

УДК 621.314

Володимир Яськів

ВИСОКОЕФЕКТИВНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ВИСОКОЧАСТОТНИХ МАГНІТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

В цій статті описано методи побудови високочастотних напівпровідникових перетворювачів електроенергії (НПЕ), які базуються на використанні аморфних сплавів з прямокутною петлею гістерезису. Пояснюється принцип роботи високочастотних магнітних підсилювачів на прикладі регулятора напруги. Приведено їх порівняльний аналіз з транзисторними аналогами. Показана можливість побудови багатоканальних НПЕ з рівноцінними та незалежними вихідними аналами. Приведено основні технічні дані багатоканальних НПЕ.

Ключові слова: перетворювачі електроенергії, прямокутна петля гістерезису, високочастотні магнітні підсилювачі, ефективність

Надійна робота засобів радіоелектронної апаратури значною мірою визначається рівнем технічних характеристик систем їх енергозабезпечення — напівпровідникових перетворювачів електроенергії (НПЕ). Суттєві переваги імпульсних методів регулювання електричної енергії в порівнянні з лінійними зумовили використання імпульсних НПЕ в цій області техніки [1]. Розробка пристроїв такого роду проводиться у відповідності до таких критеріїв:

- забезпечення функціональних параметрів у повному діапазоні зміни всіх збурюючих факторів;
- забезпечення ефективності;
- забезпечення надійності;
- забезпечення масо-габаритних показників;
- забезпечення прийнятної ціни.

Специфічні вимоги при розробці НПЕ радіоелектронної апа-

ратури визначаються замовником і залежать від області їх використання. Вони такі:

- висока якість вихідної напруги;
- 100 % діапазон зміни струму навантаження;
- низький рівень електромагнітних завад (ЕМЗ);
- високі динамічні характеристики;
- високий рівень струму навантаження тощо.

Крім того, часто функціонування засобів радіоелектронної апаратури вимагає кількох рівнів напруг з різними рівнями струмів навантаження.

Принцип роботи регулятора напруги на основі високочастотного магнітного підсилювача

Сучасні загальноприйняті методи побудови НПЕ не завжди забезпечують оптимальне поєднання їх характеристик згідно з приведеними вище критеріями та вимогами [1]. Ця проблема може бути вирішена з мінімальними затратами як на розробку, так і при серійному виробництві, якщо використати імпульсні регулятори напруги на високочастотних магнітних підсилювачах (ВМП) [2,3,4]. Основу ВМП складає магнітний ключ (МК) — дросель насичення на високочастотному аморфному матеріалі з прямокутною петлею гістерезису (ППГ). Основним хімічним елементом цих сплавів є кобальт (понад 80%). Найкращими експлуатаційними характеристиками володіють аморфні сплави — 84КХСР, 82КХР. Їх технічні характеристики: коефіцієнт прямокутності — 0,9-0,99; індукція насичення — 0,65-0,7Т; напруженість поля повного перемагнічення на частоті 50 кГц — 10-15 А/м. Магнітний ключ використовується як силовий регулюючий елемент. Базова схема імпульсного регулятора напруги на ВМП і осцилограми, що пояснюють принцип її роботи, наведені на рисунку 1.

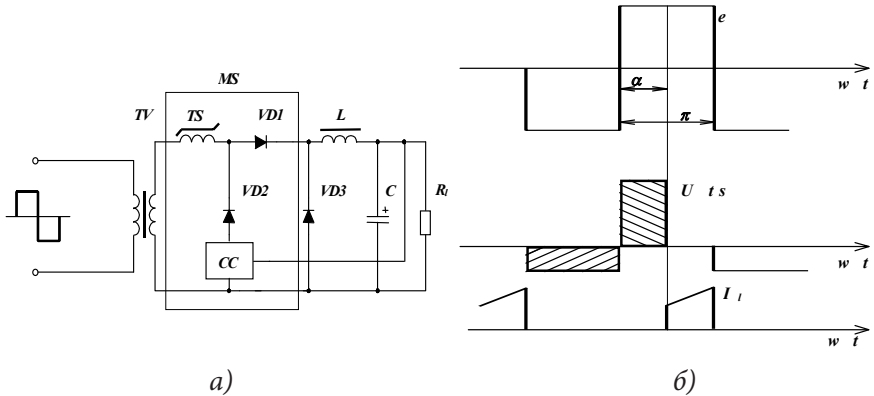


Рисунок 1. Базова схема імпульсного регулятора напруги на МК (а) і осцилограми, що пояснюють принципи її роботи (б)

Робочий цикл цього однообмоткового швидкодіючого магнітного підсилювача забезпечується за рахунок рознесення в часі керуючого та робочого півперіодів випрямним $VD1$ та розмагнічуючим $VD2$ діодами. В півперіод керування, який відповідає від'ємному знаку високочастотної змінної напруги, відбувається розмагнічування дроселя насичення ВМП з обмеженням швидкості перемагнічення (режим джерела струму) в функції сигналу керування. При зміні знаку напруги досягнутий рівень індукції запам'ятовується і починається робочий півперіод — перемагнічення в режимі е.р.с., який складається з двох ділянок: самого перемагнічення з запам'ятованого рівня індукції до індукції насичення B_s , та насиченого стану ключа, під час якого в колі протікає силовий струм, що визначається опором навантаження. Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) й робочий півперіод забезпечується зміною глибини розмагнічення в функції сигналу керування в керуючий півперіод, що зумовлює зміну співвідношення часів насиченого та ненасиченого станів МК у межах одного періоду.

Переваги магнітного ключа в порівнянні з транзисторним є суттєвими:

- МК є ключем змінної напруги;
- не критичний до форми вхідної напруги;

- коефіцієнт підсилення по струму до 1000;
- простота схеми керування (1-2 транзистори в лінійному режимі);
- не є джерелом електромагнітних завад;
- є фільтром вхідних завад (як в ненасиченому, так і в насиченому станах);
 - високий к.к.д. (99%), втрати не залежать від струму навантаження;
 - висока радіаційна та механічна стійкість;
 - не вимагає захисту (сам слугує елементом захисту транзисторного перетворювача);
 - багатфункціональність: підсилювач потужності, силовий комутаційний елемент, широтно-імпульсний модулятор, виконує функції інтегратора, компаратора, елемента захисту.

Такі регулятори під'єднані до вторинних обмоток високочастотного силового трансформатора інвертора дозволяють отримати багатоканальні НПЕ з рівноцінними і незалежними вихідними каналами. Структурна схема таких НПЕ наведена на рисунку 2.

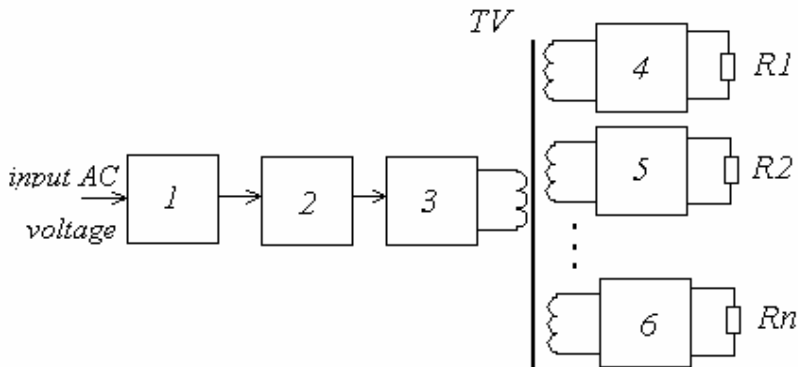


Рисунок 2. Структурна схема багатоканального НПЕ (1 — низькочастотний випрямляч; 2 — низькочастотний фільтр; 3 — нерегульований високочастотний транзисторний інвертор; 4,5,6 — імпульсні регулятори напруги на високочастотних магнітних підсилювачах)

Запропоновані методи дозволяють створити багатоканальні НПЕ на вихідні струми до кількох десятків ампер, а при використанні запропонованих методів забезпечення паралельної роботи окремих НПЕ і кількох сотень ампер [5].

Порівняльна характеристика НПЕ на основі високочастотних магнітних підсилювачів з традиційними НПЕ

НПЕ на основі високочастотних магнітних підсилювачів мають такі переваги в порівнянні з традиційними транзисторними НПЕ:

- можливість реалізації багатоканальних НПЕ з рівноцінними і незалежними вихідними каналами із 100% діапазоном зміни струму навантаження;
- допускають широкий діапазон зміни вхідної напруги;
- допускають високу питома потужність;
- допускають високу якість вихідних напруг (відсутні високочастотні піки та низькочастотна складова);
- мають високі динамічні характеристики (відпрацювання збурення здійснюється за час, рівний півперіоду високої частоти комутації) [6];
- мають нижчий рівень електромагнітних завад [7];
- мають високу ефективність;
- мають нижчу собівартість;
- мають високу радіаційну і механічну міцність;
- мають вищу надійність за рахунок як фізичної природи ВМП, так і суттєвого спрощення схемотехніки;
- мають високий рівень уніфікації — можливість використання одного типорозміру магнітопароводу ВМП та одних і тих же схемотехнічних рішень для реалізації НПЕ в широкому діапазоні вихідних параметрів [8].

Основні технічні дані багатоканальних НПЕ

Діапазон зміни вхідної напруги	до $\pm 30\%$
Коефіцієнт корисної дії	0,80 — 0,92
Рівні вихідних напруг	5 — 200 В
Рівні пульсацій вихідних напруг (низькочастотна складова та високочастотні піки відсутні)	10 — 50 мВ
Загальна нестабільність	$< 1\%$
Рівні струмів навантаження	до 100А і більше
Діапазон зміни струму навантаження	100%
Можливість стабілізації струму	
Питома потужність на вітчизняній елементній базі	100 — 500 Вт/дм ³
Вихідна потужність багатоканального НПЕ	50 — 700 Вт
Число вихідних регульованих каналів	1–10 і більше
Вихідна потужність одного каналу	25 — 500 Вт
Робоча частота	50 — 100 кГц
Робочий температурний діапазон	-40 +80 С
Електромагнітна сумісність та електробезпека відповідають вимогам міжнародних стандартів до комп'ютерної та медичної техніки	
Широкий діапазон конструктивних варіацій	
Паралельна робота вихідних каналів чи окремих НПЕ	
Дистанційне керування по оптичних каналах зв'язку	

Висновки. Використання височастотних магнітних підсилювачів на основі сучасних аморфних сплавів у ролі силових регулюючих елементів НПЕ комплексно вирішує цілий ряд важливих проблем, що існують при побудові цих перетворювачів, і вище означені в порівняльній характеристиці НПЕ на основі ВМП і традиційних транзисторних НПЕ.

Література

1. Севернс Р. Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания. / Р. Севернс, Г. Блум. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 294 с.
2. Yaskiv V. Development of Switch Power Supplies for Radar Applications / V. Yaskiv, O. Shabliy, A. Alpatov, O. Gurnik // 2001 CIE International Conference on Radar Proceedings, Beijing, 2001, — p. 851–855.
3. Yaskiv V. Using of High-Frequency Magnetic Amplifier in Switch Mode DC Power Supplies / V. Yaskiv // Proceedings of the 35th Annual IEEE Power Electronic Specialists Conference (PESC'04), Aachen, 2004, — p. 1658–1662.
4. Yaskiv V. Design Methods of Switch Mode Power Supplies / V. Yaskiv // Tutorial 10 on 26-th International Energy Conference (INTELEC), Chicago, 2004, — 39 p.
5. Яськів В. І. Методи побудови напівпровідникових перетворювачів електроенергії з високим рівнем струму навантаження на основі височастотних магнітних підсилювачів / В. І. Яськів, М. М. Юрченко // Технічна електродинаміка (Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність»). — 2006. — ч. 2 — С. 3–6.
6. Яськів В. І. Експериментальне дослідження динамічних характеристик напівпровідникових перетворювачів електроенергії з височастотними магнітними підсилювачами / В. І. Яськів, М. М. Юрченко, О. П. Гурник // Технічна електродинаміка (Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність»). — 2005. — ч. 4. — С. 7–9.
7. Яськів В.І. Дослідження електромагнітної сумісності напівпро-

- відникових перетворювачів електроенергії з високочастотними магнітними підсилювачами / В. І. Яськів // Технічна електродинаміка (Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоєфективність»). — 2008. — ч. 4. — С. 68–71.
8. Dyvak M. Interval estimation of weight-dimensionnal characteristics of high-frequency magnetic amplifier of pulse power supplies / M. Dyvak, V. Yaskiv, A. Pukas // Przegląd elektrotechniczny (Electrical Review). — 2009. — No 4. — pp.92–94

Volodymyr Yaskiv

HIGH-EFFICIENCY SEMICONDUCTING POWER CONVERTERS BASED ON HIGH-FREQUENCY MAGNETIC AMPLIFIERS

The methods for development of high-frequency power converters based on the use of amorphous alloys with rectangular hysteresis loop in this paper are described. The principle of operation of high-frequency magnetic amplifiers for voltage regulator is explained. The comparative analysis of power converters based on high-frequency magnetic amplifiers with transistor analogs is adduced. The possibility of designing multioutput power converters with equal and independent output channels is shown. The main technical data of multioutput power converters are adduced

Keywords: *power converter, rectangular hysteresis loop, high-frequency magnetic amplifier, efficiency*