

РОЗДІЛ 5. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ СИЛОВИХ МОДУЛІВ MOSFET НА ОСНОВІ КАРБІДУ КРЕМНІЮ (SiC) У ПОРІВНЯННІ З МОДУЛЯМИ IGBT

Волошиненко Д.С., магістрант, Пересада С.М., д.т.н., проф.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Починаючи з 1990-х біполярний транзистор із ізольованим кремнієвим (Si) затвором (IGBT) став основним силовим ключом напівпровідникових перетворювачів. IGBT мають багато характеристик, що є важливими при застосуванні в силових перетворювачах, в тому числі електричних транспортних засобів. Варто відмітити, що IGBT є однонаправленим пристроєм, тому для кожного перемикача IGBT є необхідною наявністю зустрічно-паралельного діода.

Технології в області силової електроніки постійно удосконалюються, що пов'язано з тим, що в якийсь момент виробники виявляються не в змозі задовольнити запити споживачів на можливості і якість силового електронного устаткування. Особливо це стосується силової електроніки для електричних транспортних засобів. За останнє десятиліття було розроблено технологію силових напівпровідників на основі карбїду кремнія.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження і порівняння силових напівпровідникових пристроїв в системах перетворення енергії з різними напругами.

Матеріали і результати досліджень. Для систем у діапазоні напруг 750 В карбїд Si (SiC) напівпровідник може надати нові можливості та серйозну конкуренцію для технології IGBT. Силові пристрої SiC мають декілька важливих переваг над технологіями на основі Si:

- зменшуються втрати на перемикання і тому підвищується ефективність для заданої частоти комутації;
- втрата провідності зменшується для струмів низького та середнього рівнів через характеристику резистивного каналу; це може забезпечити загальне підвищення ефективності циклу;
- період мертвого часу зменшується завдяки швидкому перемикаю, і тому зменшуються напруга та струм спотворення;
- зменшення температури під час мертвого часу, коли відбувається виключення дискретного діода (це застосовується як для додатніх, так і для від'ємних струмів, оскільки канал може проводити їх в обох напрямках) [1].

Ці переваги мають суттєве значення, коли напруга ланки постійного струму підвищується.

Завдяки технології SiC було створено силові напівпровідникові пристрої на MOSFET структурі. MOSFET має кілька значимих відмінностей у порівнянні з IGBT пристроєм. Завдяки MOSFET технології управління потоком носіїв заряду стало можливим не за допомогою зміни струму бази, а за допомогою електричного поля затвора, тобто за допомогою прикладання до затвору напруги. Канал MOSFET може переносити струм в обох напрямках, тоді як IGBT односпрямований. Крім того MOSFET має вбудований в корпус діод. Для від'ємного струму структура MOSFET має можливість усунення традиційного зустрічно-паралельного діода та використовує канал FET для синхронного випрямлення; додатково вбудований в корпус діод дозволяє мати короткий період мертвого часу, який може бути зменшений в порівнянні з IGBT за рахунок пришвидшеного часу комутації пристроїв SiC. Час провідності вбудованого діоду є дуже невеликою часткою у загальному періоді ШІМ, тому проблема високого прямого падіння напруги у ньому не є суттєвою. Усунення дискретного зустрічно-паралельного діоду звільняє значну область корпусу, яка може бути використана для максимізації активної зони перемикачів. Надійність вбудованого діода завжди була предметом обговорення, проте виробники напівпровідників досягли значного прогресу у вирішенні цієї проблеми. Основною перешкодою для широкого використання SiC в даний час є її вартість [1].

В даний час IGBT випускаються тільки на основі кремнію (Si), а MOSFET – як на основі кремнію, так і на основі карбіду кремнію (SiC). При близьких опорах відкритого каналу SiC MOSFET демонструє значно менший час перемикачів, менші динамічні втрати і в чотири рази менший заряд затвору в порівнянні з Si MOSFET. Порівняння здійснено на основі параметрів IXFX80N60P3 [2] і C2M0080120D [3].

За температурними характеристиками SiC MOSFET також перевершує кремнієвий аналог. Для Si приладів граничною температурою переходу вважається $T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$, тоді як для SiC приладів вона становить від $T_j = 175\text{ }^\circ\text{C}$ до $T_j = 225\text{ }^\circ\text{C}$. Також було проаналізовано, що статичні втрати в модулях з матеріалом на основі Si і в модулях з SiC матеріалом значно різняться, а динамічні втрати на частоті ШІМ 50 кГц відрізняються більш ніж у 5 разів. Це пояснюється як відсутністю «хвостового» струму у SiC MOSFET, так і відсутністю ефекту зворотного відновлення у SiC діоду Шотткі. Дане дослідження було проведене в джерелі [4].

Габаритну потужність охолоджувачів для модулів на основі SiC можна збільшити за рахунок використання металокерамічних корпусів. Таким чином, деякі компанії пропонують SiC MOSFET транзистори з максимальною температурою переходу $+225\text{ }^\circ\text{C}$. Серед таких можна виділити високотемпературний та високовольтний SiC MOSFET транзистор СНТ-NEPTUNE. Він доступний у металевому корпусі TO-257. Пристрій гарантує нормальну роботу на повному діапазоні температур від $-55\text{ }^\circ\text{C}$ до $+225\text{ }^\circ\text{C}$. Пристрій має напругу пробою, що перевищує 1200 В, і здатний перемикати струми до 10А при максимальній температурі ($225\text{ }^\circ\text{C}$). Пристрій обладнаний вбудованим діодом, який може використовуватися як шунтуючий діод. Він

перспективний для застосовування в перетворювачах постійного струму, в перетворювачах змінного струму, в зарядних пристроях і в інверторах [5].

Взагалі, для кожної задачі вибирають свій тип ключа, і існують певні типові погляди на цей аспект. MOSFET підійде для роботи на частотах вище 20 кГц при напрузі живлення до 300 В. Зарядні пристрої, імпульсні блоки живлення, компактні інвертори невеликої потужності - переважно більшість з них виконують сьогодні на MOSFET. IGBT гарно себе показують на частотах до 20 кГц при напрузі живлення 1000 і більше Вольт. Частотні перетворювачі, джерела безперебійного живлення - це низькочастотний сегмент силової техніки для IGBT транзисторів [6].

Висновки: силові модулі MOSFET використовуються у випадках з напругою до 300 В і струмом до 450 А, але у MOSFET при високій напрузі ростуть втрати на нагрів, сильно перевершуючи втрати при управлінні затвором IGBT, тому модулі IGBT мають перевагу у випадках із напругою 1000, 1200, 1700 В і струмом до 2400 А. У проміжній ніші - від 300 до 1000 вольт, на частотах порядку 10 кГц, - підбір напівпровідникового ключа відповідної технології здійснюють індивідуально, зважаючи всі переваги і недоліки, включаючи ціну, габарити, ККД і інші фактори. У випадку з низькими напругами використання IGBT - транзистора є недоречним, оскільки не використовується повний діапазон напруг, а втрати, що визначаються падінням напруги на ключі, слабо залежать від струму протікання. Тому рекомендується використовувати MOSFET транзистори, напруга падіння яких визначається резистивним опором каналу. MOSFET можна легко нарощувати в паралель для збільшення питомої потужності перетворювача, а за рахунок використання металокерамічних корпусів можливо збільшити габаритну потужність охолоджувачів для модулів на основі SiC. Водночас з тим не можна однозначно сказати, що в одній типовій ситуації підійде саме IGBT, а в іншій - тільки MOSFET. Необхідно комплексно підходити до розробки кожного конкретного пристрою, виходячи з потужності приладу, режиму його роботи, передбачуваного теплового режиму, прийнятних габаритів, особливостей управління схемою і т.д.

Перелік посилань

1. Bulent Sarlioglu, Casey T. Morris, Di Han, and Silong Li “ Driving Toward Accessibility ”, January/February 2017, pp. 14-25.
2. Саттар А. “Сравнение новейших HiPerFETMOSFETs с семейством SuperJunctionMOSFETs “, Силовая электроника. – 2013. – № 6. – С. 33-36.
3. Кирстед П. “Второе поколение SiCMOSFET с повышенной эффективностью и сниженной стоимостью“, Силовая электроника. , 2013. – № 6., С. 24-26.
4. Смирнов Д.С. “Оценка эффективности применения силовых ключей в бортовых электроприводах“ / Смирнов Д.С., Охапкин С.И., Половенко В.Т. Киров: Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3 - 4 С.
5. NEPTUNE - High Temperature, High Voltage Power MOSFET 1200V, Cissoid: сайт. – URL: <http://www.cissoid.com/high-temperature-electronics/ht-standard-products/neptune-%11-hightemperature%2c-high-voltage-power-mosfet-1200v.html>.
6. ELECTRIC INFO - Силовые MOSFET и IGBT транзисторы, особенности их применения: сайт.- URL: <http://electrik.info/main/praktika/1317-silovye-mosfet-i-igbt-tranzistory-osobennosti-ih-primeneniya.html>