

3. Tkachuk, R.A., Yavorsky, B.I. and Yanenko, O.P., 2015. Evaluation of the risk of neurotoxicity with the help of electroretinography. *Bulletin of the National Technical University of Ukraine Kyiv Polytechnic Institute, Ser. Radio engineering. Radio equipment construction*, 0(61), 108-115pp. DOI:10.33108/RADAR.2015.-61.108-115pp.

4. Robson, A.G., Nilsson, J., Li, S., Jalali, S., Fulton, A.B., Tormene, A.P., Holder, G.E. and Brodie, S.E., 2018. ISCEV guide to visual electrodiagnostic procedures. *Documenta Ophthalmologica*, 136(1), pp.1-26.

5. Tymkiv, P., 2021. Analysis of the Complexity of Algorithms for Finding the Coefficients of the Mathematical Model of Low-Intensity Electroretinosignal. In: *Advanced Applied Energy and Information Technologies 2021. Proceedings of the International Conference*, Ternopil, 15-17 December 2021, pp.145-150.

6. Muskingum Models Using Nelder-Mead Simplex Algorithm, 2011. *Journal of Hydrologic engineering*, 16(11), pp.946-954. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000379.

7. Nocedal, J. and Wright, S.J., 2016. Optimization methods: A review. *SIAM Review*, 58(3), pp.492-525.

УДК 621.314

Яськів В.І., д.т.н., проф.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

Яськів А.В., к.т.н.

Економічний університет у Вроцлаві, Польща

Юрченко О.М., д.т.н., проф.

Інститут електродинаміки НАН України, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИСОКОЧАСТОТНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Анотація. Представлено запропонований метод синхронного випрямлення в імпульсному стабілізаторі постійної напруги (ІСПН) на основі високочастотних магнітних підсилювачів (ВМП), що базується на використанні уже наявних в перетворювачі сигналів та відсутності будь-яких додаткових елементів чи спеціалізованих драйверів в його схемотехніці на відміну від загальноприйнятих підходів. Описано принцип його роботи. Приведено результати експериментального дослідження ефективності такого перетворювача на вихідну потужність 300-400 Вт при живленні його від джерела постійної напруги 310 В (еквівалент мережі промислової частоти). При цьому отримано ККД на рівні 95 %. На сьогодні це найвищий показник у світовій практиці в області перетворювальної техніки за критерієм ефективність/собівартість.

Ключові слова: синхронний випрямляч, польовий транзистор, імпульсний стабілізатор постійної напруги, високочастотний магнітний підсилювач, дросель насичення, ефективність.

Yaskiv V. I., DSc in Technical Sciences, Professor
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

Yaskiv A. V., PhD in Technical Sciences
Wrocław University of Economics and Business, Poland

Yurchenko O. M., DSc in Technical Sciences, Professor
Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

ENSURING HIGH EFFICIENCY OF HIGH-FREQUENCY SEMICONDUCTOR POWER CONVERTERS

Abstract. The proposed study presents a method of synchronous rectification in a DC-DC switching regulator based on high-frequency magnetic amplifiers (HFMAs). This approach utilizes existing signals within the converter and eliminates the need for additional components or specialized drivers in its circuitry, distinguishing it from conventional methods. The working principle of the proposed method is described. Experimental results demonstrate the efficiency of the converter at an output power of 300–400 W when powered by a 310 V DC source (equivalent to an industrial-frequency grid). The achieved efficiency of 95% represents the highest recorded value in global power conversion technology in terms of the efficiency-to-cost ratio.

Keywords: synchronous rectifier, field-effect transistor, DC-DC switching regulator, high-frequency magnetic amplifier, saturation choke, efficiency.

Сучасні спеціалізовані комп'ютерні системи часто потребують джерел електроживлення з високим рівнем струму навантаження при низьковольтному виході, який може бути рівним десяткам, а іноді і сотням ампер [1]. При цьому визначальною характеристикою такого перетворювача є його ефективність. Відомо, що основними втратами в сучасних високочастотних перетворювачах напруги є втрати на діодах [1] вихідного високочастотного випрямляча. З появою високочастотних MOSFET розробляється нова топологія випрямлячів: синхронний випрямляч. Специфіка його полягає у використанні MOSFET замість випрямного діода, який керується функцією напруги високочастотного силового трансформатора вторинної обмотки (синхронно з цією напругою) [2]. Однак особливості роботи MOSFET в ключовому режимі, а саме – протікання струму в ньому можливе після повного його відкриття і припинення його починається після подачі сигналу на закривання, причому цей процес не може бути керованим. Використання MOSFET синхронних випрямлячів в двотактних схемах приводить до появи

наскрізних струмів короткого замикання. Тому використання MOSFET синхронних випрямлячів в двотактних схемах вимагає вирішення цієї проблеми. З цією метою розробляються відповідні схеми керування, а також спеціалізовані драйвери, що суттєво ускладнює топологію перетворювачів [2].

В основу методу побудови ІСПН з високим рівнем струму навантаження при високому коефіцієнті корисної дії покладено фундаментальну властивість ІСПН на ВМП, яка полягає в тому, що на початку кожного робочого півперіоду силовий струм в колі появляється тільки після досягнення дроселем насичення ВМП стану насичення (із принципу роботи ВМП). При поєднанні такого стабілізатора з синхронним випрямлячем при двотактному випрямленні в колі будуть відсутні наскрізні струми в усьому діапазоні зміни струму навантаження [3]. Однак, з точки зору комплексності системи, рівнонадійності, рівнозначності елементів, мінімізації втрат в інших елементах залишається невирішеною проблема мінімізації втрат у вихідному фільтрі (втрати на зворотному діоді). Струм через зворотній діод може сягати до 30% струму навантаження і суттєво впливає на загальний ККД перетворювача. Тому актуальною є також задача мінімізації цих втрат.

На рис. 1 показана функціональна схема ІСПН на ВМП з синхронним випрямленням та польовим транзистором у вихідному фільтрі (замість зворотного діода), що керується безпосередньо напругами дроселів насичення ВМП [4, 5]. Він містить нерегульований високочастотний транзисторний інвертор напруги 1 з силовим трансформатором TV1, двотактний випрямляч 2 з середньою точкою оснащений польовими транзисторами VT1 і VT2 з можливістю їх керування синхронно від відповідних вторинних обмоток W_2 і W_5 силового високочастотного трансформатора TV1, керовані дроселі насичення з обмотками W_6 і W_9 , вихідний фільтр 3, навантаження R1, схему керування 4 (один-два малопотужні транзистори, що працюють в лінійному режимі і реалізують функції: порівняння вихідної напруги з опорною і виділення похибки сигналу розузгодження та підсилювача постійного струму), розмагнічуючі діоди VD1 і VD2, причому вихідний фільтр оснащений польовим транзистором VT3 (замість зворотного діода) з можливістю керування від додатково встановлених відповідних обмоток W_7 і W_8 керованих дроселів насичення.

В результаті експериментального дослідження ефективності дослідного зразка такого перетворювача на вихідну потужність 300-400 Вт при живленні його від джерела постійної напруги 310 В (еквівалент мережі промислової частоти) було отримано ККД вище 95 % [6, 7].

На сьогодні це найвищий показник у світовій практиці в області перетворювальної техніки за критерієм ефективність/собівартість.

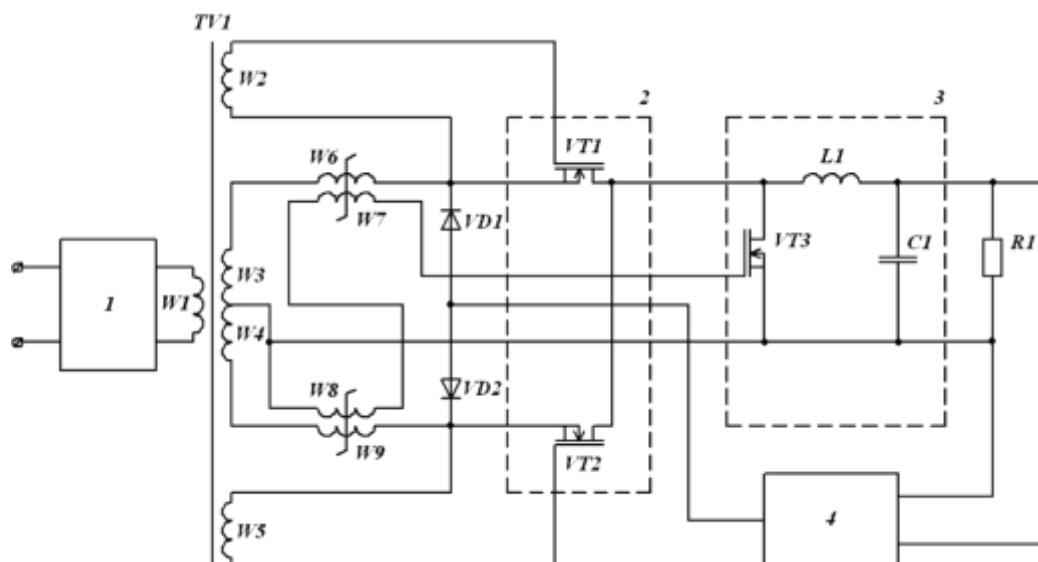


Рис. 1

Джерела та література

1. Liang S.A. Low cost and high efficiency PC power supply design to meet 80 plus requirement. *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*. Chengdu, China, 21-24 April 2008.
2. Hua L., Guo J., Jing X., Luo S. Design considerations for secondary side synchronous rectifier MOSFETs in phase shifted full bridge converters. *Proceedings of Twenty Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Long Beach, CA, USA, 17-21 March 2013. Pp. 526–531.
3. Яськів А. В. , Яськів В. І. . Стабілізатор постійної напруги: пат. на винахід 112230 Україна, МПК H02M 3/335, № а201412695; заявл. 26.11.2014; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.
4. Яськів А. В. , Яськів В. І. . Стабілізатор постійної напруги: пат. на винахід 112231 Україна, МПК H02M 3/335, № а201413122; заявл. 08.12.2014; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.
5. Yaskiv V., Yaskiv A., Yurchenko O. Synchronous Rectification in High-Frequency MagAmp Power Converters. *Proceedings of International conference Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Ceske Budejovice, Czech Republic, 1-3 June 2018. Pp. 128-131.
6. Yaskiv V., Yurchenko O., Martseniuk A., Yaskiv A. Synchronous Rectifier in High-Frequency 24V/15A MagAmp Power Converter. *IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*. Istanbul, Turkey, 2020. Pp. 113–117.
7. Яськів В. І. , Юрченко О. М. , Яськів А. В. Синхронний випрямляч в імпульсному стабілізаторі постійної напруги на основі високочастотних магнітних підсилювачів. *Технічна електродинаміка*, № 1 (2025), С. 35-41.