

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ. СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЭКОМОБИЛЕЙ

УДК 621.33

ОСОБЛИВОСТІ СХЕМОТЕХНІКИ І ТОПОЛОГІЇ ЧАСТОТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

**О.А. Дзюбенко, доцент, к.т.н., ХНАДУ, О.О. Ситніков, ст. викл., ВТК,
Р.О. Гринишин, студент, ХНАДУ**

Анотація. Розглянуто особливості вибору силових елементів, схем реалізації і топології силової частини управління частотних перетворювачів силового електроприводу.

Ключові слова: силові транзистори MOSFET і IGBT, електропривод, частотний перетворювач, сплеск самоіндукції, снаббер, топологія струмопровідної шини.

ОСОБЕННОСТИ СХЕМОТЕХНИКИ И ТОПОЛОГИИ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

**А.А. Дзюбенко, доцент, к.т.н., ХНАДУ, А.А. Сытников, ст. преп., ВТК,
Р.О. Гринишин, студент, ХНАДУ**

Аннотация. Рассмотрены особенности выбора силовых элементов, схем реализации и топологии силовой части управления частотных преобразователей силового электропривода.

Ключевые слова: силовые транзисторы MOSFET и IGBT, электропривод, частотный преобразователь, всплеск самоиндукции, снаббер, топология токопроводящей шины.

FEATURES CIRCUIT DESIGN AND TOPOLOGY FREQUENCY CONVERTERS OF POWER ELECTRIC DRIVE

**A. Dziubenko, associate professor, cand. eng. sc., KhNAHU,
A. Sitnikov, senior teacher, VTC, R. Grinishin, student, KhNAHU**

Abstract. The features of the choice of power components, implementation schemes and the topology of the control power inverters of power electric drive.

Keywords: power transistors MOSFET and IGBT, electric drive, inverter, a surge of self-induction, snubber, topology conducting bus.

Вступ

Останнім часом в сучасному автомобілебудуванні в якості джерела приводної механічної енергії все більша роль відводиться силовому електроприводу. Однак при практичній реалізації пристроїв управління силовим електроприводом на перший план виходять пи-

тання зниження масогабаритних параметрів, надійності, електробезпеки, захисту від електромагнітних перешкод і т.д. Проектування потужних конверторів на основі сучасної елементної бази вимагає від розробника глибоких знань, досвіду та володіння сучасними методами розрахунку і моделювання.

Постановка завдання

Бурхливий розвиток силової перетворювальної техніки пов'язаний з появою на ринку нових напівпровідникових компонентів, що володіють унікальними імпульсними характеристиками. У першу чергу це силові транзистори MOSFET і IGBT. Використання цих компонентів в потужних приводах дозволяє створювати перетворювачі, що мають високу ефективність і відмінні масогабаритні показники [1]. Практичне застосування сучасної силової напівпровідникової електроніки вимагає від розробників умінь вибору елементів, по їх потужносним, статичним і динамічним характеристикам, а також знань певних схемотехнічних прийомів.

На друге місце за значимістю при розробці перетворювачів великої потужності встає правильність виконання топології з'єднань. Високі значення di/dt і dv/dt , що виникають при перемиканні силових ключів, призводять до появи перехідних перенапруг, які можуть вивести елемент з ладу. При комутації стру-

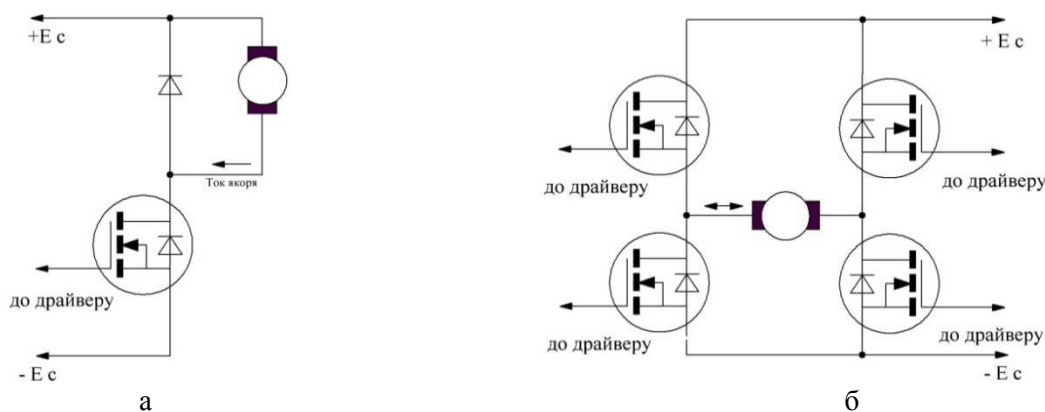


Рис. 1. Схеми імпульсного регулювання електроприводу постійного струму:
а – одноконтна; б – двоконтна

Гарні динамічні властивості MOSFET транзистора дозволяють реалізувати таку частоту перемикання, при якій власна індуктивність якоря двигуна достатня для згладжування пульсацій струму.

При вимкненому транзисторі струм якоря замикається через зустрічнопаралельний діод. При вмиканні транзистора на етапі відновлення зворотного опору діода необхідно обмежувати швидкість наростання струму di/dt . Для цього можна використовувати, наприклад, просту LRD-схему. Для уникнення сплесків струму при відкритті транзистора,

мів, що досягають значення десятків і сотень ампер, паразитна індуктивність шини живлення не повинна перевищувати одиниць нГн. Щоб забезпечити таке значення індуктивності і мінімізувати перенапруги, необхідно використовувати спеціальні багатошарові струмопровідні шини та снаббери [1,2], і в цьому полягає основна відмінність топології перетворювачів великої потужності.

Схемотехніка силової частини перетворювачів енергії

Вибір схеми силової частини перетворювача енергії визначається типом двигуна і вимогами до системи електроприводу. Найпростіша одноконтна схема імпульсного регулятора (рис. 1, а) забезпечує можливість регулювання напруги якоря двигуна постійного струму для стабілізації частоти обертання і обмеження струму в нереверсивному електроприводі при низьких вимогах до швидкості. У такій схемі струм якоря не може змінити напрям, тому гальмування забезпечується тільки вибігом.

під час зворотного відновлення опору діода, в якості блокуючого діода краще використовувати діоди Шотткі або діоди з малим часом відновлення так звані Hyper/Ultra-fast Recovery.

Для побудови швидкодіючого реверсивного електроприводу постійного струму використовують мостову однофазну схему імпульсного регулятора (рис.1,б), що складається з чотирьох ключів [3]. Решта варіантів схем частотних перетворювачів керування електроприводом є похідними від трьох перерахованих вище.

Управління силовими транзисторами

Ще однією перевагою сучасних MOSFET і IGBT ключів є відсутність струму управління в статичних режимах. Однак для забезпечення їх роботи на високій частоті необхідно забезпечувати швидкий заряд і розряд вхідної паразитної ємності, для цього використовують спеціальні схеми управління – драйвери (рис.2).

На сьогоднішній день існує широка номенклатура драйверів в інтегральному виконанні. Вони здатні керувати транзисторами і модулями в будь-якій конфігурації і крім формування сигналів управління здійснюють усі необхідні допоміжні функції: захист від перевантаження по струму і короткого замикання, захист від падіння напруги управління, моніторинг аварійних станів.

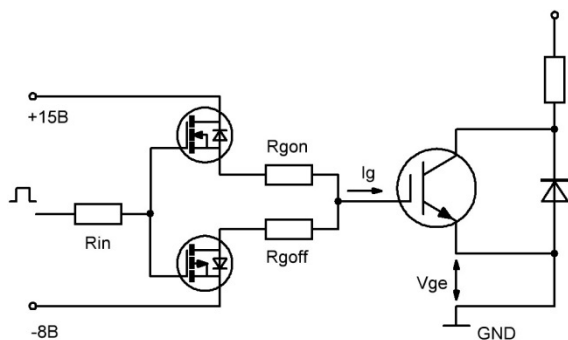


Рис. 2. Вихідний каскад драйверу з роздільними колами вмикання і вимикання силового ключа

Особливості топології силових шин

Коло постійного струму є одним з головних елементів конструкції перетворювача, що визначає його надійність, габарити і вагу. Сполучні шини розподіляють енергетичні потоки між силовими модулями і накопичувальними конденсаторами. Основними вимогами, що пред'являються до шин, є мінімальні значення індуктивностей і опорів провідників і велика допустима щільність струму в поєднанні з високою напругою ізоляції.

Будь-яка шина, як реальний провідник кінцевої довжини, має розподілену паразитну індуктивність L_b . При комутації великих струмів з високою швидкістю їх зміни наявність цієї індуктивності призводить до виникнення перенапруг на силових ключах [2]. Напри-

клад, при відключенні IGBT напруга на колекторі зростає на величину $\Delta V = L_b \cdot di_c/dt$ щодо потенціалу шини живлення V_{DC} , де di_c/dt – швидкість спаду струму колектора. Якщо сумарне значення $V_{CE} = V_{DC} + \Delta V$ перевищить гранично допустимий рівень, це може привести до пробію транзистора. Значення енергії, накопичуваної індуктивністю, пропорційне квадрату робочого струму і величині індуктивності, тому для потужних застосувань зменшення значення розподілених індуктивностей набуває особливо важливого значення.

Як показано на рис. 3, величина «струмової петлі», обумовлена розбіжністю шляхів протікання струму по позитивному і негативному провідникам шини живлення, безпосередньо пов'язана із значенням L_b . Площа струмової петлі в 1 см² збільшує паразитну індуктивність на 10 нГн.

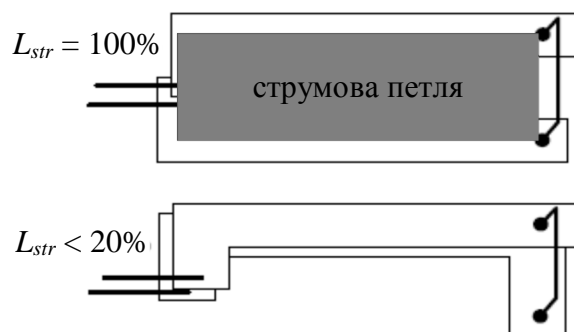


Рис. 3. Вплив площі «струмової петлі» на величину паразитної індуктивності

Для отримання мінімальних паразитних індуктивностей повинні використовуватися спеціальні багатопшарові силові шини [4]. Багатопшарова силова шина являє собою пакет ізолюваних мідних пластин. Для досягнення максимального ефекту з'єднання силових модулів з батареєю розв'язувальних конденсаторів також повинно проводитися за допомогою широких мідних пластин.

На рис. 4 показаний поперечний перетин каскаду інвертора. Верхня пластина з'єднує транзистори напівмоста, середня пластина є шиною живлення, нижня – шиною загального дроту. Дві нижні шини підключені також до батареї конденсаторів. Плата драйвера встановлена безпосередньо на модулі, а плата снабберів – над багатопшаровою шиною.

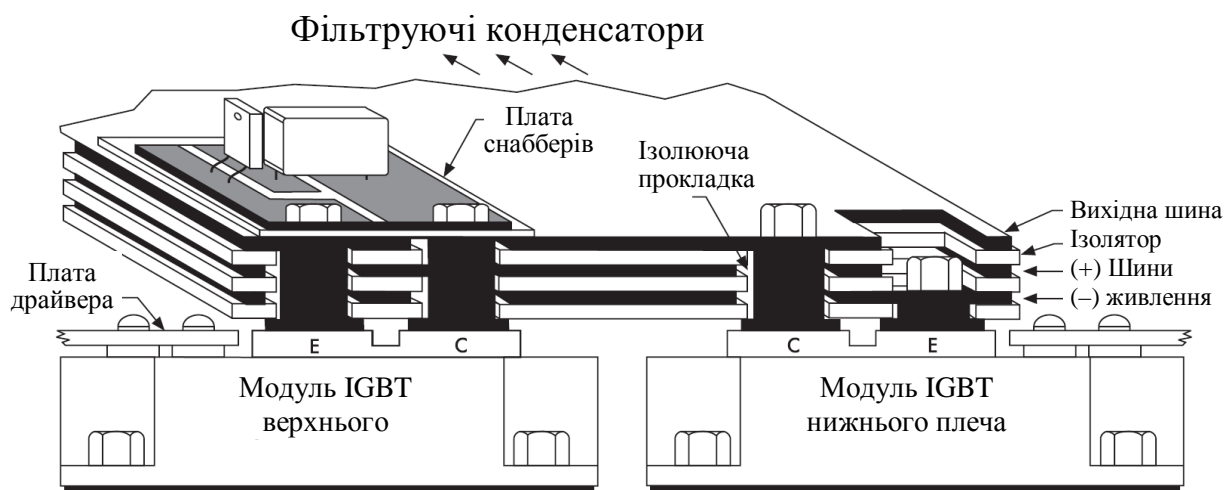


Рис. 4. Конструкція багатопшарової силової шини

Сплески самоіндукції і захист від них

Практично всі сучасні транзистори і модулі IGBT мають прямокутну область безпечної роботи, тобто допускають роботу в режимі «жорсткого перемикання», коли комутуються максимальний струм і напруга. У цьому випадку головне завдання снабберів - обмеження перехідних перенапруг.

Снаббери застосовуються як для обмеження перехідних перенапруг, так і для зниження динамічних втрат в силових ключах. В останньому випадку вони використовуються для формування траєкторії перемикання ключа: ємності, встановлені паралельно колу «колектор-емітер», знижують швидкість наростання напруги, індуктивності в колі колектора, обмежують швидкість наростання струму.

Конфігурація снабберної схеми залежить від багатьох параметрів – типу силових модулів, робочої частоти і параметрів навантаження [1].

На рис. 5 показаний графік зміни напруги «колектор-емітер» при вимкненні силового ключа. Пік напруги ΔV_1 викликається паразитною індуктивністю ланцюга снаббера L_s ; амплітуду перенапруги при відомій швидкості зміни струму di/dt можна визначити за формулою:

$$\Delta V_1 = L_s \frac{di}{dt}.$$

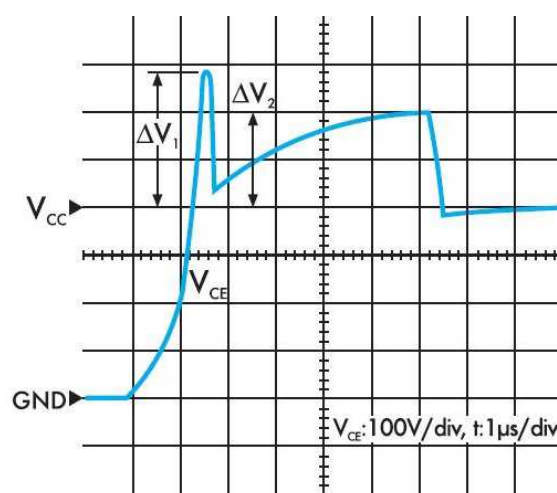


Рис. 5. Графік зміни напруги «колектор-емітер» при вимкненні ключа

Після закінчення піку ΔV_1 починається ріст перехідної напруги ΔV_2 , що формується зарядом ємності снаббера. Амплітуда ΔV_2 залежить від ємності снаббера та енергії, що накопичується в паразитній індуктивності шини постійного струму:

$$\Delta V_2 = i_c \sqrt{\frac{L_b}{C_s}}.$$

Значення ємності снаббера C_s прямопропорційно пов'язано з величиною паразитної індуктивності шини L_b . Таким чином, правильно спроектована топологія силової шини, що забезпечує мінімальні значення паразитних індуктивностей, дозволяє знизити вимоги до снабберних кіл, а відповідно ї зменшити їх масогабаритні розміри.

Висновки

Проектування частотних перетворювачів управління електроприводом високої потужності вимагає знань особливостей конструювання і методів розрахунку елементів схем з урахуванням розподілених паразитних параметрів. Урахування особливостей топології конструкції силової частини управління дозволяє істотно знизити вимоги до схем захисту, масогабаритні параметри і покращити надійність роботи частотних перетворювачів.

Література

1. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: профессиональный решения. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2011. – 416 с.
2. Колпаков А. SEMITEACH – силовая электроника для студентов // Компоненты и технологии. – М.: К и Т, 2010. – №10. – С. 83-90.
3. Кроз А. Мощные полевые транзисторы в современном электроприводе // Компоненты и технологии. – М.: К и Т, 2001. – №7.
4. Колпаков А. Топология частотных преобразователей средней и большой мощности // Компоненты и технологии. – М.: К и Т, 2002. – №2.

Рецензент: Богаєвський О.Б., професор,
д.т.н., ХНАДУ

Стаття надійшла до редакції 20 жовтня
2013 р.