

ОСОБЕНОСТИ ПРИ ИЗБОРА И ИЗПОЛЗУВАЩЕТО НА СИЛОВИ ТРАНЗИСТОРИ В ПРЕОБРАЗУВАТЕЛНИ УСТРОЙСТВА

доц.ктн Р.Дойчинова, доц.ктн М.Бобчева, доц.ктн С.Табаков
Технически университет – София

Статията се отнася до един от най-бързо развиващите се клонове на полупроводниковите елементи, какъвто са силовите транзистори.

Създаването на електронни системи с все по-голяма мощност постави пред силовите п.п.е.лементи (тиристори и транзистори) все по-големи изисквания. При тиристарите непрекъснато се увеличават пределните токове и напрежения. В настоящият момент и в близко бъдеще никой силов елемент не може да се сравнява по тези параметри с тиристорите, които например при пластина с $\phi = 125$ достигат до 10000V или 1000A.

Без да могат да достигнат тези напрежения и токове, силовите транзистори имат други определени предимства пред транзисторите – по-голяма скорост на превключване и способност за прекъсване токът във веригата, без изменение полярността на напрежението в прибора.

За да се разберат движещите сили на развитие на новите структури силовите транзистори ще започнем със силовите биполярни транзистори. За работа в ключов режим в силовите преобразуватели обикновено се използват транзистори с колекторни токове по-големи от 10A. При всички биполярни транзистори работещи с голями плътности на тока се проявяват редица физически ефекти, като:

- известване максимума на плътността на емитерния ток
- ефект на модулация на съпротивлението на базовата област
- увеличаване широчината на базовата област (ефектна Кирк).

Тези ефекти са причина за неравномерната плътност на тока и неелпиродното разпределение на температурата в плоскостта на колекторния преход. Това създава предшестваща за явлението вторичен пробив, което намалява ОБР (фиг.1а,б).

Ефектите при високи нива на инжеция са валидни за всички силови биполярни транзистори, независимо от режима в който работят, но те имат своите специфични особености при работа в ключов и линеен режим.

На фиг.2а е показвана ОБР в режим на комутиране при $U_{CE} > U_{CE(BR)}$. В този режим при преминаване чрез транзистора чрез импулсите областта се разширява до размера на правоъгълника $abc0$. В режим на комутация преходът емитер-база е в обратно свързване. При форсирано изключване на транзистора плътността на базовия ток се изменя в посока, обратна на прилото свързване, като получава максимум в центъра на емитера. Едновременно с това при индуктивен товар рязко нараства напрежението U_{CE} . Нареди високата концентрация на подвижни токоносители може да стане лавинен пробив на колекторния преход. Това е т. нар. вторичен пробив причинен от лавинна инжеекция. На фиг.2в е показана ОБР с отчитане на този вторичен пробив. При импулсен режим от максималната площ ОАВЕ трябва да се изключи областта $YZTB$ (определяща опасната област вследствие вторичен пробив от лавинна инжеекция), като в същото време може да се добави площта $KLME$, тъй като при $U_{EB} < 0$ транзисторът за кратко време може да издържи значителен ток при

$$U_{CE} > U_{CE(BR)}$$

При проектирането на силови БТ, използвани в ключов режим, основна задача е да се увеличи комутираната мощност, т.е. да се постигнат големи колекторни токове в режим на насищане и високи напрежения в режим на отсечка. Едновременното повишаване на токовете и напреженията е невъзможно. При оптимално проектиране е доказана зависимостта:

$$I_C = B U_{CE}^{-2,33}$$

където B е константа, зависеща от редица конструктивни и електрически параметри на структурата, като най-характерно е правопропорционалната ѝ зависимост от площта на емитерната област (При тиристорите няма такава съдна зависимост между токове и напрежения). Например при тиристорите с $V = 1000-5000V$ токовите плътности са от порядъка на $50-200A/cm^2$. В транзисторите тези плътности на тока са допустими за U_{CB} от $700-1300V$. За проектиране на транзисторни структури за по-високи напрежения се изискват площи, по-големи от тези на тиристорите.

Една от основните трудности при използванието на БТ произтича от намалението на h_{21} с увеличение на пределно допустимото за-

пушващо напрежение. Тъй като БТ е елемент с токово управление, намалението на h_{21} изиска увеличение на мощността на управляемия сигнал. Недостатъците на мощните биполярни транзистори поведоха (след 80^{те} години) до бързо развитие на силовите MOS транзистори. Това развитие беше свързано с бързото развитие на MOS технологията.

През 1976 г. е създаден първият промишлен образец на мощен МОС транзистор – *VMOS* – фиг.За. Друг много разпространен вариант е вертикалният мощен МО транзистор, изготвен по метода на двойната дифузия. По тази технология са изготвени транзисторите *HEXFET* (на фирмата *International Rectifier*) и *SIPMOS* на фирмата *Siemens*. По същество тези структури са ИС, състоящи се от включени паралелно много отделни МОС транзистори в един кристал.

Силовите МОТ транзистори имат съществено по-голямо съпротивление в сравнение с БТ и удобство за паралелна работа. Данные за силови транзистори са дадени на табл.1. В сравнение с биполярни транзистори по-голямо съпротивление в откликено състояние.

След като беше установено, че силните и S транзистори могат напълно да заменят ИТ, много изследвания засега са излизащи възможността за обединението на тези прибори в една структура. Изучаването на хибриден вариант с големо възможно съпротивление и малко остатъчно съпротивление във включено състояние. Това е постигнато наи-оптимално при обединение физическите принципи на работа на тези прибори в една структура. В резултат се появява биполярен транзистор с изолиран управляващ електрод. (*Insulated*

Gate Bipolar Transistor - IGBT) в лабораторията на GE.

се увеличава също и при дадената честота (6), като се постигат значителни ограничения на времето за предаване (до 0,1-1 мс (стъл.2)).

Задълбочената честотна мощност на устройствата сигнала може да се постигне с твърди интегратори схеми. Нижката способност да превърнат ток в напрежение, която е област на безопасна работа и твърдите транзистори са характеристики, правят тези прибори идеални за транзистори ($U_{DSS} > 100V$) и относително нискочестотни ($f_s < 1MHz$) устройства. Тъй като в областта на пробивни напрежения ($< 1kV$) транзисторите ($< 1MHz$) имат по-добри показатели от ЕТ, може да се каже, че ЕТ е почти напълно изместен от МО прибори (Фиг.6). Както се вижда от фигурата, до 1995 г. пазарът на мощните полеви ($MOS + IGBT$) нараства до 5 милиарда долара, с което те стават доминиращи сред дискретните прибори. Едно друго, много добро съчетание на показателите мощност и честотни свойства са получени при статичния индукционен транзистор (SIT). Той може да се причисли към многоканалните полеви транзистори с управляващ преход. Слойт е вграден в кристала, наподобява управляваща решетка в електронна лампа. Токът проптича перпендикулярен на повърхността на сорса и дрейна.

Единственото от поларитета на този транзистор може да разрешава транзистори:

– тиристор и инвертен (Фиг.70). Даници за SIT са далени в табл. 1.

Приложението на новите типове транзистори съкрява пътя от концепцията до приложението им в конкретни устройства, дава възможност за икономическа пренаска при тяхното използване.

ЛИТЕРАТУРА

1. B.T. Boliga and C.Chen, *Power Transistor*, New York, IEE Press 1990
2. *Proceedings of the IEE*, august 1994
3. *TMOS Power MOS FET*, Motorola
4. *Innovation + service – SEMIKRON*

ТАБЛ.1

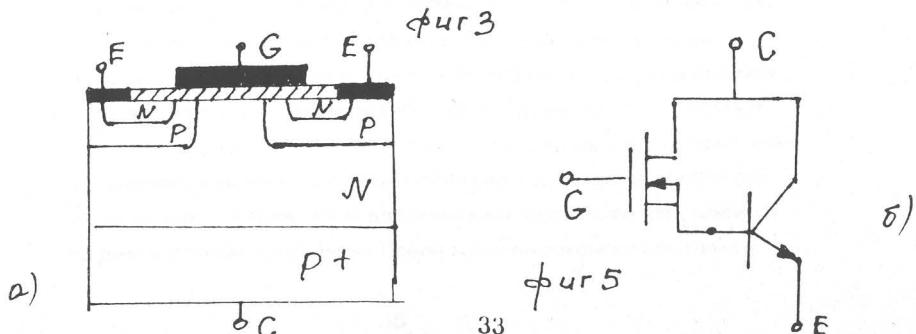
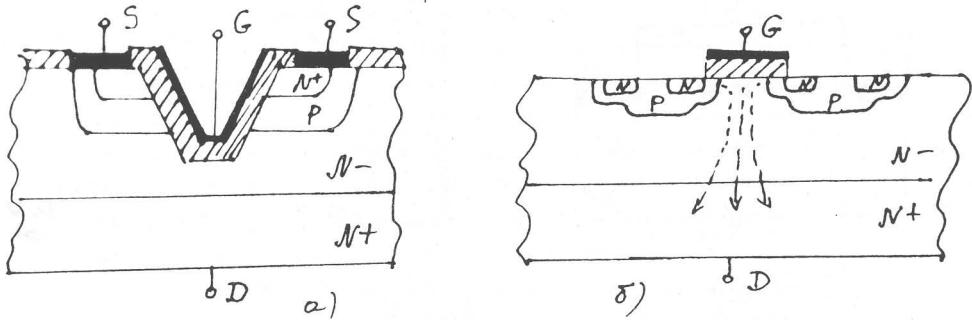
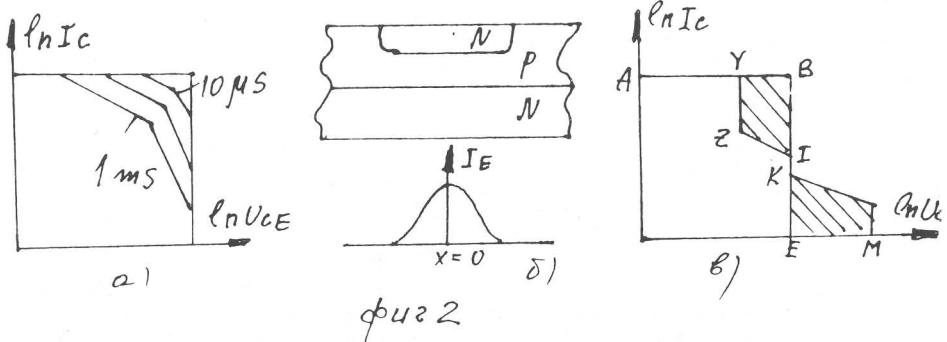
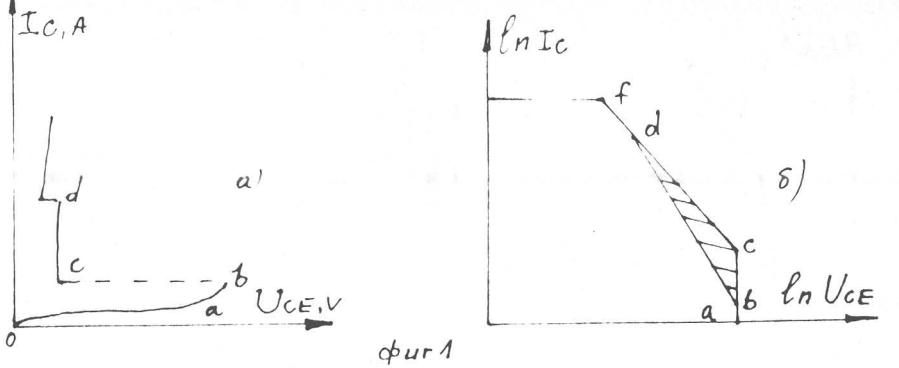
тип, фирма	U_{DS} , в	I_D , А	t_{on} , нс	t_{off} , нс	$R_{DS(on)}$, Ом
IRF350 - Motorola	400	15	35	150	0,3
IRF510 - Motorola	100	4	20	25	0,6
BUZ50 - Siemens	1000	2÷4,2	200	600	2
BUZ20 - Siemens	100	8÷20	30	95	0,2
SKM151F - SEMIKRON	500	56	60	350	0,11

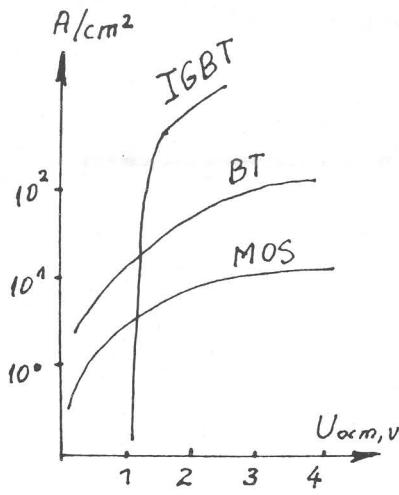
ТАБЛ.2

тип, фирма	U_{CES} , в	I_C , А	t_{on} , нс	t_{off} , нс
FF15R1000K - AEG	1000	15	0,4	1
SKM200GR100D - SEMIKRON	1000	200		
MG400J1US1 - Toshiba	600	400		0,5
IRGBC405 - IR	600	50	0,2	1,2

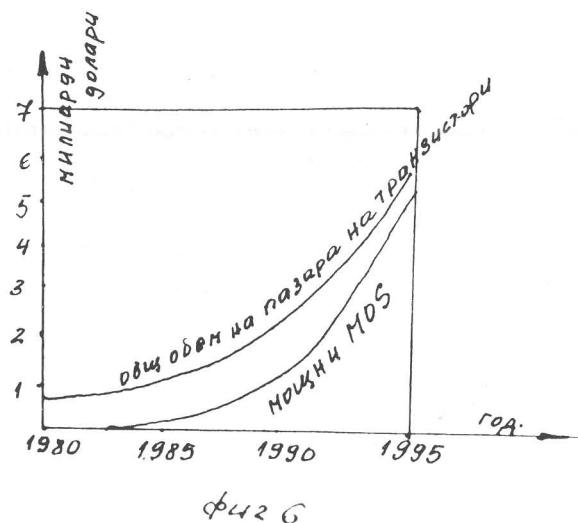
ТАБЛ.3

тип, фирма	U_{DS} , в	I_D , А	t_{off} , нс
2SK183 - Toshiba	800	60	200
THF-53 - Toshiba	1000	30	200

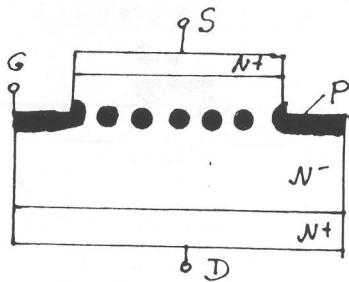




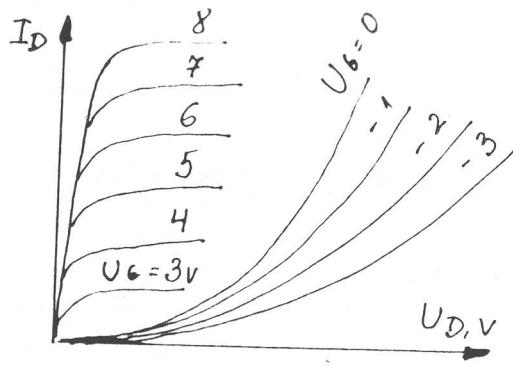
ф4.2.4



ф4.2.6



а)



ф4.2.7

б)