

Tranzystory polowe

MOSFET

TRANZYSTORY dla POCZĄTKUJĄCYCH

Część 22

W poprzednim odcinku podane były niezbędne dla każdego elektronika-hobbysty informacje o tranzystorach polowych złączonych. W dwóch najbliższych odcinkach zamieszczono wszystkie wiadomości potrzebne do praktycznego wykorzystania tranzystorów MOSFET.

Zapoznałeś się już z JFET-ami, jednak jak wspominałem, obecnie straciły one popularność i są rzadko wykorzystywane. Również i Ty nieporównanie częściej będziesz używał MOSFET-ów, niż JFET-ów. I mam dobre wiadomości – ze zrozumieniem działania MOSFET-a nie będziesz miał żadnych kłopotów, a ich stosowanie okazuje się znacznie prostsze niż “zwykłych” tranzystorów bipolarnych. Są to naprawdę bardzo przydatne elementy i warto je stosować, gdzie to tylko możliwe.

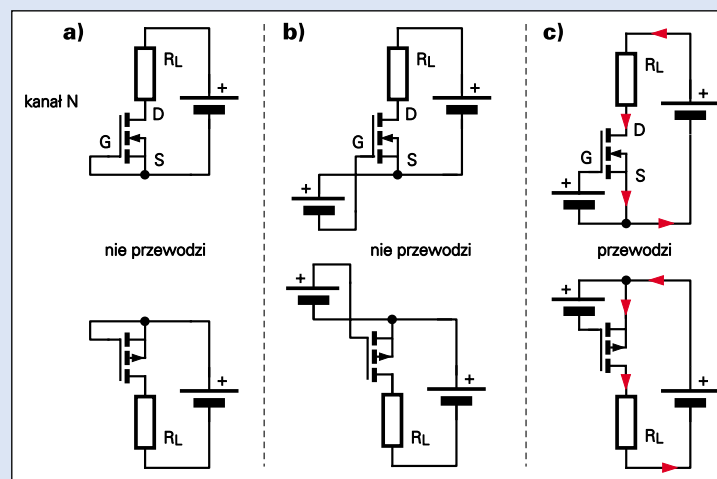
Na dobry początek zapomnij o MOSFET-ach z kanałem zubożonym (depletion mode). MOSFET-y z kanałem zubożonym przypominają parametrami JFET-y: przy zwarciu bramki ze źródłem są otwarte, żeby je zamknąć, trzeba na bramkę podać napięcie, powiedzmy, ujemne. Takich tranzystorów praktycznie nie spotkasz.

W praktyce spotyka się tylko tranzystory MOSFET z kanałem wzbogaconym (enhancement mode). Te typowe MOSFET-y działają podobnie, jak znane ci tranzystory bipolarne. Gdy bramka jest zwarta do źródła - tranzystor nie przewodzi, gdy na bramkę zostanie podane napięcie o “właściwej” polaryzacji - przewodzi. Co ważne, to napięcie nie jest jakieś tam ujemne, jak w J-FET-ach. Nic się jednak nie stanie, gdy spolaryzujemy bramkę napięciem odwrotnym – po prostu tranzystor dalej będzie zatkany. Podstawowe układy pracy MOSFET-ów z kanałem n i p zobaczysz na rysunku 14.

Tym razem w obwodzie bramki nie ma żadnej diody. Bramka jest odizolowana od

przewodzącego prąd kanału za pomocą dwutlenku krzemu (oznacza to przy okazji, że między bramką a kanałem tworzy się kondensator). Obwód bramki nie pobiera więc prądu. Mamy do czynienia ze sterowaniem napięciowym. MOSFET jest bardzo szybki – zmiana napięcia na bramce powodują zmianę prądu w ciągu niewielu nanosekund.

Rys. 14 Podstawowe układy pracy



Podstawowe właściwości

Najważniejszymi parametrami MOSFET-a są:

- **dopuszczalne napięcie dren-źródło, oznaczane U_{DSmax}**
- **maksymalny prąd drenu I_{Dmax}**
- **napięcie progowe otwierania, oznaczane U_{GSth}**
- **rezystancja między drenem a źródłem w stanie (całkowitego) otwarcia R_{DSon} lub $R_{DS(on)}$**

Sens pierwszego parametru jest oczywisty. Zbyt duże napięcie dren-źródło spowoduje przebiecie i nieodwracalne uszkodzenie tran-

zystora. Drugi parametr też nie budzi wątpliwości – przy zbyt dużym prądzie w tranzystorze przepaleniu może ulec nie tylko struktura, ale i wewnętrzne połączenia. Trzeba tylko pamiętać, iż w katalogu obok maksymalnego ciągłego prądu drenu podaje się też znacznie większy prąd szczytowy (impulsowy).

Trzeci parametr również jest łatwy do zrozumienia. U_{GSth} (gdzie th pochodzi od threshold – próg) to napięcie bramka-źródło, przy

którym tranzystor zaczyna się otwierać, a konkretnie, gdy prąd drenu ma wartość 1mA. Można przyjąć, że przy napięciach bramki mniejszych niż U_{GSth} tranzystor jest całkowicie zatkany – prąd drenu nie płynie, a rezystancja między drenem a źródłem - R_{DS} - jest ogromna (wiele megao-

mów). Przy zwiększaniu napięcia powyżej U_{GSth} tranzystor otwiera się coraz bardziej, a rezystancja R_{DS} maleje. Nie można jej jednak zmniejszyć do zera, a jedynie do wartości rzędu ułamków oma lub pojedynczych omów. I to jest właśnie czwarty parametr: najmniejsza rezystancja w pełni otwartego tranzystora. Podaną w katalogu małą rezystancję R_{DSon} uzyskuje się przy napięciu bramki (U_G), równym zazwyczaj 10V. Zwiększenie napięcia U_G do 15V nie zaszkodzi, ale i nie zmniejszy już znacząco rezystancji R_{DSon} . Tu na marginesie ważna informacja - **ZAKRES DOPUSZCZALNYCH NAPIĘĆ U_G WYNOŚI DLA**

PRAKTYCZNIE WSZYSTKICH MOSFET-ÓW ±15...±20V.

Zapamiętaj to!

W każdym razie nawet przy pełnym otwarciu (podaniu na bramkę znacznego napięcia), między drenem a źródłem występuje jakaś niewielka rezystancja. Przy przepływie prądu spowoduje ona powstanie spadku napięcia na tranzystorze, a także nieuniknione straty mocy. Rezystancja R_{Dson} jest więc w pewnym sensie odpowiednikiem napięcia nasycenia, znanego z tranzystorów bipolarnych.

Oczywiście ideałem byłby tranzystor MOSFET o jak największym napięciu U_{DSmax} i jak najmniejszej rezystancji R_{Dson} . Niestety, rezystancja R_{Dson} jest zdecydowanie większa w tranzystorach o wyższym dopuszczalnym napięciu U_{DSmax} . W praktyce oznacza to, że nie warto stosować MOSFET-ów z większym niż to konieczne napięciem U_{DSmax} .

Oto przykład. Jeśli przez w pełni otwarty tranzystor BUZ11 popłynie ciągły prąd o wartości 5A, to napięcie U_{DS} wyniesie tylko

$$U_{DS} = 0,04\Omega * 5A = 200mV$$

Straty mocy wyniosą zaledwie:

$$P = 200mV * 5A = 1W$$

Jak wiadomo, tranzystor w obudowie TO-220 bez radiatora może rozproszyć 1...1,5W mocy strat. Żaden radiator nie jest więc potrzebny. Jeśli jednak przy takim samym prądzie miałyby pracować tranzystor BUZ60 (400V, 5,5A, 1Ω), wtedy spadek napięcia wyniesie $5A * 1\Omega = 5V$, a straty mocy aż 25W. Tu potrzebny będzie solidny radiator.

Zapamiętaj też raz na zawsze, iż tranzystory z kanałem p mają większą rezystancję R_{Dson} , niż podobne z kanałem n (między innymi dlatego są zdecydowanie rzadziej stosowane). W tabeli 1 znajdziesz podstawowe parametry kilku popularnych tranzystorów mo-

Tabela 1 – MOSFET-y dużej mocy

Kanał	Typ	U_{Dmax} [V]	I_{Dmax} [A]	R_{Dson} [Ω]
N	BUZ10	50	23	0,07
N	BUZ11	70	30	0,04
N	BUZ71A	50	12	0,12
N	BUZ74	500	2,4	3
N	BUZ74A	500	2,1	4
N	BUZ77A	600	2,1	4
N	BUZ90	600	4,5	1,6
N	IRF520	100	9,2	0,27
N	IRF530	100	14	0,16
N	IRF540	100	28	0,077
N	IRF640	200	18	0,18
N	IRF740	400	10	0,55
N	IRF840	500	8	0,85
P	BUZ171	50	8	0,3
P	BUZ271	50	22	0,15
P	BUZ172	100	5	0,6
P	BUZ173	200	3	1,5
P	IRF9530	100	12	0,3
P	IRF9540	100	19	0,2

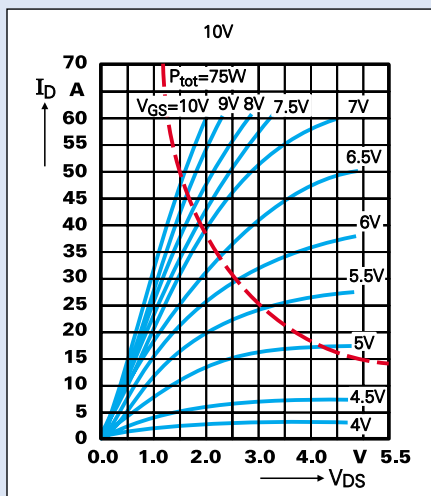
Tabela 2 – MOSFET-y małej mocy

Kanał	Typ	U_{DSmax}	I_{Dmax}	R_{Dson}
N	BS170	60	0,3	5
N	BS107	200	0,13	26
N	VN0300L	60	1	1,2
N	VN2406L	240	0,5	6
N	VN2410L	240	0,5	10
P	BS208	200	0,2	14
P	BS250	45	0,18	14
P	BSS92	200	0,15	20
P	BSS84	50	0,13	10

cy w obudowach TO-220, a w tabeli 2 – tranzystorów małej mocy w obudowie TO-92. Zwróć uwagę na zależność R_{Dson} i U_{DSmax} .

Charakterystyki

W katalogach występuje wiele parametrów i charakterystyk. Nie wszystkie są dla Ciebie jednakowo ważne. Na rysunku 15 znajdziesz skopiowaną z katalogu *charakterystykę wyjściową* popularnego MOSFET-a N mocy typu BUZ11.



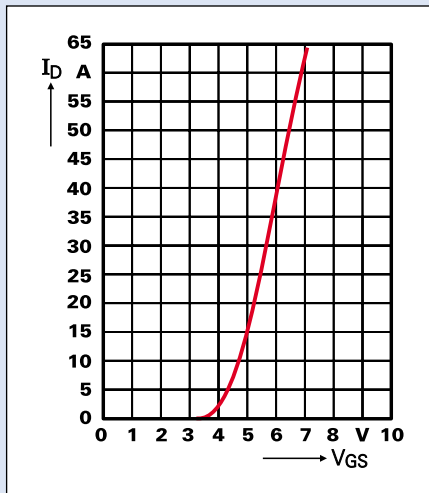
Rys. 15 BUZ11 charakterystyka wyjściowa

Linia przerywaną zaznaczono tzw. hiperbolę mocy, pokazującą dopuszczalną moc strat. Przebieg krzywych (poziome odcinki) wskazuje, że również MOSFET przy mniejszych prądach może być użyty do budowy źródeł prądowych.

Nie jest to jednak najważniejsza charakterystyka. Znacznie istotniejszy jest *typowy przebieg charakterystyki przejściowej*, pokazany na rysunku 16. Słusznie się domyślasz, że kluczowe znaczenie ma wartość napięcia progowego, przy którym tranzystor zaczyna się otwierać (gdy prąd ma "standardową" wartość 1mA). Analogicznie jak w JFET-ach, napięcie to nie jest ściśle określone. Występuje nie tylko znaczny rozrzut między egzemplarzami, ale także daje się zauważyć znaczny wpływ temperatury.

Rysunek 17 wskazuje, że napięcie progowe tranzystora BUZ11 może wynosić w skrajnych przypadkach 1,5...4,5V. Analogiczne charakterystyki bardzo popularnego małego tranzystora BS170 pokazane są na rysunku 18. Tu napięcie progowe może wynosić 0,5...2,4V.

Teraz bardzo uważaj! Choć tranzystor MOSFET zaczyna się otwierać przy jakimś napięciu U_{Gsth} , jednak **do pełnego otwarcia jest wymagane napięcie znacząco większe niż U_{Gsth}** . Niektóre tranzystory potrzebują trochę więcej napięcia U_{GS} , by prąd wzrósł np. o 1A, inne trochę mniej. Oczywiście nie nazywamy tego czułością, tylko **KONDUKTANCJĄ PRZEJŚCIOWĄ**. W katalogach podaje się wartość konduktancji przejściowej, ale nie jest to parametr najistotniejszy. Ponieważ MOSFET-y najczęściej pracują dwustanowo, jako przełączniki – zatkały/otwarty, ważniejsza jest informacja, **jakie napięcie jest wymagane, żeby go w pełni otworzyć**. Jeśli na przykład jakiś egzemplarz BUZ11 będzie miał napięcie progowe 4V, to do jego pełnego otwarcia nie wystarczy napięcie 5V, typowe dla wielu układów cyfrowych. Na pewno wystarczy 9V, a przy 12V rezystancja R_{DS} może nawet być nieco mniejsza niż podana w katalogu R_{Dson} . W przypadku tranzystorów małej mocy, np. BS170, nie ma tego problemu, bo napięcie U_{Gsth} nie przekracza 2,4V.



Rys. 16 BUZ11 charakterystyka przejściowa

Wniosek jest prosty: *napięcie 5V jest za małe do pełnego otwarcia niektórych egzemplarzy MOSFET-ów mocy*. Jeśli nie ma możliwości zwiększenia napięcia sterującego podawanego na bramkę, należy sprawdzić, czy dany egzemplarz wystarczająco otworzy się przy napięciu bramki równym 5V. Inną możliwością jest zastosowanie specjalnych MOSFET-ów z obniżonym napięciem progowym, które na pewno całkowicie się otworzą przy napięciu bramki równym 5V.

Ciąg dalszy na stronie 93

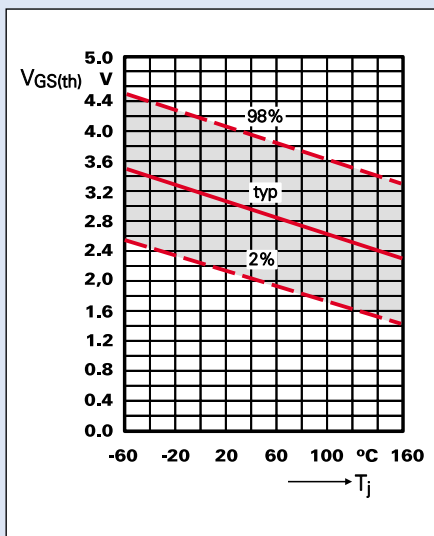
Ciąg dalszy ze strony 40

Przykładowo, obok tranzystorów BUZ10 produkowane są tranzystory BUZ10L o napięciu $U_{GS(th)}$ w zakresie 1,5...2,5V (podobnie BUZ11AL).

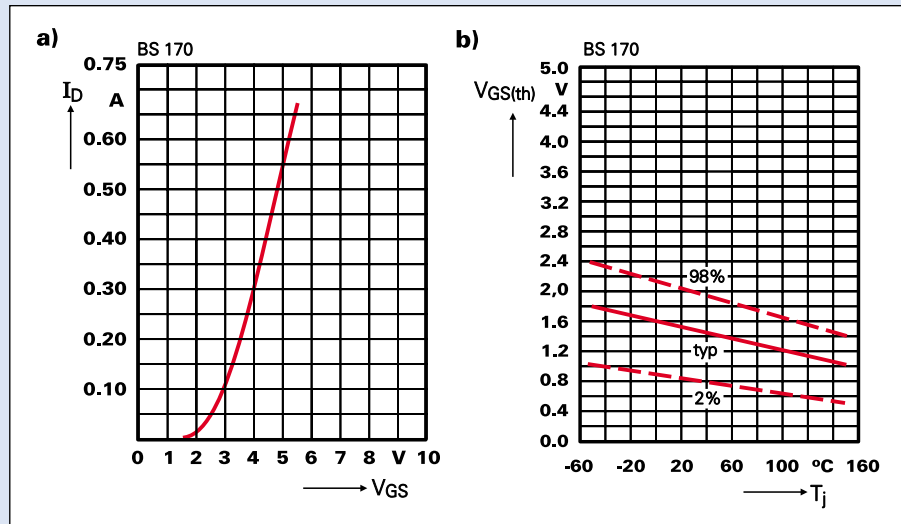
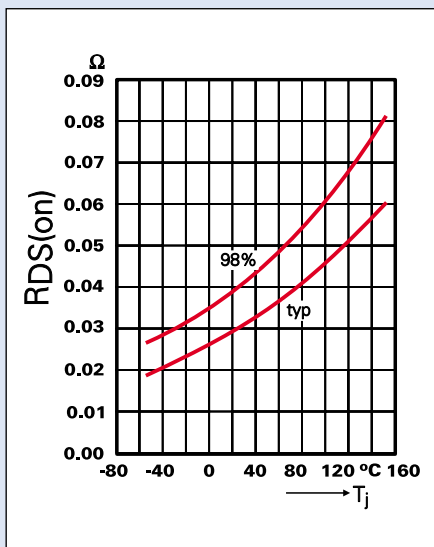
Nie tłumaczę Ci tutaj problemów odprowadzania ciepła i stosowania radiatorów. Zależności są identyczne jak w zwykłych tranzystorach i układach scalonych; w katalogu znajdziesz wartość rezystancji termicznej R_{thjc} oraz wykresy przedstawiające zależność mocy traconej i prądu drenu od temperatury. Temat rezystancji ciepłych i radiatorów był wyczerpująco omówiony w EdW 7/98...9/98 oraz EdW 12/99 str. 34.

Wypadałoby jeszcze wspomnieć o pewnej właściwości, która odróżnia MOSFET-y od tranzystorów bipolarnych. W bipolarnych wzrost temperatury powoduje zwiększanie prądu kolektora, co na przykład uniemożliwia bezpośrednie połączenie równoległe kil-

Rys. 17 BUZ11 rozruty napięcia progowego



Rys. 19 BUZ11 zależność $R_{DS(on)}$ od temperatury



Rys. 18 Charakterystyki BS170

ku tranzystorów (potrzebne są rezystory wyrównawcze w emiterze – bez nich przy dużym obciążeniu poszczególne tranzystory będą się przepalać po kolei). W całości otwartych MOSFET-ach rezystancja rośnie wraz z temperaturą – ilustruje to **rysunek 19**. W sumie oznacza to, że można bezpośrednio łączyć równoległe kilka podobnych MOSFET-ów, ale ze względu na rozruty napięcia $U_{GS(th)}$ nie w układach liniowych, tylko w przełączających, gdzie na bramki podawane jest znaczne napięcie otwierające je całkowicie. W praktyce nie będziesz łączył MOSFET-ów ani równoległe, ani szeregowo – spośród przebogatej oferty wybierzesz od razu tranzystor o potrzebnym Ci prądzie i napięciu.

Na razie niewiele mówi Ci też informacja, że w MOSFET-ach nie występuje zjawisko tzw. drugiego przebicia (second breakdown). Wiedz jednak, że dzięki temu MOSFET-y są bardziej odporne na niesprzyjające warunki pracy i trudniej je zepsuć. Dotyczy to na przykład

stopni wyjściowych wzmacniaczy mocy audio.

Tyle w tym odcinku. Na pewno podobają Ci się MOSFET-y i zdecydowany jesteś je często stosować.

Słusznie!

Powinieneś jednak wiedzieć, że MOSFET-y także mają swoje wady. Omówimy je za miesiąc.

Piotr Górecki