

–Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

---

№ 1 (2024)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных  
систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

<https://doi.org/10.48081/KOTB8442>

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я.,

*д.т.н., профессор*

Новожилов А. Н.,

*д.т.н., профессор*

Никитин К. И.,

*д.т.н., профессор (Россия)*

Никифоров А. С.,

*д.т.н., профессор*

Новожилов Т. А.,

*д.т.н., профессор*

Алиферов А.И.,

*д.т.н., профессор (Россия)*

Кошкеков К.Т.,

*д.т.н., профессор*

Приходько Е.В.,

*к.т.н., профессор*

Оспанова Н. Н.,

*к.п.н., доцент*

Нефтисов А. В.,

*доктор PhD*

Омарова А.Р.,

*технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

FTAMP 621.341.572

<https://doi.org/10.48081/INVD2811>

**К. Н. Тайсариева, \*Г. С. Джобалаева, Н. Т. Исембергенев,  
К. Б. Мүсілімов, А. Е. Куттыбаева**

*Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу  
университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.*

\*e-mail: [g.jobalaveva@satbavev.university](mailto:g.jobalaveva@satbavev.university)

## **МУЛЬТИ ДЕҢГЕЙЛІ ИНВЕРТОРДАҒЫ КӨП ДЕҢГЕЙЛІ (SPWM) СИНУСОИДАЛЫ ИМПУЛЬСТІК ЕНДІК МОДУЛЯЦИЯСЫ**

Бұл ғылыми мақалада тұрақты кернеудің айнымалыға түрлендіру әдістері көпдеңгейлі модуляция (MLM) және ендік-импульсті модуляциялар (PWM) қарастырылады. Қуат желісінен электр энергиясын минималды тұтыну критерийі бойынша алгоритмді оңтайландыру процесі сипатталған. Әзірленген алгоритмді қолдана отырып, көп деңгейлі инвертор жүйесін модельдеу нәтижелері келтірілген. Көп деңгейлі синусоидалы ендік-импульстік модуляцияны белгілі алгоритмдермен қолдану нәтижелерін салыстыру ұсынылған шешімдердің жоғары тиімділігін көрсетті THD төмендеуі және көп деңгейлі инвертордың жоғары энергетикалық өнімділігін қамтамасыз ету. Синусоидалы PWM әдісінің мәні инвертор кілттерімен бір уақытта коммутациядан бас тарту және әрқайсысы негізгі кернеу векторының белгілі бір кеңістіктік орнына сәйкес келетін бірнеше, алдын ала таңдалған инвертор күйлері арасындағы коммутацияға көшу болып табылады. Синусоидалы заңға сәйкес импульстік ендік модуляциясының әр түрлі типтерін қалыптастыру кезіндегі шығыс керенуінің спектрі мен сапа деңгейін салыстыру талданады. Бұл шығыс керенуінің сапасын қалай жақсартуға болатынын көрсетеді. Бұл мақалада зерттеулер «Жиілік ауысуы жоғары және жоғары кернеуді түрлендіру коэффициенті бар инвертормен қос

*мақсатты байланыстыратын біріктірілген мультикооптер платформасын жасау» гранттық қаржыландыру тақырыбы бойынша жасалған.*

*Кілтті сөздер: инвертор, көпдеңгейлі модуляция, мультидеңгейлі, THD, PWM әдісі, көпдеңгейлі.*

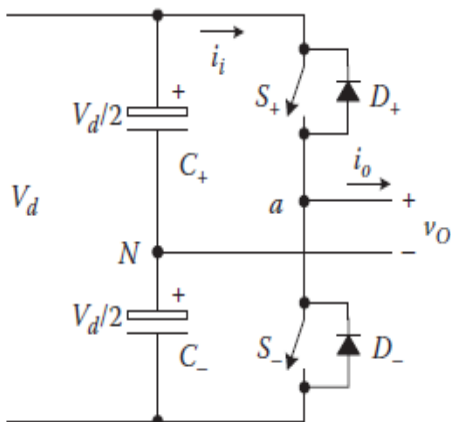
### **Кіріспе**

Қазіргі уақытта тұрақты кернеуді айнымалы кернеуге түрлендірудің екі категорияға бөлуге болады: көпдеңгейлі модуляция (MLM) және ендік-импульси модуляция (PWM). Әр категория көптеген электрлік сұлбалардан тұрады, бұл осы модуляцияны жүзеге асырады. Ендік – импульсті модуляцияны (ЕИМ) қолданып әртүрлі инверторларды жобалауға болады, мысалы (CSI) ток көзі инверторлары, (ZSI) кедергі көзінің инверторлары, (VSI) кернеу көзінің инверторы, көпсатылы PWM-инверторлар

Көп деңгейлі инвертор–бұл бірнеше тұрақты ток көздерінен шығатын синусоидалы кернеуді синтездейтін қуатты электронды жүйе. Бұл тұрақты ток көздері батареялар, күн батареялары, ультра конденсаторлар және т. б. болуы мүмкін. Көп деңгейлі инверторлардың негізгі идеясы-коммутаторларды қолдана отырып, синусоидалы кернеу мен Шығыс тогын жақсарту. Көптеген қосқыштар тізбектей қосылғандықтан, ауысу бұрыштары көп деңгейлі инверторларда маңызды, өйткені барлық қосқыштар шығыс кернеуі мен токтың гармоникалық бұрмалануы төмен болатындай етіп ауысуы керек [1].

### **Материалдар мен тәсілдер**

Әр түрлі ЕИМ түрлендіргіштерінің негізгі қуат тізбектері ұқсас болуы мүмкін. Олардың арасындағы айырмашылық-қуат көзінің немесе желінің түрі. 1 суретте бірфазалы жартылай көпірлік ЕИМ – инвертор көрсетілген.



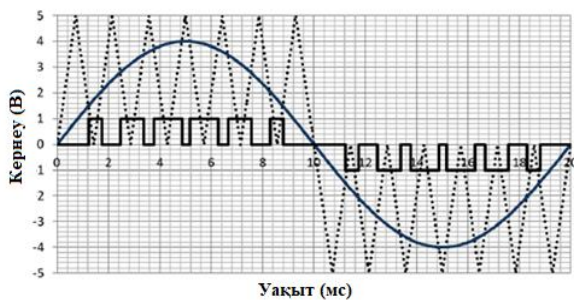
Сурет 1 – Бірфазалы жартылай көпірлік инвертор

Бірфазалы жартылай көпірлік инвертор 1 суретте көрсетілген.  $V_d$  - тұрақты кернеу көзі. N нейтралды нүктені орнату үшін екі үлкен конденсатор қолданылады. Айнымалы токтың шығыс кернеуі a нүктесінен N ге дейін  $V_{AO}$ , ал оның негізгі компоненті  $(V_{AO})_1$ .  $(V_{AO})_1$  максималды амплитуданы көрсету үшін  $(V_{AO})_1$ , деп белгілеу керек. Кіріс (басқару) және үшбұрыш сигналының сигналдары және ЕИМ импульстік реттілік спектрі [2].

Егер тұрақты токтың кіріс сигналының максималды амплитудасы  $(V_{AO})_1$  аз немесе кернеудің жартысына  $\frac{V_d}{2}$  тең болса, ал  $m_a$  модуляциясының қатынасы бірден аз немесе оған тең. Бұл кезде  $(V_{AO})_1$  негізгі компоненті шығыстағы айнымалы кернеу кіріс кернеуіне пропорционал болады. ЕИМ амплитудалық импульстік модуляциядан (АИМ) және импульсті фазалы модуляция (PPM) ажыратылады. ЕИМ-да барлық импульстар өзгермейтін амплитудасы мен фазасы бар реттелетін енге ие болады. Сәйкес сұлба импульстік модуль деп аталады. Импульстік фазалық модуляция да болуы мүмкін бірақ бұл ыңғайлы емес. Импульстік амплитудалық модуляция тұрақтыны айнымалыға түрлендіру үшін жарамсыз, өйткені кіріс кернеуі әдетте тұрақты кернеу болып табылады. ЕИМ-да жұмыс істегенде, барлық алдыңғы импульстік фронттар импульс кезеңінің басынан басталады және олардың артқы фронты реттеледі. Синусоидалы импульстің ені модуляциясы (SPWM) толқын формасында THD-ді азайта алады, әр жарты периодта әр түрлі импульс ені болады [1]. Синус толқынының амплитудалық кернеуі модуляция үшін негізгі кернеу  $V_{in}$  болып табылады. Үшбұрыштың сигнал амплитудасы модуляция үшін тасымалдаушы кернеу  $V_{tri}$  болып табылады. Шығыс жиілігі 50 Гц SPWM-

нің 2 суретте мысалы көрсетілген. Бұл мысал үшін  $M_a$  0,8, яғни айнаымалы токтың Шығыс кернеуінің *r.m.s* мәні тұрақты кернеу көзінен 0,8 құрайды.  $M_f$  шығыс жиілігінің бүйірлік жолақтарын анықтайды. Мысалы,  $M_f$  суретте 14 тең, модуляция теориясына сәйкес шығыс формасының бірінші гармоникалары 13 және 15, содан кейін 27 мен 29 т.с.с. [3].

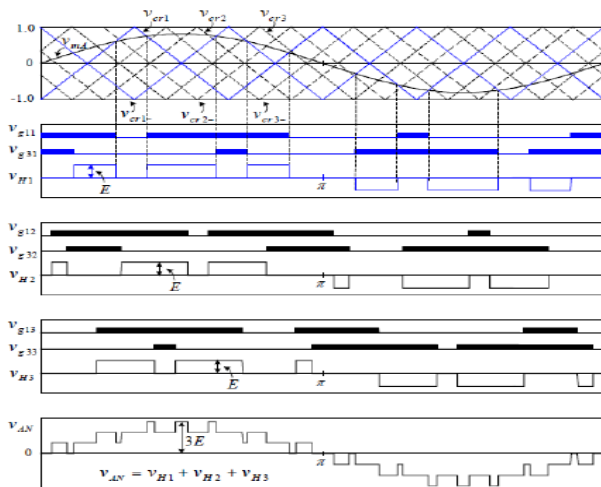
ТНД - ді көпдеңгейлі инверторды қолдану арқылы немесе пассивті немесе активті фильтрлер қолдану арқылы азайтуға болады. Алайда  $M_f$  ұлғайтудың артықшылығы сүзгінің көлемін кішірейтуге болады. Импульстардың Шығыс тізбегі бірдей амплитудасы мен ені әртүрлі импульстарға ие, бұл іріктеу сәттеріндегі кіріс сигналына сәйкес келеді.



Сурет 2 – Синусоидалы ендік – импульстік модуляция (SPWM)

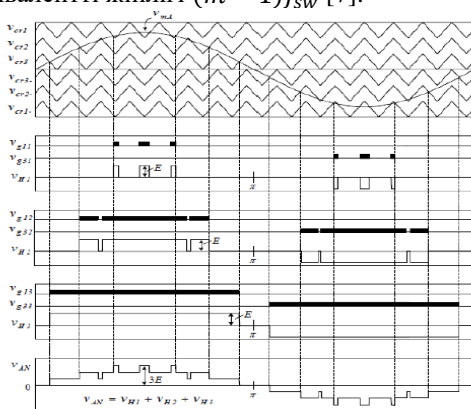
Көп деңгейлі синусоидалы импульстік ендік модуляциясы (ЕИМ) үшбұрышты тасымалдаушылары бар классикалық SPWM-ге негізделген. Бір әдіс бірнеше тасымалдаушы сигналдардың фазалық ығысуын қолданады [4; 5]. 3-сурет бұл әдісті жеті деңгейлі каскадты көп деңгейлі инверторда көрсетеді [6].

Фазалық ығысу бұрышы  $\frac{360^\circ}{(m-1)}$  тең. Басқа әдіс бірнеше тасымалдаушы сигналдардың кернеу ығысуын пайдаланады. Бұл әдіс 4 суретте жеті деңгейлі инверторда көрсетілген.  $m$  дәрежелі инвертор үшін тасымалдаушылар саны  $(m-1)$ .



Сурет 3 – Жеті деңгейлі инвертордағы бірнеше тасымалдаушы сигналдардың фазалық ығысуын қолданатын көп деңгейлі SPWM

Жоғарыда аталған екі деңгейлі SPWM көмегімен төменгі ретті гармоника  $(m - 1)f_{sw}$ -ге жақындайды, мұндағы  $f_s$ -жартылай өткізгіштік құрылғылардың ауысу жиілігі. Басқаша сөзбен айтқанда, инвертордың ауысуының эквивалентті жиілігі  $(m - 1)f_{sw}$  [7].



Сурет 4 – Жеті деңгейлі инвертордағы бірнеше тасымалдаушы сигналдардың кернеу ығысуын қолданатын көп деңгейлі SPWM

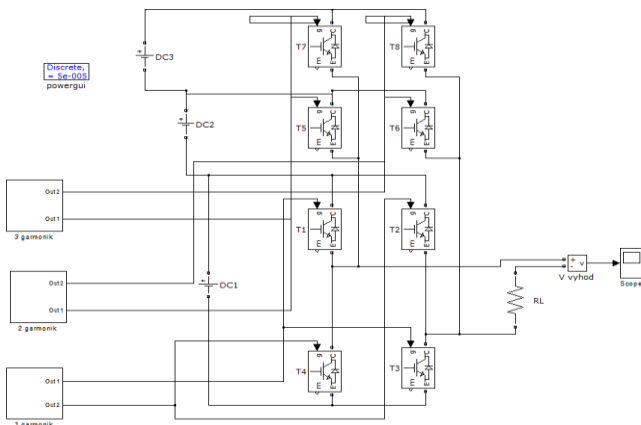
### Нәтижелер мен талқылау

Бірфазалы ЕИМ инверторды зерттеу үшін Matlab бағдарламасында үш, төрт, бес, алты деңгейлі модельдер жасалды. Әр деңгейде синусоидалы

толқын пішінінің аралығына байланысты өзгертін тікбұрышты импульстар пайда болады. Жүктемеге сәйкес біз синусоидаға жақын кернеуді аламыз.

5-суретте үш сатылы транзисторлық түрлендіргіш көрсетілген. Түрлендіргіш келесідей жұмыс істейді,  $T_1, T_2, T_3$  және  $T_4$  транзисторларынан түзілген көпір түрлендіргішінің 1 тізбегі бірінші кернеудің  $E_1$  көзіне қосылған.  $t_1$  уақытында  $T_1$  және  $T_4$  транзисторлары ашылады және кернеудің  $E_1$  көзінен үздіксіз ток  $T_1$  транзисторлары арқылы жүреді,  $R_n$  және  $T_4$  жүктемелері арқылы өтеді (транзисторлар арқылы тұрақты ток және жүктеме бағыты үздіксіз бағытамамен көрсетіледі).

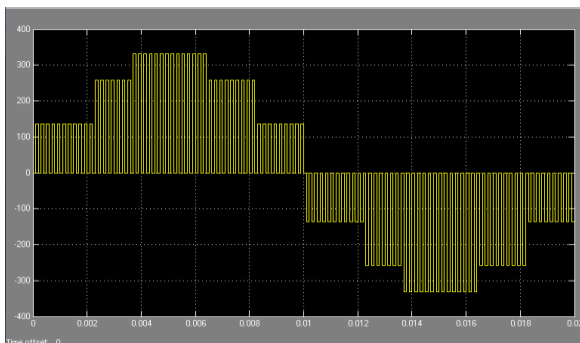
Біраз  $t_2$  уақыттан кейін  $T_6$  транзисторы ашылып, екінші тұрақты токтың  $E_2$  көзінен үздіксіз ток  $T_1$  транзисторлары,  $R_n$  және  $T_6$  заряды арқылы өтіп, жүктемедегі кернеудің екінші сатысын құрайды.  $t_3$  уақытында кернеуді қалыптастыру үшін  $T_8$  транзисторы ашылады және  $E_3$  көзінен тұрақты ток  $T_1$  транзисторлары,  $R_n$  және  $T_8$  жүктемелері арқылы өтеді [7-9].



Сурет 5 – Үш деңгейлі ЕИМ түрлендіргіш

Жүктеме негізінде біз шығыс кернеуін тікбұрышты пішіндерін аламыз.





Сурет 6 – ЕИМ түрлендіргіштің шығыс кернеуі

```

Sampling time = 6.6666e-5
Samples per cycle = 400
DC component = 0.3387
Fundamental = 336.1 peak (239.1 rms)
Total Harmonic Distortion (THD) = 19.25%
Maximum harmonic frequency used for THD calculation = 9950.00 Hz (199th harmonic)

```

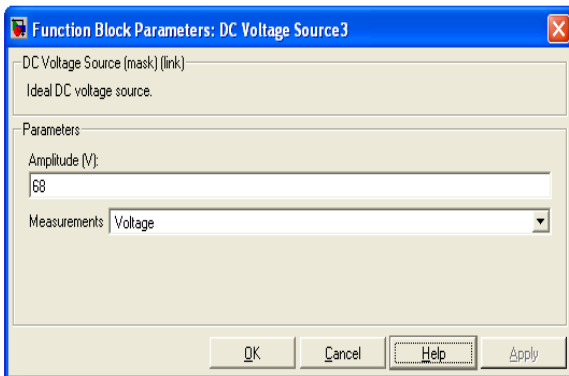
Frequency (Hz)	Amplitude	Phase (degrees)
0 Hz (DC):	0.34	90.0°
50 Hz (Fn1):	336.14	0.0°
100 Hz (h2):	0.68	90.0°
150 Hz (h3):	11.94	16.6°
200 Hz (h4):	0.68	90.0°
250 Hz (h5):	22.65	24.7°
300 Hz (h6):	0.68	90.0°
350 Hz (h7):	17.93	8.4°
400 Hz (h8):	0.68	90.0°
450 Hz (h9):	24.27	0.0°
500 Hz (h10):	0.68	90.0°
550 Hz (h11):	33.62	0.0°
600 Hz (h12):	0.68	90.0°
650 Hz (h13):	7.59	20.5°
700 Hz (h14):	0.68	90.0°
750 Hz (h15):	5.65	62.7°
800 Hz (h16):	0.68	90.0°
850 Hz (h17):	14.25	5.1°
900 Hz (h18):	0.68	90.0°
950 Hz (h19):	8.98	0.0°
1000 Hz (h20):	0.68	90.0°
1050 Hz (h21):	11.65	0.0°
1100 Hz (h22):	0.68	90.0°
1150 Hz (h23):	10.16	5.3°
1200 Hz (h24):	0.68	90.0°
1250 Hz (h25):	7.25	55.2°
1300 Hz (h26):	0.68	90.0°
1350 Hz (h27):	9.09	3.4°
1400 Hz (h28):	0.68	90.0°
1450 Hz (h29):	6.45	0.0°
1500 Hz (h30):	0.68	90.0°
1550 Hz (h31):	3.39	0.0°
1600 Hz (h32):	0.68	90.0°
1650 Hz (h33):	8.73	0.0°
1700 Hz (h34):	0.68	90.0°
1750 Hz (h35):	7.88	17.2°
1800 Hz (h36):	0.68	90.0°
1850 Hz (h37):	4.36	5.0°
1900 Hz (h38):	0.68	90.0°
1950 Hz (h39):	4.44	0.0°

Сурет 7– Үш деңгейлі ЕИМ түрлендіргішінің спектрлік талдау бағдарламасы

Спектрлік талдау нәтижелері шығыс кернеуінде 5, 9, 11-ші гармоника бар екенін көрсетеді, олардың амплитудасы негізгі гармониканың 5 %-дан аспайды. Бұл гармониканың осы құрамымен берілген бір фазалы үш сатылы транзисторлық инверторды қалған параметрлерді үйлестіру арқылы ортақ желіге қосуға болатындығын көрсетеді.

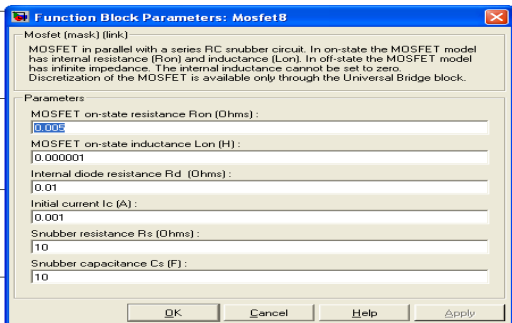
Гармониканың жоғары кернеулері маңызды және оларды инвертор шығысында конденсатор қосылған кезде сүзгілер немесе индуктивті жүктеме арқылы жоюға болады [8; 9; 10].

Әрбір тұрақты кернеу көзі Function block Parameters терезесінде анықталады (8-сурет). Тұрақты көздер кернеу деңгейлердің санын анықтайды және әр деңгейде кернеу мәні сәйкес келеді.



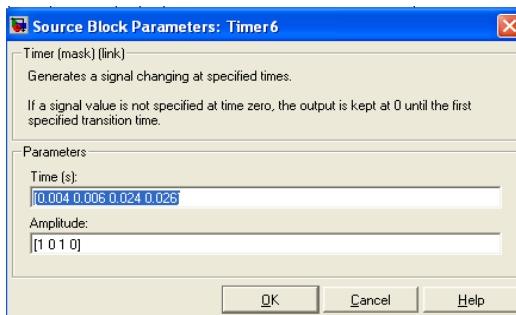
Сурет 8 – Тұрақты кернеу көзі терезесі

$t_1$  уақыт көпір түрлендіргішінің бірінші жазықтығында ашылған транзисторлар және  $E_1$  көзінің кернеуінен тұрақты ток  $R_n$  жүктемесі арқылы өтеді. Таймер транзисторларға қосылған. Транзистордың әр параметрі үшін функционалды блок параметрлері терезесі анықталады (9-сурет).



Сурет 9 – Транзисторлардың параметрлер терезесі

Әрбір транзистор үшін таймер source Block Parameters timer терезесінде орнатылады (10-сурет).



Сурет 10 – Таймер параметрлерін орнату терезесі

Белгілі бір уақыттан кейін екінші деңгей жартылай көпір тізбегіндегі транзисторларды ашылады және тұрақты ток бастап  $E_2$  тұрақты кернеу көзі  $R_n$  жүктеме арқылы өтеді.

Көп деңгейлі инвертор-бұл бірнеше тұрақты ток көздерінен шығатын синусоидалы кернеуді синтездейтін қуатты электронды жүйе. Бұл тұрақты ток көздері аккумуляторлар, күн батареялары, ультра конденсаторлар және т. б. болуы мүмкін. Көп деңгейлі инверторлардың негізгі идеясы-коммутаторларды қолдана отырып, синусоидалы кернеу мен шығыс тогын жақсарту. Көптеген қосқыштар тізбектей қосылғандықтан, ауысу бұрыштары көп деңгейлі инверторларда маңызды, өйткені барлық қосқыштар шығыс кернеуі мен токтың гармоникалық бұрмалануы төмен болатындай етіп ауысуы керек [9].

### Қорытынды

Векторлық ЕИМ қолдану қуат көзін пайдалану пайызын арттыратын әртүрлі басқару алгоритмдерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Каскадты көп деңгейлі инвертор схемасын қолдану басқару алгоритмдерінің икемділігін одан әрі арттырады, өйткені тапсырманы шешу үшін тізбектің негізгі элементтерінің бекітілген күйлерінің бірнеше нұсқаларын қолдануға болады. Көп деңгейлі схемаларды басқарудың күрделі архитектурасы мен алгоритмдері олардың жоғары техникалық және экономикалық тиімділігімен өтеледі.

## ПАЙДАЛАҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Ding, K., Ka Wai Eric Cheng, and Y. P. Zou. «Analysis of an asymmetric modulation method for cascaded multilevel inverters» // IET Power Electronics 5. No. 1. – (2012). P 74–85.

2 Илипбаева, Л. Б. Современные методы преобразования солнечной энергии в электроэнергию переменного напряжения // Международная научно-практическая конференция «Информационно-308

инновационные технологии : интеграция науки, образования и бизнеса». – Алматы, 2008.– С. 143–147.

3 **Грабовецкий, Г. В., Харитонов, С. А., Преображенский, Е. Б., Резниченко, Ф. М., Попов, В. П., Красников, Ю. И., Берестов, В. М.** Некоторые тенденции в развитии приборов и устройства силовой электроники // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – № 9. – С. 921–923.

4 **Черных, И. В.** Simulink среда создания инженерных приложений. – М. : Диалог – МИФИ, 2004. – 496 с.

5 **Дьяконов, В. П.** MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения : полное руководство пользователя. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – С. 455–470.

6 **Герман-Галкин, С. Г.** Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 : учебное пособие. – СПб : КОРОНА, 2001. – 320 с.

7 **Евстифеев, А. В.** Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL. – М. : Издательский дом «Додэка XXI», 2008. – 45 с.

8 **Исембергенов, Н. Т., Молдахметов С. С., Тайсариева, К. Н.** К вопросу о разработке системы управления силовым инвертором для индукционного нагрева // «STRATEGICZNE PYTANIA SWIATOWEJ NAUKI-2014». – Польша : Przemysl Nauka I studia, 2014. – С. 50–53.

9 **Anjali Krishna, R. Dr L Padma Suresh** A brief review on multilevel inverter topologies” Conference on Circuit" Power and Computing Technologies [ICCPCT]. 2016.

10 **Patel, Purnesh, Rejo Roy, Albert John Varghese, And Satyadharma Bharti** A Review on Multilevel Inverter Having Switched Capacitor with Reduced Number of Insulated Dc Supplies 2022.

## REFERENCES

1 **Ding, K., Ka Wai Eric Cheng, and Y. P. Zou.** «Analysis of an asymmetric modulation method for cascaded multilevel inverters» IET Power Electronics 5, No. 1 2012. P. 74–85.

2 **Пипбаева, Л. В.** Sovremennye metody preobrazovaniya solnechnoj energii v elektroenergiyu peremennogo napryazheniya [Modern methods of converting solar energy into alternating voltage electricity] // International scientific and practical conference Information and innovative technologies: integration of science, education and business. – Almaty, 2008. – P. 143–147.

3 **Graboveckij, G. V., Haritonov, S. A., Preobrazhenskij, E. B., Reznichenko, F. M., Popov, V. P., Krasnikov, YU. I., Berestov, V. M.** Nekotorye tendencii v razviii priborov i ustrojstva silovoj elektroniki [Some trends in the development of devices and devices of power electronics] //

Chemistry in the interests of sustainable development. – 2001. –No. 9. – P. 921–923.

4 **Chernyh, I. V.** Simulink sreda sozdaniya inzhenernyh prilozhenij [Simulink environment for creating engineering applications] – Moscow : Dialog - MEPI, 2004. – P. 496.

5 **D'yakov, V. P.** MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Osnovy primeneniya : polnoe rukovodstvo pol'zovatelya. [MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Fundamentals of application : a complete user's guide]. – Moscow: SOLON-Press, 2004. – P. 455–470.

6 **German-Galkin, S. G.** Komp'yuternoe modelirovanie poluprovodnikovyyh sistem v MATLAB 6.0 : uchebnoe posobie. [Computer modeling of semiconductor systems in MATLAB 6.0 : textbook] – St. Petersburg: KORONA, 2001. – P. 320.

7 **Evstifeev, A. V.** Mikrokontrollery AVR semejstv Tiny i Mega firmy ATMEL [AVR microcontrollers of the Tiny and Mega families of ATMEL]. – Moscow : Dodeka XXI Publishing House, 2008. – P. 45.

8 **Isembergenov, N. T., Moldahmetov S. S., Tajsarieva, K. N.** K voprosu o razrabotke sistemy upravleniya silovym invertorom dlya indukcionnogo nagreva [On the development of a power inverter control system for induction heating] // «STRATEGICZNE PYTANIA SWIATOWEJ NAUKI-2014». – Poland : Przemysl Nauka I studia, 2014. – P. 50–53.

9 **Anjali Krishna, R. Dr L Padma Suresh** A brief review on multilevel inverter topologies Conference on Circuit" Power and Computing Technologies [ICCPCT] 2016.

10 **Patel, Purnesh, Rejo Roy, Albert John Varghese, And Satyadharma Bharti** A Review on Multilevel Inverter Having Switched Capacitor with Reduced Number of Insulated Dc Supplies" (2022).

18.01.24 ж. баспаға түсті.

14.02.24 ж. түзетулерімен түсті.

05.03.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*К. Н. Тайсариева, \*Г. С. Джобалаева, Н. Т. Исембергенов,*

*К. Б. Мүсілімов, А. Е. Қуттыбаева*

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 18.01.24.

Поступило с исправлениями 14.02.24.

Принято в печать 05.03.24.

## **МНОГОУРОВНЕВАЯ СИНУСОИДАЛЬНАЯ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (SPWM) В МУЛЬТИУРОВНЕВОМ ИНВЕРТОРЕ**

*В данной научной статье рассматриваются методы преобразования постоянное напряжение на переменную, как широтно-импульсная модуляция (PWM) и многоуровневая модуляция (MLM). Описан процесс оптимизации алгоритма по критерию минимального потребления электроэнергии из питающей сети. Приведены результаты моделирования системы мультиуровневого инвертора с использованием разработанного алгоритма. Сравнение результатов применения многоуровневого синусоидального широтно-импульсную модуляцию с известными алгоритмами показало высокую эффективность предлагаемых решений в части понижение THD и обеспечения высоких энергетических характеристик мультиуровневого инвертора. Суть метода синусоидальной ШИМ состоит в отказе от одновременной коммутации ключами инвертора и в переходе к коммутации между несколькими, заранее выбранными состояниями инвертора, каждое из которых соответствует определенному пространственному положению базового вектора напряжения. Анализируется сравнение спектра и уровня качества выходного напряжения при формировании различных типов импульсной Широтной модуляции в соответствии с синусоидальным законом. Это показывает, как можно улучшить качество напряжения. В этой статье исследование сделаны по теме грантового финансирования «Разработка привязной унифицированной мультикоптерной платформы двойного назначения с инвертором с повышенной частотной коммутацией и высоким коэффициентом преобразования напряжения».*

*Ключевые слова: инвертор, многоуровневая модуляция, мультиуровневая, THD, метод PWM, многоуровневый.*

*K. N. Taissariyeva, \*G. S. Jobalayeva, N. T. Issembergenov,  
K. B. Mussilimov, A. E. Kuttybayeva*

<sup>1</sup>Kazakh National Research Technical University after K. I. Satpayev,  
Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 18.01.24.

Received in revised form 14.02.24.

Accepted for publication 05.03.24.

## **MULTI-LEVEL (SPWM)SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION IN MULTI-LEVEL INVERTER**

*This scientific article deals with DC to AC conversion methods Multilevel Modulation (MLM) and Pulse Width Modulation (PWM). The process of optimization of the algorithm according to the criterion of minimum consumption of electricity from the power network is described. The results of multi-level inverter system modeling using the developed algorithm are given. Comparison of the results of using multi-level sinusoidal pulse-width modulation with well-known algorithms showed the high efficiency of the proposed solutions in reducing THD and ensuring high energy performance of the multi-level inverter. The essence of the sinusoidal PWM method is to simultaneously cancel the switching of the inverter keys and switch between several, pre-selected inverter states, each of which corresponds to a specific spatial location of the main voltage vector. In accordance with the sinusoidal law, a comparison of the spectrum and quality level of output voltage during the formation of different types of Pulse latitude modulation is analyzed. This shows how to improve the quality of the output tension. The research in this article was carried out on the topic of grant funding «Development of an integrated multi-copter platform combining dual purpose with an inverter with high frequency conversion and high voltage conversion ratio».*

*Keywords: inverter, multi-level modulation, multi-level, THD, PWM method, multi*

Теруге 06.03.2024 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс №4204

Сдано в набор 06.03.2024 г. Подписано в печать 29.03.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4204

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz