

ІНФОРМАЦІЯ ПРО ЗАКІНЧЕНІ РОЗРОБКИ

УДК621.314.58

АКТИВНИЙ ДЕМПФЕР З ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ВИМИКАННЯ КЛЮЧА  
ПРИ НУЛЬОВІЙ НАПРУЗІ

Антипенко Р.В., Кирпатенко І.М., Кухарчук І.О.,  
Мовчанюк А.В., Фесіч В.П.

Запропонована схема активного демпфера, що забезпечує вимкнення силового транзистора при нульовій напрузі.

Розвиток перетворювальної техніки іде в напрямку підвищення робочої частоти, що дає змогу зменшити габарити перетворювальних пристроїв. Однак, при збільшенні частоти зростають динамічні втрати в ключових елементах, що призводить до необхідності у більш ефективних та громіздких методах охолодження, і до зменшення ефекту від збільшенні частоти. Друга проблема, яка виникає при збільшенні частоти комутації силових ключів полягає у зниженні надійності пристрою. Через зростання динамічних втрат зменшується ККД перетворювача, збільшується коефіцієнт навантаження силових ключів. Відомо, що збільшення температури активного елемента на 10°C призводить до зростання вдвічі інтенсивності відмов [1].

Наведене спонукає розробників перетворювальної техніки до інтенсивних пошуків способів зменшення динамічних втрат в активних елементах.

**Методи зменшення динамічних втрат в ключових елементах.**

Проблема зменшення динамічних втрат в ключах при роботі з комплексним навантаженням - складова задачі забезпечення роботи ключа в так званій області безпечних режимів (ОБР). Традиційні методи забезпечення роботи ключа в ОБР полягають у використанні *RC*, *RCD* демпферних кіл, за допомогою яких потужність динамічних втрат (втрат при вимкненні ключа) розсіюється не в ключовому елементі (транзисторі), а в резисторі, що входить до складу *RC* або *RCD* кола [2]. Хоча за допомогою таких кіл можна забезпечити роботу транзистора в ОБР, таке рішення не призводить до збільшення ККД перетворювача. За великих потужностей, енергія, що розсіюється в резисторах демпферів, може бути значною.

Наприклад, в [2] опи-

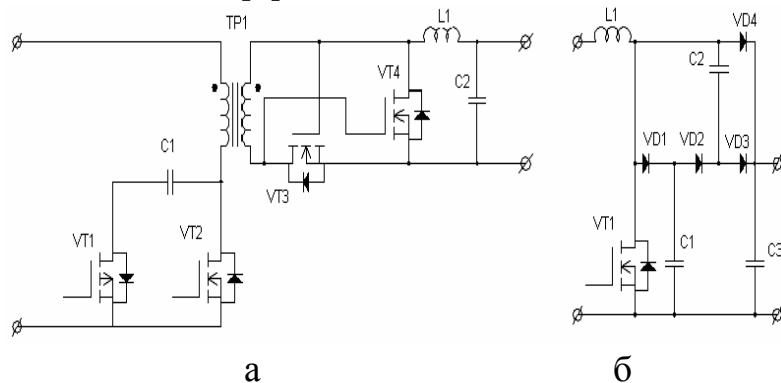


Рис. 1. Схеми активних демпферів

суються перетворювач постійного струму, де в якості силових ключів використовуються біполярні транзистори, ввімкнені за схемою "пуш-пул". Вихідна потужність пристрою 2,8 кВт; повні втрати в *RCD*-демпері

$P_{\Sigma} = 77,15$  Вт, тобто близько 3% вихідної потужності.

Щоб одночасно забезпечити роботу транзистора в ОБР і підвищити ККД перетворювача використовуються кола, які забезпечують передачу енергії, накопиченої в реактивних елементах демпфера, в навантаження або в джерело живлення (наприклад, див. рис.1). На рис. 1а зображено фрагмент схеми перетворювача з активним фіксатором [3]. Конденсатор  $C1$  є елементом, в якому накопичується енергія перехідного процесу вимикання основного транзистора  $VT2$ . В схемі з активним фіксатором можлива реалізація режиму перемикавання ключа при нульовій напрузі - *ZVS* (*zero voltage switching*), тобто ККД перетворювача з активним фіксатором може бути досить високим [3,4]. Недолік активного фіксатора - необхідність трьох додаткових силових ключів та складність управління [3].

На рис. 1б зображено фрагмент схеми перетворювача підвищуючого типу з демпферним колом, принцип роботи якого оснований на використанні проміжного накопичувача енергії – конденсатора  $C2$  [2]. Схема цього демпфера простіша, ніж попередня, але вона має більш суттєві недоліки: неможливість забезпечення розмикання ключа в режимі *ZVS*, через те, що в момент розмикання ключа напруга на конденсаторі  $C1$  не є нульовою, а визначається напругою на закритому транзисторі і співвідношенням ємностей  $C1$  і  $C2$ , отже ККД перетворювача з таким демпфером не є максимально можливим; цей демпфер може бути застосований тільки у випадку гальванічного зв'язку між джерелом живлення і навантаженням.

Наведене визначає актуальність розробки демпфера, який би забезпечував режим *ZVS*, не мав додаткових силових ключів та надавав можливість працювати з гальванічно - розв'язаним навантаженням.

### Активний демпфер із забезпеченням режиму *ZVS*

На рис. 2 подана спрощена схема активного демпфера із забезпеченням режиму *ZVS*, яка вільна від вказаних недоліків. Це досягається введенням у схему трансформатора  $TP2$ . Принцип роботи активного демпфера, що пропонується, можна пояснити, спираючись на рис. 3, де наведені відповідні осцилограми. В момент вимикання сило-

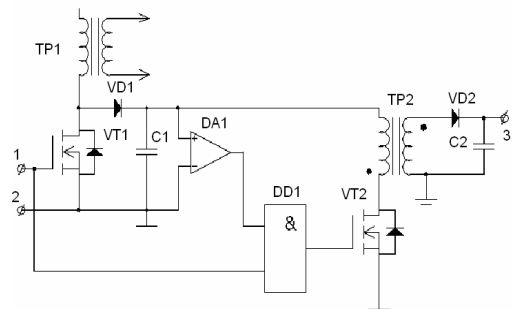


Рис. 2

вого транзистора  $VT1$  через діод  $VD1$  відбувається заряд конденсатора  $C1$ , який на цей момент є повністю розрядженим і, таким чином, транзистор вимикається в режимі *ZVS*. Напруга на конденсаторі  $C1$   $U_{C1}$  зображена на рис.3 на верхньому графіку. При цьому на виході компаратора  $DA1$  встановлюється високий рівень напруги -  $U_{outDA1}$  (нижній графік рис.3), який подається на один з входів схеми "І". На другий вхід схеми "І" подається

сигнал управління основним силовим транзистором  $VT1$  –  $U_{gVT1}$ . На часовому проміжку  $t1$  сигнал на затворі силового транзистора  $VT1$  має низький рівень, отже сигнал на затворі допоміжного транзистора  $VT2$  –  $U_{gVT2}$  теж має низький рівень і транзистор  $VT2$  закритий. На проміжку часу  $t2$  сигнал  $U_{gVT1}$  приймає високий рівень, відповідно до цього сигнал  $U_{gVT2}$  теж приймає високий рівень і транзистор  $VT2$  відкривається. Конденсатор  $C1$  і первинна обмотка трансформатора  $TP2$  утворюють паралельний коливальний контур. На проміжку часу  $t2$  відбувається розряд конденсатора  $C1$  через первинну обмотку трансформатора  $TP2$ . При досягненні напруги на конденсаторі  $C1$  нульового рівня на виході компаратора встановлюється низький рівень напруги і транзистор  $VT2$  замикається. В цей момент часу допоміжний транзистор  $VT2$  і трансформатор  $TP2$  утворюють зворотногоходовий перетворювач, і енергія, накопичена в первинній обмотці трансформатора  $TP2$  передається в конденсатор  $C2$ , який може бути підключений до навантаження або до джерела живлення. Таким чином, енергія перехідного процесу вимикання основного силового транзистора  $VT1$  передається в навантаження або у джерело живлення і забезпечується процес вимикання транзистора в режимі  $ZVS$ .

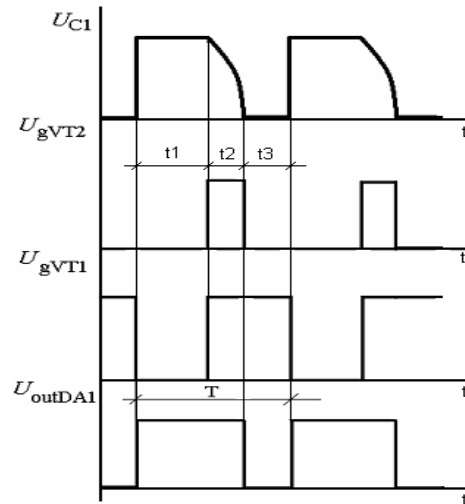


Рис. 3

### Реалізація активного демпфера із забезпеченням режиму $ZVS$

На рис. 4 наведена схема активного демпфера із забезпеченням режиму  $ZVS$ . Точка 1 схеми підключається до стоку силового транзистора, на точку 2 схеми подається сигнал управління силовим транзистором. В точку 4 подається напруга живлення демпфера, точка 3 підключається до навантаження.

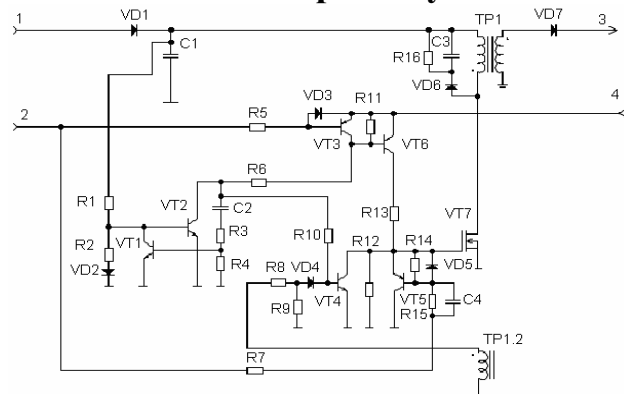


Рис. 4

На елементах  $R1$ ,  $R2$ ,  $VD2$ ,  $VT1$ ,  $VT2$ ,  $R3$ ,  $R4$ ,  $R6$ ,  $C2$  реалізовано компаратор з внутрішнім позитивним зворотним зв'язком, який забезпечують елементи  $R3$ ,  $R4$ ,  $R6$ ,  $C2$  та  $VT1$ . На транзисторах  $VT3$ ,  $VT5$ ,  $VT6$ ,  $VT4$  реалізована схема "I". Третя обмотка трансформатора  $TP1$  -  $TP1.2$  призначена для здійснення позитивного зворотного зв'язку. Позитивні зворотні зв'язки введені для пришвидшення роботи демпфера. Осцилограми, що ілюстру-

ють роботу демпфера, наведені на рис.5. Осцилограми отримана при струмі силового транзистора в 5 разів меншого за номінальний, тому тривалість фронту імпульсу запирання транзистора є завищеною.

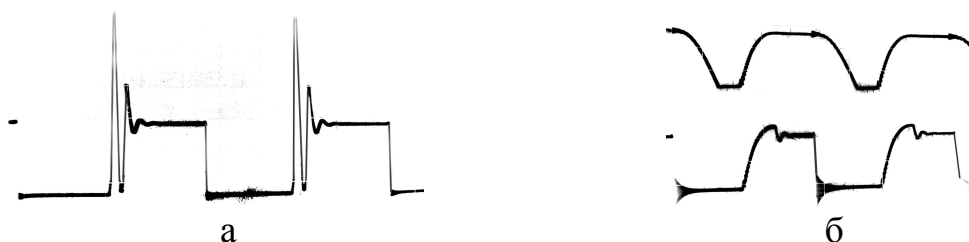


Рис. 5. Осцилограми, що ілюструють роботу активного демпфера а – напруга на силовому транзисторі без застосування демпфера, б - верхня осцилограма - напруга на конденсаторі С1, нижня – напруга на силовому транзисторі при застосуванні демпфера

Запропоновано активний демпфер, який використано у перетворювачі з номінальною потужністю 150 Вт. Експериментальні дослідження, показали ефективність демпфера: ККД перетворювача піднявся з 83% до 91%; температура радіатора силових ключів знизилась з 70°С до 60°С.

#### Література

1. Лукин А. В., Кастров М.Ю., Малышков Г. М., и др. Преобразователи напряжения силовой электроники. – М.: Радио и связь, 2004. – с. 415.
2. Четти П. Проектирование ключевых источников электропитания: Пер.с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. с.240.
3. Designing for High Efficiency with the Active Clamp UCC2891 PWM Controller. Texas Instruments. Application report. April – 2004.
4. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование. К.:«МК - Прес», 2005. 288 с.
5. Solving noise problems in high power, high frequency control IC driven power stages. Control Integr.circuit designers manual. Inter. Rectifier. El Segundo, California. 1996.
6. Maximizing the latch immunity of the IR2151 and IR2152 in ballast applications. Control Integr.circuit designers manual. Inter. Rectifier. El Segundo, California. 1996.

<b>Ключові слова:</b> активний демпфер, джерела електроживлення	
Антипенко Р.В., Кирпатенко И.Н., Кухарчук И.А., Мовчанюк А.В., Фесич В.П.	Antipenko R.V., Kirpatenko I.N., Kukhartchuk I.A., Movtchanjuk A.V., Fesitch V.P.
<b>Активный демпфер с обеспечением выключения ключа при нулевом напряжении</b>	<b>Active emollient with maintenance of reenergizing of a key at a zero voltage</b>
Предложена схема активного демпфера, обеспечивающего выключение силового транзистора при нулевом напряжении.	A new circuit of active emollient, which provides zero voltage switching conditions are presented