

НОВІ МЕТОДИ ПОБУДОВИ КЕРОВАНИХ ІМПУЛЬСНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ВИХОДОМ НА ЗМІННОМУ СТРУМІ

В цій статті на основі аналізу існуючих методів побудови керованих імпульсних джерел електроживлення з виходом на змінному струмі запропоновано нову топологію таких джерел, яка базується на використанні високочастотних магнітних підсилювачів в ролі силових комутаційних елементів. Зроблено порівняння з існуючими аналогами. Приведено функціональну схему силової частини запропонованого керованого джерела електроживлення та описано принцип її роботи.

Ключові слова: кероване імпульсне джерело електроживлення, високочастотний магнітний підсилювач, схема керування, широтно-імпульсна модуляція

V. I. YASKIV

Ternopil Ivan Puluji National Technical University

NEW METHODS OF DESIGN OF CONTROLLED AC SWITCH MODE POWER SUPPLIES

Abstract – The aim of the research is creation of methods of design of controlled switch mode power supplies with ac output with an opportunity to provide a wide range of variation of their main parameters (power, frequency, amplitude).

In this paper, based on analysis of existing methods of design of controlled switch mode power supplies with ac output, a new topology of such power supply is suggested. It is based on the use of high-frequency magnetic amplifiers as switching elements. A comparison with existing analogues was made. The power circuit functional scheme of the suggested switch mode power supply is shown. Its principles of operation are described.

The suggested method can be used for design of uninterruptable power supplies with high output voltage quality, high power (hundreds watts – few kilowatts) electric drive systems with frequency regulation, in alternative energy.

Keywords: controlled switch mode power supply, high-frequency magnetic amplifier, control circuit, pulse width modulation

Вступ

На сьогоднішній день значна частина електроенергії споживається радіоелектронною апаратурою, системами та комплексами автоматики і телемеханіки, засобами радіозв'язку тощо. Часто вимоги до джерел живлення вказаних споживачів включають в себе не лише забезпечення постійних напруг певного рівня, але і змінних, не лише стабілізацію напруги, але й керування нею, а також можливість зміни вихідних характеристик самого джерела.

Найбільша потреба в керованих джерелах електроживлення із виходом на змінному струмі виникає при побудові регульованих електроприводів та систем безперебійного електроживлення. Питання удосконалення джерел електроживлення – їх енергетичних, надійнісних, питомих масо-габаритних показників - завжди були, є і будуть актуальними.

Основна частина

Створення нових технологій, матеріалів, компонентів приводять до можливості побудови джерел живлення по принципово нових схемних і структурних рішеннях [1].

Найпростішій реалізації пристрою, який виконує задані функції, відповідає структурна схема, що зображена на рис.1.

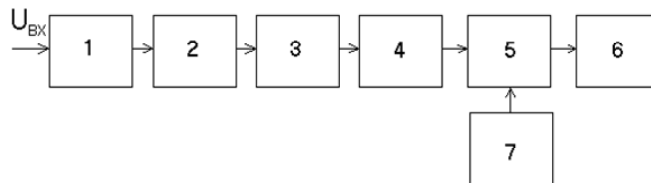


Рис.1. Структурна схема лінійного керованого джерела живлення з виходом на змінному струмі (1 - трансформатор, 2 - випрямляч, 3 - фільтр, 4 - стабілізатор, 5 - регулюючі елементи, 6 - навантаження, 7 - схема керування)

Регулюючі елементи (РЕ) 5 можна вмикати по мостовій, півмостовій схемі та по схемі із середньою точкою.

Переваги такої структури наступні - простота схемотехніки, висока точність, високі динамічні показники, великий досвід проектування таких систем.

Проте їй властиві наступні недоліки - низький ККД, незадовільні масо-габаритні показники, проблематичне забезпечення температурних режимів. Це зумовлене тим, що РЕ працюють в активному режимі. В теперішній час така топологія знаходить застосування лише для малопотужних споживачів.

Перспективнішим є використання регулюючих елементів у ключовому режимі (режимі класу D) з використанням широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Даній реалізації відповідає структурна схема,

зображена на рис. 2.

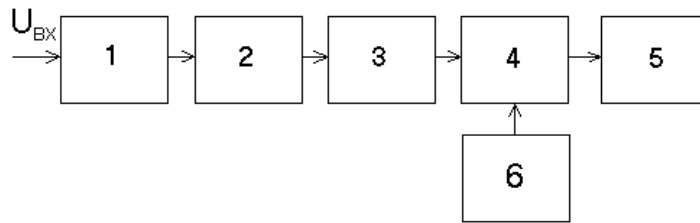


Рис. 2. Функціональна схема класичного імпульсного керуваного джерела живлення з виходом на змінному струмі (1 - високочастотний стабілізований перетворювач, 2 - випрямляч, 3 - фільтр, 4 - регулюючі елементи, 5 - навантаження, 6 - схема керування регулюючими елементами)

Як і в попередньому випадку, РЕ ввімкнуті по схемі моста, півмоста чи по схемі із середньою точкою, однак керуються вони комбінованим широтно-частотно-імпульсним модулятором. Вигляд напруги на навантаженні подано на рис.3.

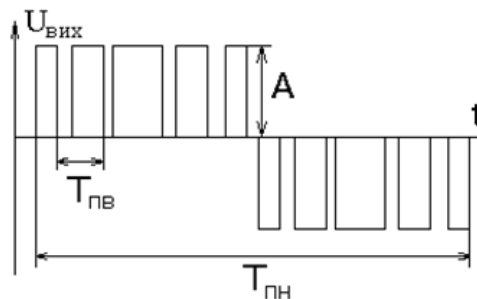


Рис. 3. Форма напруги при комбінованій широтно-частотно-імпульсній модуляції (A – амплітуда вихідної напруги, $T_{ПВ}$ – період ШІМ, $T_{ПН}$ – період частотної модуляції)

Переваги такої структури наступні - задовільний ККД, мала маса, малі габарити.

Притаманні їй недоліки – складне керування регулюючими елементами, порівняно високі динамічні втрати в регулюючих елементах, які ростуть пропорційно частоті ШІМ.

Щоб позбутися вказаних недоліків, використовують пристрої, збудовані за структурною схемою, зображеною на рис. 4:

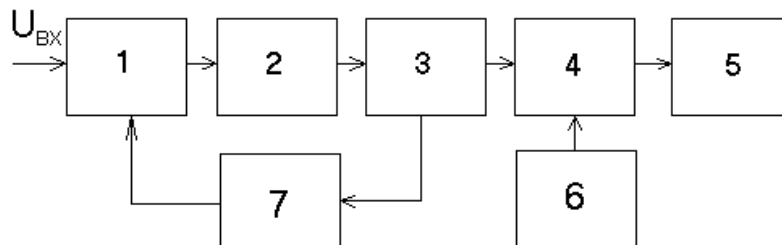


Рис. 4. Функціональна схема імпульсного керуваного джерела живлення з виходом на змінному струмі (1 - регульований високочастотний перетворювач, 2 - випрямляч, 3 - фільтр, 4 - регулюючі елементи, 5 - навантаження, 6 - схема керування регулюючими елементами з ЧМ, 7 - схема керування регульованим високочастотним перетворювачем з ШІМ)

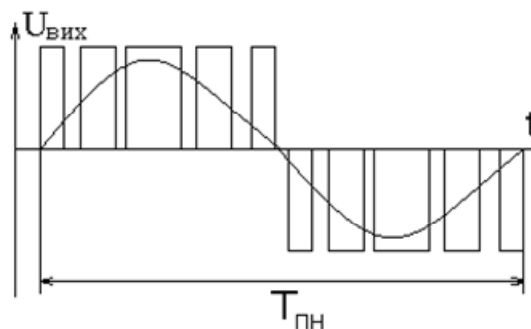


Рис. 5. Форма відфільтрованої напруги на виході джерела живлення

Напруга на навантаженні матиме вигляд, зображений на рис.5. Тут регульований високочастотний перетворювач (РВП) формує вихідну напругу по закону ШІМ, а полярність змінюється регулюючими

елементами по закону частотної модуляції (ЧМ).

Недоліки у порівнянні з попередньою структурою:

- у випадку N фаз необхідне N -кратне дублювання складових.
- динаміка схеми погіршується, оскільки коло зворотнього зв'язку охоплює ключові елементи РВП, його трансформатор, випрямляч та фільтр.

Зважаючи на вищевказане, найраціональнішою була б структура, зображена на рис. 6.

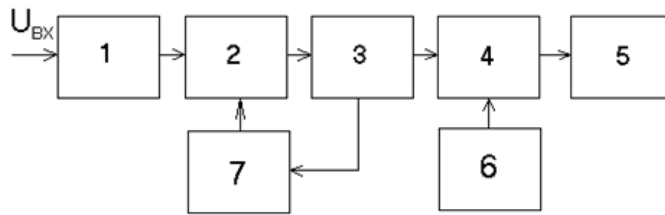


Рис. 6. Пропонована структурна схема імпульсного керованого джерела живлення з виходом на змінному струмі (1 - високочастотний нерегульований перетворювач, 2 - синхронний випрямляч, 3 - фільтр, 4 - регулюючі елементи, 5 - навантаження, 6 - схема керування регулюючими елементами з ЧМ, 7 - схема керування синхронним випрямлячем з ШІМ)

Динаміка такої системи є вищою, ніж у попередньому випадку за рахунок виключення з кола зворотного зв'язку високочастотного силового трансформатора та ключових елементів високочастотного перетворювача. Керування ключовими елементами спрощується, а також полегшується режим їх роботи.

Однак реалізація даної схеми сучасними способами досить складна. В першу чергу це обумовлено використанням в ролі синхронного випрямляча напівпровідникових елементів [2].

Пропонується як силові комутаційні елементи в керованих імпульсних джерелах електроживлення використати високочастотні магнітні підсилювачі. Це по суті дроселі насичення з осердям з магнітом'якого аморфного сплаву з прямокутною петлею гістерезису. Такого роду магнітний ключ у поєднанні з випрямним діодом та колом розмагнічування утворює синхронний випрямляч, схема керування яким містить лише 1-2 активні елементи. Широтно-імпульсна модуляція в такому силовому комутаційному елементі досягається за рахунок регулювання співвідношення насиченого і ненасиченого його станів шляхом зміни глибини розмагнічення його осердя у функції контрольованих параметрів чи заданого закону регулювання. Принцип його роботи, аналіз процесів в стабілізаторі на його основі, їх порівняльний аналіз з транзисторними розглянуті в літературі [3-6].

На рис. 7 приведено функціональну схему силовій частині керованого джерела живлення із застосуванням високочастотних магнітних підсилювачів [7].

Нерегульований перетворювач 1 подає високочастотну змінну напругу на трансформатор TV. Регулятори на дроселях насичення TS1 і TS2 (TS3, TS4) забезпечують стабілізацію постійної додатньої (від'ємної) напруги шляхом широтно-імпульсної модуляції у відповідності із задаючим сигналом. Ключі VT1, VT2 комутують різнополярну напругу в протифазі. При цьому на навантаженні отримуємо змінну напругу, частота якої визначається частотою керуючих сигналів $U1$, $U2$.

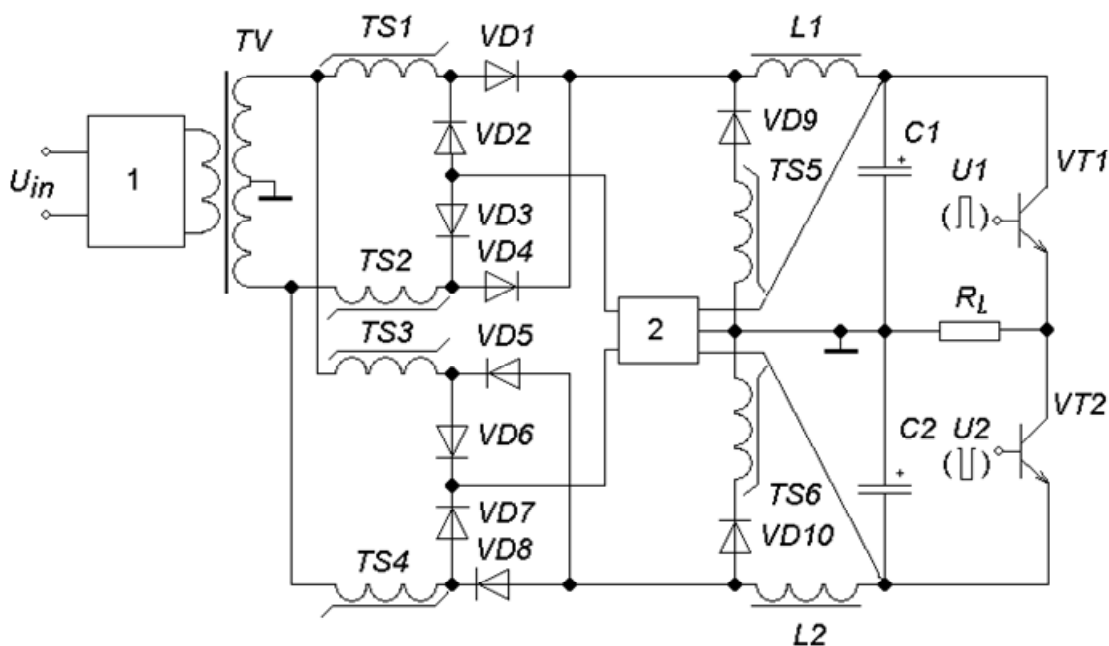


Рис. 7. Функціональна схема силовій частині керованого джерела живлення (1 - нерегульований високочастотний перетворювач, 2 - схема керування)

Кероване джерело електроживлення з виходом на змінному струмі працює наступним чином: у

від'ємний півперіод для дроселя насичення TS1 (TS4) має місце так званий півперіод керування. В цей проміжок часу діод VD1 (VD8) закритий, діод VD2 (VD7) відкритий і створюється коло для протікання струму через схему керування 2, розмагнічуючий діод VD2 (VD7) і дросель насичення TS1 (TS4). Під дією цього струму відбувається розмагнічення матеріалу дроселя насичення TS1 (TS4) від рівня індукції насичення B_s до якогось рівня B_1 . Глибина розмагнічення регулюється схемою керування 2 у функції вихідної напруги. При зміні полярності вхідної напруги перемагнічування починається із запам'ятованого рівня індукції B_1 . Коли для дроселя насичення TS2 (TS3) має місце півперіод керування, для дроселя насичення TS1 (TS4) має місце інший режим – робочий півперіод. У цьому випадку розмагнічуючий діод VD2 (VD7) закритий, діод VD1 (VD8) відкритий і джерело вхідної високочастотної змінної напруги через дросель насичення TS1 (TS4) та діод VD1 (VD8) під'єднане до навантаження. Робочий півперіод складається з двох етапів. На першому етапі відбувається перемагнічення дроселя насичення TS1 (TS4) від якогось запам'ятованого рівня індукції B_2 до індукції насичення B_s . Час цього перемагнічування є значно менший, ніж час розмагнічування у півперіод керування за рахунок відсутності обмеження швидкості перемагнічування (опір навантаження на порядки менший за еквівалентний опір кола керування). Тому насичення дроселя досягається в межах півперіоду частоти вхідної змінної напруги. Після досягнення насичення дросель має практично нульовий опір (активний опір обмотки дроселя) і струм в колі обмежується лише опором навантаження (другий етап). В результаті формується різнополярна напруга на виході схеми. Комутація напруги на навантаженні здійснюється ключами VT1, VT2, які задають необхідну частоту вихідної змінної напруги.

Пропонований метод дозволяє отримати вихідну змінну напругу на навантаженні від нуля до десятків кілогерц. Його стабілізація здійснюється магнітними ключами на високій частоті (50-200 кГц). Відпрацювання збурення здійснюється за півперіод цієї частоти комутації, оскільки магнітний ключ є безінерційною ланкою із запізненням на півперіода цієї частоти. Тим самим забезпечується високий рівень динамічних характеристик [8].

В порівнянні з існуючими така топологія володіє цілим рядом переваг: вищий рівень надійності, що властиво магнітним елементам; реалізація закону керування магнітним шляхом, що значно розширює можливості регулювання; можливість отримання на виході сигналу в широкому діапазоні зміни основних його характеристик (потужності, частоти, амплітуди) з високими показниками якості; високий рівень динамічних характеристик; низький рівень випромінюваних електромагнітних завад [9,10]; високий ККД (> 95%); всі відомі переваги пристроїв перетворювальної техніки на основі високочастотних магнітних підсилювачів [5,6].

Висновки

Запропонований метод побудови керування джерел електроживлення на основі використання високочастотних магнітних підсилювачів може бути використаний при побудові джерел безперебійного електроживлення з високою якістю вихідної змінної напруги, систем прецизійного електроприводу невеликої потужності (сотні ват – одиниці кіловат) з частотним регулюванням, в альтернативній енергетиці, що забезпечать їм якісно новий рівень експлуатаційних характеристик – якості вихідної напруги (максимально відтворює синусоїду, за рівнем динамічних характеристик аналогів не існує), надійності, ціни (в рази дешевші за аналоги), ефективності, питомих показників тощо.

Література

1. Миловзоров В.П., Мусолин А.К. Дискретные стабилизаторы и формирователи напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.: ил.
2. Функциональные устройства систем электропитания наземной РЭА. Под редакцией В.Г. Костикова. - М.: Радио и связь, 1990. – 192 с.: ил.
3. K. Harada, T. Nabeshima, "Applications of magnetic amplifiers to high-frequency dc-to-dcconverters," Proc. of the IEEE, 1988, vol. 76, N. 4, p. 355-361.
4. Яськів В.І. Математична модель імпульсного стабілізатора напруги на магнітних ключах. Технічна електродинаміка, №6, 2002.
5. Яськів В.І. Нові методи розробки імпульсних джерел вторинного електроживлення засобів комп'ютерної техніки. Теоретична електротехніка. Національний університет "Львівська політехніка", №56, 2002.- 135-141с.
6. V. Yaskiv, "Using of High-Frequency Magnetic Amplifier in Switch Mode DC Power Supplies," Proceedings of the 35th Annual IEEE Power Electronic Specialists Conference (PESC'04), Aachen, 2004, — p. 1658–1662.
7. Патент України №74199. Керуване джерело електроживлення з виходом на змінному струмі // Яськів В.І., Гурник О.П. -Опубл. в Бюл.№11, 2005.
8. Яськів В. І., Юрченко М. М., Гурник О. П. Експериментальне дослідження динамічних характеристик напівпровідникових перетворювачів електроенергії з високочастотними магнітними підсилювачами. Технічна електродинаміка (Тематичний випуск «Силова електроніка та

енергоефективність»), 2005. -ч. 4,с. 7–9.

9. V.Yaskiv, A.Abramovitz, K.Smedley, “MagAmp Power Converters with Low Level EMI,” XII International Conference “The Experience of designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM 2013)”, Lviv Polytechnic National University, 19-23 February, 2013, Polyana-Svalyava (Zakarpatya), UKRAINE, p.388-395.

10. V.Yaskiv, A.Abramovitz, K.Smedley, A.Yaskiv, “MagAmp Regulated Isolated AC-DC Converter with High Power Factor,” special issue of journal COMMUNICATIONS - Scientific Letters of the University of Zilina, ISSN 1335-4205, No. 1A/2015, p. 28-34.

References

1. V. P. Milovzorov, A. K. Musolin, Diskretnye stabilizatori i formirovateli napryazheniya, M.: Energoatomizdat, 1986.
2. Funkcionalnie ustrojstva system elektropitaniya nazemnoj REA. Podredakciej V. G. Kostikova, M.: Radio i svyaz, 1990.
3. K. Harada, T. Nabeshima, “Applications of magnetic amplifiers to high-frequency dc-to-dc converters,” Proc. of the IEEE, 1988, vol. 76, N. 4, p. 355-361.
4. V. I. Yaskiv, “Matematychna model impulsnogo stabilizatora napruhy n amagnitnyh kluchah,” Tehnichna elektrodynamika, №6, 2002.
5. V. I. Yaskiv, “Novi metody rozrobky impulsnyh dzherel vtorynnogo elektrozhvylnnia zasobiv kompyuternoi tehniky,” Teoretychna elektrotehnika, Natsionalnyi universytet “Lvivska politehnika,” №56, 2002, 135-141s.
6. V.Yaskiv, “Using of High-Frequency Magnetic Amplifier in Switch Mode DC Power Supplies,” Proceedings of the 35th Annual IEEE Power Electronic Specialists Conference (PESC’04), Aachen, 2004, — p. 1658–1662.
7. Patent Ukrainy #74199. Kerovane dzherelo elektrozhvylnnia z vyhodom na zminnomu strumi // V. I. Yaskiv, O. P. Gurnik. - Opubl.v Biul. #11, 2005.
8. V. I. Yaskiv, M. M. Yurchenko, O. P. Gurnik, “Eksperymentalne doslidzhennia dynamichnyh charakterystyk napivprovodnykovykh peretvoriuvachiv elektroenergii z vysokochastotnymu magnitnymu pidlyuvachamy,” Tehnichna elektrodynamika (Tematychnyi vypusk “Sylova elektronika ta energoefektyvnist”), 2005, ch. 4, s. 7–9.
9. V. Yaskiv, A. Abramovitz, K. Smedley, “MagAmp Power Converters with Low Level EMI,” XII International Conference “The Experience of designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM 2013)”, Lviv Polytechnic National University, 19-23 February, 2013, Polyana-Svalyava (Zakarpatya), Ukraine, p.388-395.
10. V. Yaskiv, A. Abramovitz, K. Smedley, A. Yaskiv, “MagAmp Regulated Isolated AC-DC Converter with High Power Factor,” special issue of journal COMMUNICATIONS - Scientific Letters of the University of Zilina, ISSN 1335-4205, No. 1A/2015, p. 28-34.

Рецензія/Peer review : 9.12.2015 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2015 р.

Рецензент: д. т. н., професор Євтух П. С.

УДК 621.317.322

А.В. РУДИК

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ФАЗОЧАСТОТНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ АМПЛІТУДИ ЗМІННОЇ НАПРУГИ СИНУСОЇДАЛЬНОЇ ФОРМИ

Амплітуда змінної напруги синусоїдальної форми може бути перетворена в часовий інтервал, що визначається моментами переходу гармонічного сигналу через фіксовані рівні. Запропоновано вдосконалений фазочастотний метод вимірювання амплітуди змінної напруги синусоїдальної форми. Показано використання даного методу для реалізації багатоканальних вимірювачів (при використанні декількох опорних напруг) та для вимірювання відношення амплітуд змінних напруг синусоїдальної форми. Похибка розроблених вимірювачів визначається переважно точністю вимірювання або перетворення часових інтервалів.

Ключові слова: амплітуда змінної напруги синусоїдальної форми, фазочастотний метод вимірювання, опорна напруга, відношення амплітуд, похибка вимірювання.

A.V. RUDYK

National University of Water and Environment Management, Rivne, Ukraine

PHASE – FREQUENCY METHOD MEASURE THE AMPLITUDE SINUSOIDAL ALTERNATING VOLTAGE

Abstract – The aim of this work is to improve the phase-frequency method of measuring the amplitude sinusoidal alternating voltage (with the possibility of using it to measure the ratio of amplitudes).

The amplitude of the sinusoidal alternating voltage can be converted into a time interval that is determined moments of transition harmonic signal at fixed levels. An improved method for measuring the phase-frequency amplitude sinusoidal alternating voltage. Shown using this method to implement multi-meters (using several reference voltages) and to measure the ratio of variable amplitude sinusoidal voltage. Accuracy meters designed mainly determined by the accuracy of measurement or conversion time intervals.

Thus, the article made autocompensation phase-frequency method for measuring amplitude sinusoidal alternating voltage, modifications which can be used in multi-channel devices and in measuring the ratio of amplitudes.

Keywords: amplitude sinusoidal alternating voltage, phase-frequency measurement method reference voltage, the ratio of amplitudes, measurement error.

Вступ

Пристрій для вимірювання амплітуди змінної напруги синусоїдальної форми називається вольтметром змінного струму. Типова структурна схема вольтметра змінного струму складається з