

УДК 621.31

*А. В. Гаюр
С. В. Каращук*

СИСТЕМИ ЗАХИСТУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИСТРОЇВ ВІД НЕГАТИВНИХ НАСЛІДКІВ КОМУТАЦІЇ

У статті розглянуті та обґрунтовані заходи щодо підвищення надійності силових перетворювачів енергії при використанні напівпровідникових ключів шляхом застосування снаберних пристроїв. Розглянуто практичний спосіб застосування пристроїв захисту та запропонована їх альтернатива – найсучасніший напівпровідниковий пристрій з інтегрованим блоком керування.

В статье рассмотрены и обоснованы меры по повышению надежности силовых преобразователей энергии при использовании полупроводниковых ключей путем применения снаберных устройств. Рассмотрен практический способ применения устройств защиты и предложена их альтернатива – современное полупроводниковое устройство с интегрированным блоком управления.

The article reveals measures to increase the reliability of the power converters with power semiconductor by using snubber devices. A practical way to use protection devices and their proposed alternative - the most advanced semiconductor device with integrated control unit considered.

Ключові слова: напівпровідникові перетворювачі, силові ключі, снабери.

Вступ. Напівпровідникові перетворювачі з високою частотою імпульсної модуляції знаходять широке застосування в силовій електроніці та системах електроживлення. Це пов'язане з такими перевагами цих пристроїв як: підвищена частота перетворення параметрів електроенергії, малі габарити тощо. Однак, при проектуванні перетворювачів з потужністю понад 10 – 20 кВт виникають проблеми комутації силових ключів перетворювачів, що використовуються в системах живлення з активно-індуктивним навантаженням, які можуть призвести до виходу їх з ладу. Необхідність у створенні схем захисту силових ключів є одним з передових завдань при проектуванні силових перетворювачів енергії на напівпровідникових приладах.

Аналіз проблеми. Основною причиною виходу з ладу напівпровідникових ключів є перенапруга, що з'являється при комутації силового ключа перетворювачів та коливальні процеси, які виникають під час їх вимикання.

Електронні пристрої з ізольованими керуючими електродами особливо чутливі до таких негативних наслідків роботи перетворювачів, які працюють в системах живлення

© Гаюр А. В., Каращук С. В., 2013

з активно-індуктивним навантаженням. Практика використання силових електричних пристроїв свідчить, що перенапруга на виходах силових ключів може перевищувати їх максимально допустимі параметри по напрузі в декілька разів (рис. 1). Коливальні процеси, які виникають при комутації ключів інвертора, можуть привести до повторного вмикання силового ключа, тобто одночасного включення обох ключів плеча інвертора.

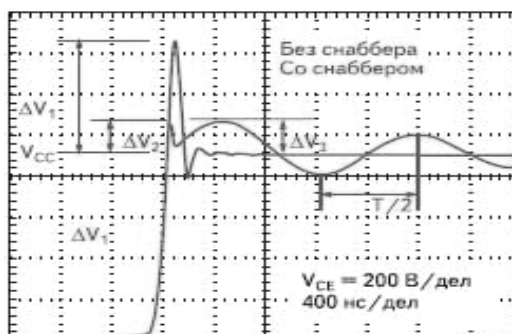


Рис. 1. Перехідні процеси при відсутності та наявності снабера

Рішення проблеми. Для вирішення даних проблем, що виникають під час експлуатації силових перетворювачів енергії, використовують спеціальні схеми захисту силових ключів – снабери. Їх застосовують для обмеження перенапруг на виходах силових ключів, зниження або повного усунення коливальних процесів під час комутації та зниження динамічних втрат в них. Конфігурація снабера залежить від параметрів навантаження, системи живлення та робочої частоти перетворювача енергії. Найпростіший снабер (рис. 2, а) являє собою імпульсний конденсатор малої ємності, встановлений паралельно виходам силового ключа. Для зниження втрат в паразитному коливальному контурі послідовно з конденсатором встановлюють резистор (рис. 2, б), але така схема також буде перешкоджати заряду конденсатору, що збільшить час перехідного процесу, тому для розділення схем заряду та розряду, а також обмеження розрядного струму застосовують схему (рис. 2, в).

Під час комутації силового ключа, струм, через наявність індуктивності, не може миттєво перерватися. Струм закриття ключа VT1 стає струмом заряду конденсатора C1 через діод VD1. При наступному відкриванні ключа VT1 конденсатор C1 розряджається через нього і резистор R1, причому енергія, запасена в конденсаторі, виділяється на резисторі у вигляді тепла.

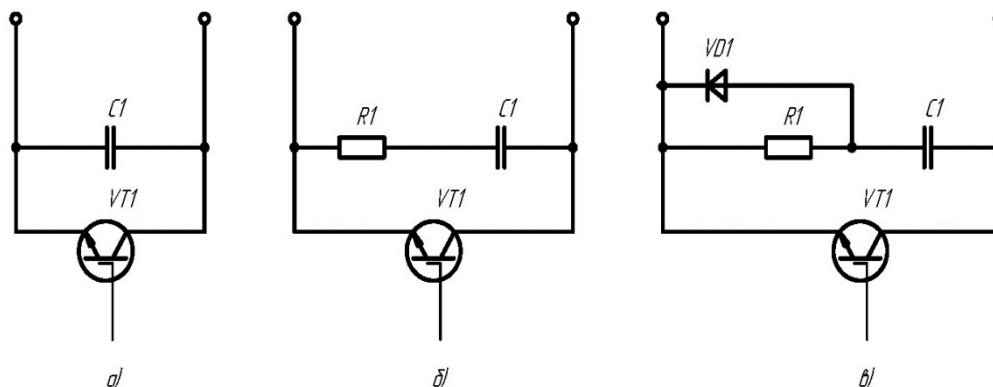


Рис. 2. Типи снаберних схем

На рис. 3 зображені графіки перехідних процесів при використанні різних типів снаберів. Перенапруги при застосуванні RC снабера менше, що дозволяє зменшити втрати енергії. Використання конденсатора з більшою ємністю в RCD снабері дозволяє зменшити перенапругу.

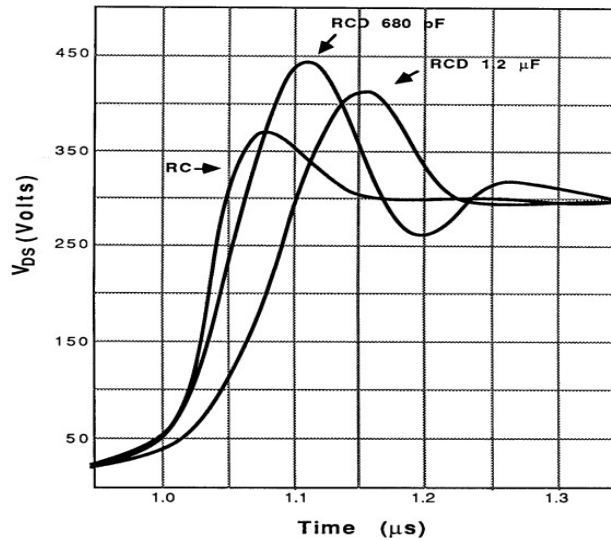


Рис. 3. Графіки перехідних процесів

Розрахунок та вибір параметрів снабера. Розрахунок снаберних схем досить складний і остаточних формул для їх розрахунку не існує, тому в процесі розробки перетворювачів електричної енергії доводиться корегувати їх захисні елементи на основі експериментальної перевірки та за певними даними завдання проектування.

Під час розрахунку ємності конденсатора найчастіше задаються часом, за яке він повинен зарядитися, для цього умовно приймають час закриття ключа в найгіршому випадку комутації. Його також можна подвоїти. Тепер, знаючи максимальний струм перетворювача і напругу живлення можна розрахувати номінал необхідного конденсатора (1).

$$C_{snub} = \frac{I \cdot t}{U} \quad (1)$$

$$P_{Rsnub} = E_{Csnub} \cdot f = \frac{C_{snub} \cdot U^2}{2} \cdot f \quad (2)$$

$$\tau = R \cdot C \quad (3)$$

$$I = \frac{U}{R} \quad (4)$$

Рис. 4. Формули розрахунку параметрів снабера

Потім за формулою (2) необхідно визначити потужність, яка виділиться на резисторі снабера. Можливі випадки, коли значення буде занадто велике, тоді треба повторно розрахувати ємність конденсатора, зменшивши час заряду.

Для визначення номіналу опору снаберного резистора відповідної формули не існує, але воно обирається з двох величин:

1. Опір має бути достатньо малим, щоб конденсатор встиг розрядитися навіть при мінімальному часі імпульсу. Найчастіше час повного розряду конденсатора RC схеми приймають 3τ , тобто 3τ повинно бути менше мінімальної довжини імпульсу (ф. 3).

2. Опір має бути достатньо великим, щоб імпульсний струм через силовий ключ не перевищував допустимого значення (4). Також до струму розряду конденсатора додається робочий струм перетворювача і перевірити чи не перевищує він максимально допустимий струм ключа при 100° . Якщо в два чи більше разів менше – то номінал допустимий, якщо ні – треба величину опору збільшити, не дивлячись на 3τ . Перевищення допустимого струму не допустиме.

Приклад застосування. При створенні перетворювача постійного струму у лабораторії кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» номінальною потужністю 17кВт на широтно-імпульсній модуляції частотою 500 Гц, зіткнулись з проблемою захисту силових напівпровідникових ключів (IGBT- транзисторів). Під час вимикання транзистора швидкість зміни струму не могла задовольнити необхідні параметри схеми, що призводило до появи перенапруги на затискачах транзистора, та виходу їх з ладу.

Для захисту ключів проведено розрахунок номіналів захисних пристроїв напівпровідникового ключа за формулами приведеними вище. Це дозволило зменшити перенапруження, яке утворювалося на кристалі транзистора та зменшило нагрів ключа. Такі позитивні наслідки застосування снабера дозволило зменшити економічні затрати на виготовлення силового перетворювача енергії та зменшити масогабаритні показники і збільшити техніко-економічні характеристики.

Інші можливості та способи захисту напівпровідникових ключів. Останніми роками, методи створення напівпровідникових пристроїв дуже вийшли вперед. Створення силових IGBT-транзисторів з робочою напругою 4500 В, струмом 1800А та робочою частотою привело до створення великої конкуренції силовим GTO-тиристорам в приладах потужності до 1 МВт та витісненню їх з ринку силових напівпровідникових електронних пристроїв.

Однак, завдяки новітнім технологіям, було створено сучасні GCT та IGCT-тиристири, можливості керування якими набагато кращі, та менш енергоємні ніж в перетворювачах електричної енергії на GTO-тиристорах та IGBT-транзисторах. Зміна конструкції кристалу GCT пов'язана з тим, що динамічні процеси, які виникають під час виключення, протікають на один-два порядки швидше ніж в GTO.

На рис. 5 зображено розподіл струмів в структурі GCT при вимиканні пристрою. Процес включення тиристора в схемі аналогічний процесу включення GTO, зокрема як процес вимикання дуже відрізняється. При подачі негативного імпульсу керування, рівного по амплітуді анодному струму, весь прямий струм відхиляється в систему управління і досягає катоду в обхід третього p-n переходу. Цей перехід зміщується в зворотному напрямі і катодний транзистор n-p-n структури закривається. Подальше закриття тиристора аналогічне закриванню будь-якого біполярного транзистора n-p-n структури, що не потребує зовнішнього обмеження швидкості нарощування прямої напруги du/dt і, отже, допускається відсутність снабера.

Для тиристорів IGCT (англ. Integrated Gate-Commutated Thyristor) потужність, необхідна для управління, знижена в 4-5 разів, а технологія жорсткого переключення дозволяє збільшити область безпечної роботи до межі, обмеженої лавинним пробоем, тобто до хіміко-фізичних можливостей кремнію. Даний тип тиристорів не потребує ніяких схем захисту для запобігання перенапруги на затискачах ключа. У поєднанні з покращеними показниками втрат потужності дозволяє підвищити область застосування тиристора у перетворювачах з номінальною частотою комутації близько 1 кГц.

При інтегрованому блоці керування катодний струм знижується до того, коли анодна напруга починає збільшуватися. Це досягається за допомогою малої індуктивності схеми керування керівного електрода, реалізованої за допомогою коаксіального з'єднання управляючого електрода і в поєднанні з багат шаровою структурою плати блока керування, а отже ключ має можливість комутувати струм номіналу 4 кА, при цьому структура забезпечує повністю транзисторний процес закриття без можливого виникнення тригерного ефекту.

Висновок. Проектування перетворювачів високої потужності є складним завданням. Успішна розробка таких пристроїв потребує застосування пристроїв захисту силових напівпровідникових ключів. Снабери – це один з основних найвигідніших способів захисту сучасних перетворювальних пристроїв з ізолюваним керівним електродом, які не тільки захищають їх від виходу з ладу, а й зменшують вплив негативних факторів впливу комутації на роботу ключа. Успішне застосування захисних кіл дозволяє: підвищити потужність перетворювача енергії, шляхом підвищення номінальних даних схеми для одного й того ж типу напівпровідникового приладу; зменшити енергоємність та витрати на обслуговування силових перетворювальних пристроїв; зменшити собівартість приладу та збільшити ефективність перетворення енергії.

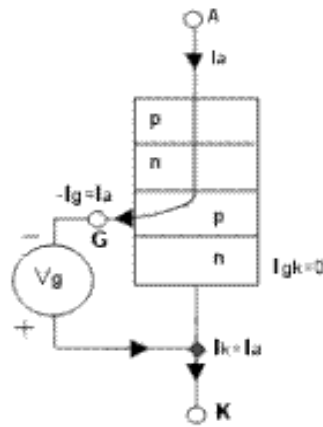


Рис. 5. Розподіл струмів в структурі тиристора GCT

ЛІТЕРАТУРА

1. *IGBT Peak Voltage Measurement and Snubber Capacitor Specification*. SEMIKRON Application Notes AN-7006. SEMIKRON INTERNATIONAL GmbH, 2008.
2. Колтаков А. И. IGBT — инструкция по эксплуатации Силовая электроника. – 2007. – № 1.
3. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи: Семейства, характеристики, применение. – Додэка XXI, 2005