

## ПРИЛОЖЕНИЕ НА НОВИ ГЕНЕРАЦИИ СИЛОВИ MOSFETS И IGBTs В ЗАВИСИМОСТ ОТ ПРИЛОЖЕНИЕТО ИМ

Даниела Марева

*Бургаски свободен университет*

### APPLICATION OF NEW GENERATIONS OF MOSFETS AND IGBTs, POWER SWITCHES, DEPENDING ON THEIR APPLICATION

Daniela Mareva

*Burgas Free University*

**Abstract:** *В полупроводниковите преобразуватели на електроенергия, работещи при по-високи честоти, определянето на загуби в силовите полупроводникови вентили е от особена важност. Резонансната и квазирезонансната комутация на вентилите позволява да се намалят тези загуби и да се увеличи диапазона от работни честоти на електронните устройства, повишава надеждността и подобрява електромагнитната съвместимост от мрежата и към товара. Работата на силовите транзистори в мощните инвертори на напрежение и превключване при нулево напрежение имат особености, които трябва да се взимат в предвид и налагат използването на специални методи за управление.*

**Keywords:** *transistors MOSFETs, IGBTs, power switches, application.*

Мощните транзистори IGBT и MOSFET са дискретни устройства, участващи като хибридни модули на основата на кристали с дискретни елементи. Заедно със силовит интегрални схеми имат предназначение да регулират енергоспестяващи светлинни източници, електронен баласт на луминесцентни лампи, лампи с високо налягане, интегрални мощни драйвери на основата на IGBT и MOSFET, включително високоволтови схеми  $HV_{IC}$  и цифрови контролери за управление на двигатели.

Новите поколения Trench IGBT транзистори могат да подобрят ефективността на захранващите модули при различни приложения. Областите на приложение на Trench IGBT са:

- AC / DC, DC/AC конвертори;
- соларни инвертори;
- системи за индукционно нагряване;
- преобразуватели на напрежение в хибридни превозни средства;
- електрически перални машини;
- модул за управление на електронен баласт на ксенонови светлинни фарове на автомобили;

- управление компресора на хладилника;
- високоволтови генератори за микровълнови печки;
- компресор на електрически климатик;
- инверторни заваръчни машини.

### ***Изисквания за MOSFETs:***

Изисквания за използваните MOSFETs във фазово отместените Full Bridge PWM-ZVS конвертор и LLC резонансни конвертори:

1. Бърз диод вграден в MOSFET с по-ниски стойности на параметрите  $T_{RR}$  и  $Q_{RR}$  и оптимизирана мекота. Това увеличава стръмността на импулса  $dv/dt$  и  $di/dt$ , предпазва от остри пикове на напрежение и увеличава надеждността.

2. Ниско отношение на  $Q_{GD}$  и  $Q_{GS}$   $Q_{GD}$ . В нискоомови товари и твърдо превключване се появява и висока стойност на капацитета  $C_{GD} * dv/dt$ , което може да доведе до пробив.

3. Нисък и разпреден вътрешен ESR на гейта е добре за ZVS при изключване и неравномерно разпределение на тока по време на изключване и включване.

4. Ниска стойност на капацитета  $C_{OSS}$  в режим на ZVS на превключване при нискоомен товар. При такъв тип товар веригата за ZVS се променя, като се превръща в твърдо превключване. Ниската стойност на  $C_{OSS}$  намалява тези твърди загуби от превключване.

5. Тази топология се прилага при високи честоти, което изисква оптимизация - ниска стойност на капацитета  $C_{ISS}$  в MOSFET.

FRFET® UniFET™ II и SupreMOS® се препоръчва за посочените по-горе приложения. Обикновения вграден диод в MOSFET може да доведе до пробив на компонента.

Например: Super MOS FRFET е подходящ за тази топология, защото стойности-те  $T_{RR}$ , както и  $Q_{RR}$  са понижени.

Традиционно при OFFLINE AC/DC преобразуватели, напрежението от променливотоковия AC източник е изправено и филтрирано с голям кондензатор-филтър и от източника протича ток с тесни високоамплитудни импулси. Това състояние на формата на фронта се образува чак в края на цикъла при SMPS. Високо амплитудните импулси произвеждат хармоници, които могат да причинят сериозни смущения в други устройства и намаляване на максималната усвояема мощност. Силно изменената форма на напрежението предизвиква прегряване на кондензаторите, диелектричен стрес и пренапрежение в изолацията им. Също така предизвиква увеличаване на загубите при преноса и намаляване на мощността, която се консумира. Използвайки корекция на фактора на мощността (PFC) се намалява дефектирането на компонентите, поради стрес и се подобрява ефективността на устройството чрез увеличаване на максималната мощност, която се консумира от източника.

Корекция на фактора на мощността се прави на входа, за да изглежда в схемата като резистор. Това е желателно, защото резисторът има фактор на мощността единица, в сравнение с типичния за SMPS фактор на мощността, който има стойности от 0,6 до 0,7. Това позволява на системата за разпределение на енергия да работи при максимална ефективност.

### **Изисквания към фактора на мощност PFC**

Изискванията към фактора на мощност PFC за регулиране на Boost импулсни преобразуватели са:

1. Ниски стойности на параметрите  $Q_{GD}$ ,  $R_{SP}$ ,  $Q_{GD}$  и  $C_{GD}$ , които са от особено значение при повлияването на скоростта на превключване. Ниските стойности на параметрите  $C_{GD}$  и  $Q_{GD}$  намаляват загубите при превключване, а ниските  $R_{SP}$  намаляват загубите на проводимост.

2. Ниските стойности на кондензатора  $C_{OSS}$  намаляват загубите при изключване, загуба за твърдо превключване и превключване в режим на ZVS.

3. Ниските стойности на кондензатора  $C_{ISS}$  намаляват мощността в гейта на драйвера при PFC и обикновено се работи при честота над 100KHz.

4. Предпазване от висока стръмност на импулса  $dv/dt$  и се дава възможност за надеждна работа.

5. Напрежението на гейта  $U_{THGS}$  със стойност от  $(3 \div 5V)$  помага при паралелното свързване на MOSFET и осигурява предпазване срещу повторно подадена стръмност на импулса  $dv/dt$ .

6. Внезапни промени от паразитни капацитети в MOSFET транзисторите по време на динамичното превключване може да предизвикат осцилации в гейта, които увеличават напрежението върху него. Това може да се отрази на дългосрочната надеждност.

7. ESR на гейта е важен показател, защото високо ESR може да увеличи загубите при изключване, особено в режим на ZVS.

За това приложение са препоръчителни UniFET, UniFET II, SuperFET, и SuperMOS като разновидности на MOSFETs. Тези технологии притежават един от най-ниските стойности на  $R_{DS}$  (при включване), използвани при пакет супер съединени MOSFET. Ефективността и плътността на мощността могат да се увеличат с помощта на SuperMOS технология, която е най-новото попълнение към семейството на MOSFET транзисторите на SuperFET II и е подобрена с една трета в сравнение с SuperFET I, а това я прави идеална за offline AC/DC приложения.

### **Синхронен изправител**

Синхронния изправител е известен също като „активен“ изправител, където диодът се заменя с MOSFET. Той се използва, за да се подобри ефективността на изправителя. Обикновено спадът на напрежение в диод може да варира между 0,7V и 1,5 V, което води до големи загуби на мощност в самия диод. При ниско напрежението DC/DC преобразуватели, този спад на напрежение е много важен, защото води до спад в ефективността на системата. Понякога се използват Шотки изправители вместо силициевите диоди и въпреки това, като се увеличава напрежението, нарастването на спада също се увеличава. В нисконапрежението конвертори, Шотки изправителите не предоставят достатъчно ефективност, така че тези приложения се нуждаят от синхронен изправител.

Стойността на съпротивлението  $R_{SP}$  на модерните прибори с MOSFETs е намалена значително и динамичните параметри на MOSFET транзисторите са оптимизирани. Когато диодът се замества с активно управлявани MOSFETs, синхронното изправяне става активно. Съвременните MOSFETs имат няколко милиома съпротивление на прехода  $R_{DS}$  при включено състояние и пада на напрежението в MOSFET може да бъде значително намален, дори и при високи токове. Това значително повишава ефективността в сравнение с диодните изправители. Синхронното изправяне не е

твърдо превключване, то има преход и при нулево напрежение в стабилно състояние. По време на включване и за изключване, вградения в MOSFET диод провежда ток, което прави спада на напрежението в MOSFET с отрицателна полярност и причинява увеличение на стойността на параметъра  $C_{ISS}$ . Поради тази причина с използване на мека комутация, платото на напрежението на гейта отива към нула и така ефективно редуцира зареждащото напрежение на гейта.

Някои от основните изисквания за синхронното изправяне са:

1. Максимално ниска стойност на съпротивлението  $R_{SP}$ .
2. Ниски стойности на динамичните паразитни капацитети. Това намалява мощността на прибора, тъй като веригите със синхронно изправяне обикновено работят при високи честоти.
3. Ниската стойност на параметрите  $Q_{RR}$  и  $C_{OSS}$  става причина за преобразуване на обратния ток, който може да бъде проблем, когато тази схема работи при високочестотно превключване. Тогава този обратен ток действа като високоликажен ток.
4. Ниските стойности на параметрите  $T_{RR}$ ,  $Q_{RR}$ , и вградения диод са необходими, за да се избегне моментния пробив в полупроводника и намаляване на загубите при превключване. Включването на напрежението става в режим на ZVS. Когато каналът на MOSFET се изключва, вграденият диод отново провежда. Включването на напрежението довежда до обратно протичане на тока и този обратен диод се възстановява, което повишава риска от пробив. А бързият диод може да се наложи като бърза демпферна верига на всеки MOSFET.
5. Ниско отношение на стойностите на параметрите  $Q_{GD} / Q_{GS}$ .

T7 MOSFET транзисторите се препоръчват за вторично изправяне, използващо активен изправител. При PT7 стойността на  $R_{DS}$  (във включено състояние), е около 30% по-малка, което също намалява стойността на  $R_{SP}$  с 30%, така че загубата на проводимост в синхронен изправител може да бъде намалена.

#### ***Активна защита с ORing диоди***

Много съвременни устройства и системи се нуждаят от архитектури на захранване със сумиране на мощността при избор на множество захранващи източници. Системите, които използват ORing са повсеместни и разнообразни по големина и сложност. Това включва системи като преносими устройства, блейд сървъри и телекомуникационни комутатори.

Въпросите за комбинация мощност, избор, горещо включване и защита на шините на захранването от резки покачвания по напрежение изискват някои приложения да се захранват с повече от един източник на енергия. Паралелни източници без защита в прекъснат режим на работа води до аварии при къси съединения, горещо включване или премахване на едно устройствата по шината. Макар, че тези функции са подобни, то пусковите и защитни мерки за сигурност са по-различни в тяхната същност на работа.

Полупроводникови диоди, представящи тази ORing функция са все още най-доброто решение в някои приложения, а MOSFET транзисторите стават основа за по-добри решения за изпълнение.

Има редица случаи, при които мощността трябва да се комбинира между източници на захранване и товара. Високомощните системи, като блейд сървъри или базирани телекомуникационни системи, могат да имат няколко захранвания комбинирани за гъвкавост, резервирани са с капацитет в  $N + 1$  конфигурация. Обикновено тези зах-

ранвания са заменяеми, докато системата работи (горещо включване) и са реализирани като блокови платки. Дадена система може да се захранва едновременно от адаптер, USB захранване или от батерия.

ORing устройството в най-простата си форма е диод, необходим да защитава източникът на мощност и когато той дефектира не позволява протичането на ток към източника на захранване. ORing диодите позволяват протичането на ток само в една посока. Те се използват за изолиране на прекъснатите източници на енергия, така че повредата на един източник не се отразява на цялата система. Премахването на една единствена повреда позволява на системата да продължи да работи с останалите допълнителни източник (ци) на захранване. Осъществяването на тази изолация създава и проблеми. ORing диод се поставя по пътя на захранването, появява се допълнително загуба на мощност и се намалява ефективността. Тази загубна мощност принуждава ORing диода да генерира топлина, която изисква добавянето на радиатор, който намалява плътността на мощността на системата. Когато диодът се изключва, обратното му възстановяване трябва да е меко. За преодоляване на някои от тези проблеми се използват Шотки диоди. Важна разлика между тези диоди и pn диодите е намаленото право напрежение и незначителното по време обратно възстановяване. Нормалните силициеви диоди имат пад на напрежение в права посока между 0,7 и 1,7 V, а при Шотки диода пада на напрежение е между 0.2 до 0.55 V. Загубата от проводимост в системата намалява, когато се използва ORing диод. Шотки диодът има висок ток на утечка, което води до загуба на проводимост.

Алтернативно решение на този проблем е да се замени Шотки диода с MOSFET мощен ключ. Това усложнява управлението на гейта. Стойността на съпротивлението  $R_{DS}$  при включване на MOSFET трябва да бъде много ниска, така че спадът на напрежението е съществено по-нисък от този на Шотки диод. Това се нарича активно Oging приложение. Модерните MOSFET притежават стойност на  $R_{DS}$  при включване, която трябва да е много ниска - 1 m $\Omega$  за 30 V. Когато ORing MOSFET е включен, той може да позволи на тока да тече и в двете посоки.

В случай на неизправност се прекъсва силнотокният източник на електрозахранване, а ORing MOSFET бързо препраща захранването до друг източник. PT7 са технологични MOSFETs с най-ниско  $R_{SP}$  и са подходящи за токова приложение.

## Литература

5. Марева Д., Марев Е. „Силови полупроводникови елементи в схемите за индукционно нагриване на флуиди“, Годишник, том XXIV, BFU, 2011.
6. Марева Д., Марев Е. „Развитие на силовите полупроводникови елементи в схемите за индукционно нагриване на флуиди“, Годишник, том XXIV, BFU, 2011.
7. Don L. Loveless „An overview of solid state power supplies“.
8. Эраносян С., Ланцов В. Электронные компоненты для мощных импульсных источников питания // Силовая электроника, 2006, № 2.
5. Ланцов В., Эраносян С. Успехи, трудности и проблемы на пути развития силовой электроники в России // Силовая электроника, 2007, № 4, 2008 № 1.
6. Машурян Э. Современная ситуация в силовой электронике // Электронные компоненты, 2005, № 6.
7. Шурыгина М. Дискретные силовые приборы. Расширение применения и специализация // Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 2007, № 3.
8. Ланцов В., Эраносян С. Надежность силовых устройств: реалии, проблемы и пути решения. Часть 3 // Силовая электроника, 2009, № 1.