная модуляция, коэффициент модуляции, асинхронный

### ABSTRACT

*В статье проведено исследование автономных инверторов напряжения, применяемых в тяговых электроприводах электроподвижного состава Ташкентского метрополитена. Основное внимание уделено анализу выходных напряжений, влияния широтно-импульсной модуляции и ограничений коэффициента модуляции.*



электродвигатель, LC-  
фильтр, выходное  
напряжение, PID-  
регулятор,  
автоматическое  
управление,  
прогнозирующее  
управление,  
энергоэффективность.

## TOSHKENT METROPOLITENI ELEKTR HARAKATLANUVCHI TARKIBI UCHUN AVTONOM KUCHLANISH INVERTORLARINI TADQIQ ETISH VA TAHLIL QILISH

Nazirxonov To'lagan Mansur o'g'li<sup>1</sup>

Baqoyev Ergash Karim o'g'li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>texnika fanlari nomzodi, dotsent

<sup>2</sup>magistrant

Toshkent davlat transport universiteti, O'zbekiston, Toshkent

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18698914>

### ARTICLE INFO

Received: 12<sup>th</sup> February 2026

Accepted: 18<sup>th</sup> February 2026

Online: 19<sup>th</sup> February 2026

### KEYWORDS

Avtonom kuchlanish invertori,  
tortuvchi elektr yuritma,  
Toshkent metropoliteni,  
kenglik-impuls  
modulyatsiyasi, modulyatsiya  
koeffitsiyenti, asinxron elektr  
dvigatel, LC-filtr, chiqish  
kuchlanishi, PID-rostlagich,  
avtomatik boshqarish,  
bashoratlovchi boshqaruv,  
energiya samaradorligi.

### Kirish

Zamonaviy metropolitenlarning elektr harakatlanuvchi tarkibi avtonom kuchlanish invertorli asinxron tortuvchi elektr yuritmalardan foydalanadi. Toshkent metropolitenining 750 V kuchlanishli o'zgarmas tok kontakt tarmog'idan ta'minlanishi bilan tavsiflanadigan sharoitlari uchun kuch

### ABSTRACT

Maqolada Toshkent metropoliteni elektr harakatlanuvchi tarkibining tortuvchi elektr yuritmalarida qo'llaniladigan avtonom kuchlanish invertorlari tadqiqoti amalga oshirilgan. Asosiy e'tibor chiqish kuchlanishlari, kenglik-impuls modulyatsiyasining ta'siri va modulyatsiya koeffitsiyenti cheklovlarini tahlil qilishga qaratilgan.

o'zgartirgichlarining energiya samaradorligi, ishonchliligi va elektromagnit mosligi masalalari alohida ahamiyat kasb etadi.

Kuch elektronikasida inversiyalash deb o'zgarmas kuchlanishni o'zgaruvchan kuchlanishga aylantirish jarayoniga, ya'ni ma'lum ma'noda to'g'rilashga teskari bo'lgan jarayonga



aytiladi. Bunday o'zgartirishni amalga oshiruvchi qurilmalar inverterlar deb ataladi.

Avtonom kuchlanish inverteri (Voltage Source Inverter, VSI) o'zgarma kuchlanish manbaidan ta'minlanadigan uch fazali ko'prik o'zgartirgichdir. Chiqish o'zgaruvchan kuchlanishini shakllantirish sinusoidal kenglik-impulsi modulyatsiya usuli orqali amalga oshiriladi [1].

Ideallashtirilgan modelda inverterning chiqish faza kuchlanishi quyidagi ifoda bilan ifodalanishi mumkin:

$$V_{an}(t) = (V_{dc} / 2) \cdot M \cdot \sin(\omega t),$$

bu yerda  $V_{dc}$  - o'zgarma tok zanjirining kuchlanishi;

$M$  - modulyatsiya koeffitsiyenti;

$\omega$  - chiqish kuchlanishining burchak chastotasi.

### **Mustaqil kuchlanish inverterini boshqarish tizimi**

Bir qator zamonaviy tadqiqotlarda mustaqil kuchlanish inverteri avtomatik boshqarish obyekti sifatida o'rganilmoqda [2,3]. Xususan, mustaqil kuchlanish inverterini boshqarish tizimini tahlil qilishga bag'ishlangan ishlarda inverter va chiqish LC-filtrini dinamik matematik model ko'rinishida tavsiflashga asoslangan yondashuv taklif etilgan.

Boshqarish tizimining matematik modeli chiqish kuchlanishi va yuklama toki dinamikasini tavsiflovchi differensial tenglamalar tizimi orqali ifodalanishi mumkin:

$$\begin{aligned} dV_o/dt &= (1/C) \cdot I_L - (1/RC) \cdot V_o, \\ dI_L/dt &= (1/L) \cdot (V_{inv} - V_o), \end{aligned}$$

bunda  $V_o$  - inverterning chiqish kuchlanishi;

$I_L$  - filtrning induktivlik toki;

$V_{inv}$  - inverter ko'prigining oniy chiqish kuchlanishi;

$L$  va  $C$  - LC-filtr parametrlari;

$R$  - yuklamaning ekvivalent qarshiligi.

Ushbu model mustaqil inverterni ishchi nuqta atrofida chiziqli boshqarish obyekti sifatida ko'rib chiqish va rostlagichlarni sintez qilish uchun avtomatik boshqarish nazariyasining an'anaviy usullarini qo'llash imkonini beradi.

### **Oraliq va chiqish kuchlanishini rostlash**

Tadqiq etilayotgan boshqarish tizimlarida yuklama o'zgarganda chiqish va oraliq kuchlanishlarni barqarorlashtirish alohida e'tiborga olingan. Bu maqsadda kuchlanish bo'yicha teskari aloqali yopiq boshqarish konturi va PID-rostlagichdan foydalaniladi [4].

Rostlagichning uzatish funksiyasi umumiy ko'rinishda quyidagicha yozilishi mumkin:

$$W_{PID}(s) = K_p + K_i/s + K_d \cdot s,$$

bu yerda  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  - rostlagichning proporsional, integral va differensial koeffitsiyentlaridir.

Rostlagich koeffitsiyentlarini sozlash barqarorlik, tezkorlik va chiqish kuchlanishi tebranishlarining ruxsat etilgan darajasi talablarini hisobga olgan holda amalga oshiriladi.

### **Avtonom inverterlarni boshqarishning istiqbolli usullari**

Klassik KIM-boshqarish va PID-boshqarish bilan bir qatorda, zamonaviy tadqiqotlarda avtonom kuchlanish inverterlarini bashoratlovchi va optimal boshqarish usullari o'rganilmoqda. Bashoratlovchi boshqarish usuli bashorat qilinayotgan chiqish



kuchlanishining tayanch qiymatdan og'ishini hisobga oluvchi maqsad funksiyasini minimallashtirishga asoslangan.

Bashoratlovchi boshqaruvning maqsad funksiyasi quyidagi ifoda bilan ifodalanishi mumkin:

$$g = |V_{pred}(k+1) - V_{ref}(k+1)|^2,$$

bu yerda  $V_{pred}$  - chiqish kuchlanishining bashorat qilingan qiymati;

$V_{ref}$  - kuchlanishning tayanch qiymatidir.

Bashoratlovchi algoritmlarni qo'llash metropoliten tortuv elektr

yuritmalarining istiqbolli yo'nalishi bo'lib, yuqori garmonikalar darajasini pasaytirish va avtonom inverterlarning dinamik xususiyatlarini yaxshilash imkonini beradi.

Avtonom kuchlanish inverterlari metropoliten elektr harakatlanuvchi tarkibining tortish elektr dvigatellarini samarali ta'minlash vositasidir. Modellashtirish KIM va filtrlovchi qurilmalarni qo'llash sharti bilan talab etilgan shakl va chastotadagi chiqish kuchlanishini shakllantirish imkoniyatini tasdiqlaydi [5,6].

## References:

1. Rozanov Yu.K. Kuchli elektronika: oliy o'quv yurtlari uchun darslik. - M.: MEI nashriyot uyi, 2019. - 632 b.
2. German-Galkin S.G. Elektr yuritmalarda kuchli yarim o'tkazgichli o'zgartirgichlar. - Sankt-Peterburg: Piter, 2018. - 384 bet.
3. Belyayev V.I., Kopilov I.P. Harakatlanuvchi tarkibning tortish elektr yuritmasi. - Moskva: Transport, 2017. - 416 bet.
4. Aliyev R.A., Mamedov F.R. Avtonom kuchlanish inverterini boshqarish tizimini tahlil qilish va o'rganish // Elektrotexnik va axborot komplekslari hamda tizimlari. - 2020. - 16-jild, 3-son. - 45-52-betlar.
5. Holmes D.G., Lipo T.A. Kuch o'zgartirgichlari uchun impuls kengligini modulyatsiyalash: Tamoyillar va amaliyot. - IEEE nashriyoti, 2003. - 724 bet.
6. Bose B.K. Zamonaviy kuch elektronikasi va o'zgaruvchan tok yuritmasi. - Prentice Hall, 2010. - 720 bet.