

Elementy półprzewodnikowe – część II

W kolejnym odcinku cyklu omówimy podstawowe właściwości tranzystorów oraz przedstawimy ogólny przegląd tranzystorów krajowej produkcji.

Właściwości tranzystorów

Warto poświęcić nieco uwagi omówieniu podstawowych parametrów elektrycznych tranzystorów. W katalogach dla każdego typu tych elementów podawanych jest wiele liczb i wykresów, jednak większość z nich potrzebna jest wyłącznie projektantowi urządzeń elektronicznych. Z punktu widzenia amatora-elektronika ważne są te parametry, które decydują o zakresie zastosowań danego typu tranzystora oraz są ogólnymi miernikami jego jakości. Parametrów takich jest niewiele. Oto najważniejsze z nich.

1. Napięcia dopuszczalne. Są to najwyższe napięcia, jakie można przyłożyć pomiędzy poszczególne elektrody tranzystora bez obawy uszkodzenia go. Z reguły najwyższe jest napięcie dopuszczalne kolektor-baza (oznaczane U_{CB0}), niższe od niego jest napięcie dopuszczalne kolektor — emiter (oznaczane U_{CE0}), najniższe zaś — napięcie dopuszczalne baza — emiter dotyczy oczywiście zaporowego kierunku napięcia. Napięcie przyłożone jest w kierunku zaporowym, jeśli do obszaru typu „p” półprzewodnika przyłożony jest ujemny, a do obszaru „n” — dodatni biegun źródła napięcia. Dla przykładu: w tranzystorze typu „n-p-n” obszary emitera i kolektora są typu „n”, a bazy — typu „p”. Zatem napięcie w kierunku zaporowym musi być przyłożone następująco: do zacisku bazy — minus, do kolektora lub emitera — plus. Napięcie dopuszczalne

kolektor — emiter oznacza najwyższe napięcie, jakie można przyłożyć do wyprowadzeń emitera i kolektora, gdy baza nie jest nigdzie podłączona. W tranzystorach „p-n-p” napięcie to ma następujące znaki: minus do kolektora, plus do emitera. W tranzystorze „n-p-n” znaki są przeciwnie. Bieguny te są oczywiście identyczne z kierunkami napięć zasilających tranzystor podczas normalnej pracy.

I jeszcze dwie ważne uwagi! Pierwsza: nie należy się dziwić, jeżeli w jakimś urządzeniu elektronicznym zastosowano napięcie zasilające większe od napięć dopuszczalnych użytych tranzystorów. W odpowiednio zaprojektowanym układzie nie jest to groźne dla tranzystorów, ponieważ układ uniemożliwia pojawienie się pełnego napięcia zasilania na końcówkach tranzystora. Uwaga druga: jednym z ważnych sposobów sprawdzenia, czy posiadany tranzystor jest sprawny, to przyłożenie do złączeń emiter — baza i kolektor — baza napięć w kierunku zaporowym, oczywiście niższych od dopuszczalnych. Jeśli tranzystor jest dobry, prąd, który wówczas popłynie, będzie bardzo słaby. W przypadku tranzystorów germanowych wyniesie on z reguły kilka mikroamperów (może być większy dla tranzystorów dużej mocy). W tranzystorach krzemowych prąd ten jest w ogóle niemożliwy do zmierzenia przyrządami dostępnymi dla amatora. Jeśli płynący prąd jest znaczny, tranzystor nie nadaje się do użytku. Przy opisanym tu badaniu trzeba szeregowo z tranzystorem włączyć opornik o wartości kilku kiloomów. Zabezpieczy on tranzystor przed uszkodzeniem w przypadku, gdyby przez pomyłkę zostało przyłożone napięcie w niewłaściwym kierunku.

2. Współczynnik wzmocnienia prądowego. Parametr ten określa właściwości tranzystora jako wzmacniacza. Nie wdając się w szczegóły fizyczne można z grubsza powiedzieć, że działanie tranzystora jako wzmacniacza polega na tym, że przepływ stosunkowo słabego prądu między bazą i emiterem powoduje przepływ znacznie silniejszego prądu między kolektorem i emiterem.

Współczynnik wzmocnienia prądowego oznaczony jako h_{21E} oznacza stosunek prądu kolektora do prądu bazy, gdy oba te prądy są prądami stałymi. Parametr oznaczony jako h_{21E} oznacza stosunek prądów zmiennych płynących w obwodzie kolektora i bazy — określa on działanie wzmacniające tranzystora dla słabych prądów zmiennych małej częstotliwości. Parametr ten bywa potocznie nazywany „beta”, ponieważ był niegdyś oznaczony grecką literą β .

Warto wiedzieć, że współczynnik wzmocnienia dla prądów stałych h_{21E} nie jest równy współczynnikowi wzmocnienia dla prądów zmiennych. Na ogół jednak mają one wartości zbliżone.

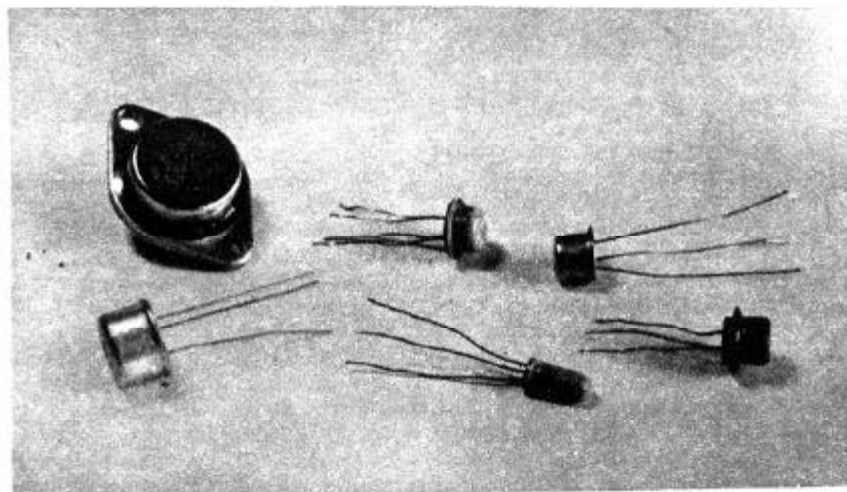
Współczynniki wzmocnienia sprawnych tranzystorów wynoszą co najmniej kilkanaście. Największe wartości wynoszą dla tranzystorów germanowych 100—150, dla tranzystorów krzemowych dochodzą do tysiąca.

Ważna uwaga. Tranzystory germanowe o bardzo dużych współczynnikach wzmocnienia, pozornie bardzo dobre, praktycznie są nieprzydatne w większości zastosowań, ponieważ przestają prawidłowo działać przy wzroście temperatury. Nie dotyczy to tranzystorów krzemowych. Dlatego są one produkowane z bardzo dużymi wartościami współczynników wzmocnienia (wchodzi tu zresztą w grę także inne przyczyny techniczne).

Stałoprądowy współczynnik wzmocnienia może być w warunkach amatorskich zmierzony przez pomiar prądu kolektora przy pewnej znanej wartości prądu bazy.

3. Częstotliwość graniczna. Parametr ten określa właściwości tranzystora przy wzmacnianiu sygnałów wielkiej częstotliwości. Współczynnik wzmoc-

Różne tranzystory krajowe i zagraniczne w obudowach metalowych



nienia prądowego (oczywiście zmiennoprądowy) jest w pewnym zakresie częstotliwości (od kilkunastu kHz do kilku MHz, zależnie od typu tranzystora) praktycznie stały, dla większych częstotliwości zaś zaczyna maleć; jest w tym zakresie odwrotnie proporcjonalny do częstotliwości.

Częstotliwość, przy której wartość współczynnika wzmocnienia wynosi 1, oznaczana jest jako f_r i nazywana częstotliwością graniczną. (Są jeszcze inne, inaczej określane częstotliwości graniczne, dla nas mniej ważne). Zastosowanie tranzystora do wzmacniania sygnałów o częstotliwości większej od f_r , chociaż teoretycznie możliwe, jest na ogół niecelowe. Częstotliwość f_r ogranicza więc zakres częstotliwości wzmacnianych przez tranzystor. Częstotliwości graniczne współczesnych tranzystorów (nawet przeznaczonych do pracy w zakresie małych częstotliwości) są z reguły większe od 100 MHz. Mniejsze wartości f_r mają tranzystory dużej mocy i stare typy tranzystorów, głównie germanowych.

Zbadanie częstotliwości granicznej w warunkach amatorskich nie jest możliwe.

4. Dopuszczalna moc. Parametr ten określa maksymalną moc elektryczną, oznaczaną zwykle symbolem P_e , jaka może się wydzielać w tranzystorze przy określonym sposobie chłodzenia jego obudowy. Przekroczenie mocy dopuszczalnej grozi zniszczeniem tranzystora wskutek wzrostu temperatury ponad dopuszczalną, która wynosi ok. 90°C dla tranzystorów germanowych i 150°C — 200°C dla tranzystorów krzemowych. Podane temperatury dotyczą kryształu półprzewodnika, w którym wykonany jest tranzystor, a nie jego obudowy; jej temperatura musi być znacznie niższa.

Tranzystory małej mocy pracują na ogół bez żadnego dodatkowego chłodzenia obudowy. Ich dopuszczalna moc jest więc z reguły podawana jako moc, która może się wydzielać w tranzystorze

umieszczonym swobodnie w powietrzu o określonej temperaturze, zwykle 25°C, moc dopuszczalna maleje i staje się równa zero, gdy temperatura otoczenia tranzystora staje się równa podanym wyżej temperaturom dopuszczalnym.

Dla tranzystorów dużej mocy na ogół podaje się moc dopuszczalną dla tzw. idealnego chłodzenia — gdy tranzystor jest przymocowany do radiatora odprowadzającego natychmiast każdą ilość ciepła. Trzeba pamiętać, że tranzystor taki pracujący bez radiatora lub z niewielkim radiatorem wytrzyma obciążenie znacznie mniejszą mocą, niż jest podana dla chłodzenia idealnego.

Praktycznie można stwierdzić, że tranzystory germanowe pracują bezpiecznie, jeśli ich obudowy podczas pracy są co najwyżej ledwo ciepłe. Natomiast temperatury obudów tranzystorów krzemowych są dość wysokie, nawet ponad 100°C. Nie dotyczy to jedynie tranzystorów krzemowych w obudowach z tworzyw sztucznych — dla nich dopuszczalna temperatura obudowy wynosi 50°C.

Podział tranzystorów

Omówione cztery parametry wystarczają do podzielenia tranzystorów na grupy ze względu na ich typowe zastosowania. Dokonamy teraz przeglądu krajowych tranzystorów, jakie mogą obecnie trafić do rąk amatora-elektronika.

1. Tranzystory germanowe. Wszystkie typy tranzystorów germanowych są przewidziane do wycofania z produkcji. Poza tym są jeszcze w sprzedaży stare typy, już nie produkowane. Wszystkie tranzystory są typu p-n-p.

2. Tranzystory krzemowe. W najbliższych latach rozwinięta będzie na wielką skalę produkcja krzemowych tranzystorów wykonywanych technologią planarną. Będą produkowane tranzystory do wszelkich zastosowań, typów n-p-n i p-n-p. Oprócz nowoczesnych typów,

Tranzystory germanowe już nie produkowane

Oznaczenie	Zastosowanie	Można zastąpić przez
TG 10 TG 20	Wzmacniacze p.c.z. (465 kHz) Mieszacze, oscylatory dla fal długich i średnich	AF 426 — 430 (BFP 519 — 521, BFP 214 — 215)
TG 37 do TG 40	j.w., włącznie z zakresem fal krótkich (TG 37)	j.w.
AF 514 do AF 516	j.w. oraz mieszacze, oscylatory i wzmacniacze p.c.z. dla zakresu UKF	(BFP 214 — 215)

Tranzystory będące jeszcze w produkcji

Oznaczenie	Zastosowanie	Uwagi
TG 2 do TG 8	Wzmacniacze małej częstotliwości, małej mocy	Tranzystory niskiej jakości
TG 50 do TG 55	Wzmacniacze małej częstotliwości, średniej mocy, przetwornice napięcia itp.	
AF 426 do AF 430	Wzmacniacze pośredniej częstotliwości (465 kHz i 10,7 MHz), mieszacze, oscylatory (zakres dl., śr., kr.)	
ASY 34 do ASY 37	Urządzenia impulsowe; możliwe zastosowanie we wzmacniaczach m.c.z. małej i średniej mocy	Trafiają się egzemplarze o dość małych szumach
ADP 665 do ADP 668	Wzmacniacze małej częstotliwości, średniej i dużej mocy	Dawane oznaczenie TG 60
ADP 670 do ADP 672	Wzmacniacze m.c.z. dużej mocy, przetwornice itp.	Dawane oznaczenie TG 70 do TG 72

których produkcja będzie rozwijana, są jeszcze dostępne tranzystory starsze, które wycofuje się lub już wycofano z produkcji.

W najbliższym czasie przewidziane jest uruchomienie produkcji wielu innych typów tranzystorów krzemowych, w tym typów p-n-p, bowiem wszystkie produkowane dotychczas były typu n-p-n.

W następnej części cyklu podamy dalsze dane techniczne, rysunki wyproadzeń, system oznaczeń, a na razie jeszcze kilka uwag o wzajemnej zamienności tranzystorów.

Jest oczywiste, że w dobrze zaprojektowanym i skonstruowanym układzie powinien pracować dowolny egzemplarz tranzystora takiego typu, jaki przewidział konstruktor, bez konieczności dobie-

rania jakichkolwiek elementów. Jeśli stosujemy tranzystor innego typu, mogą wystąpić trudności.

Jako generalną zasadę można przyjąć, że w wielu zastosowaniach tranzystory zgromadzone w tabelach we wspólnych grupach są nawzajem zamiennie. Oczywiście, nie dotyczy to układów o „wyśrubowanych” parametrach lub o nietypowej konstrukcji. Można również zamieniać tranzystory na inne, z innej grupy, lecz przewidziane do tego samego zastosowania. Natomiast z reguły nie można zastępować tranzystorów germanowych krzemowymi i na odwrót. Zamiana taka wymagałaby, po pierwsze — zmiany biegunów napięcia zasilającego (w przyszłości, gdy będą dostępne tranzystory krzemowe p-n-p, nie będzie to konieczne), a po drugie — zmiany war-

Tranzystory krzemowe już nie produkowane

Oznaczenie	Zastosowanie	Uwagi
BF 504 do BF 506	Wzmacniacze m.c.z. małej i średniej mocy, wzmacniacze średniej częstotliwości	Tranzystory niskiej jakości i kosztowne
BF 510 BF 511	Wzmacniacze małej i średniej częstotliwości	

Tranzystory przewidziane do wycofania z produkcji

Oznaczenie	Zastosowanie	Uwagi
BUYP 52 do BUYP 54	Wzmacniacze małej i średniej częstotliwości, dużej mocy, przetwornice	Dawne oznaczenie BUY 52 do BUY 54

Tranzystory, których produkcja będzie rozwijana

Oznaczenie	Zastosowanie	Uwagi
BFP 519 do BFP 521	Uniwersalne	Obudowa metalowa
BFP 619 do BFP 621		Obudowa z tworzywa sztucznego
BCP 527 BCP 528 BCP 107 do BCP 109	Uniwersalne, przede wszystkim do wzmacniaczy małej częstotliwości. Typ BCP 109 — szczególnie małe szumy — do stopni wejściowych	Obudowa metalowa
BCP 237 BCP 238		Obudowa z tworzywa sztucznego
BFP 214 BFP 215	Wzmacniacze wielkiej częstotliwości, aż do zakresu UKF włącznie, mieszacze, oscylatory, wzmacniacze p.c.z.	
BDP 254	Wzmacniacze małej i średniej częstotliwości, dużej mocy	
BDP 620	Wzmacniacze małej częstotliwości, dużej mocy	

tości oporników doprowadzających wymagają doprowadzenia między bazę i emiter napięcia stałego o ok. 0,45 V wyższego, niż wymagają tranzystory germanowe. Ta niewielka pozornie różnica powoduje jednak, że oporniki zasilające tranzystor muszą mieć zupełnie inne w obydwóch przypadkach wartości. W układach skonstruowanych dla tranzystorów krzemowych bardzo często w ogóle niemożliwe jest użycie tranzystorów germanowych, ponieważ układy te wykorzystują pewne takie własności tranzystora, których tranzystory germanowe mieć nie mogą (na przykład bardzo

duże wartości współczynnika wzmocnienia). Dlatego w tabelce tranzystorów germanowych wycofanych z produkcji odpowiedniki krzemowe zostały podane do takiego samego zastosowania, ale na ogół nie nadające się do bezpośredniej zamiany.

Dlatego też radzimy wykorzystywać przede wszystkim układy, w których zastosowano nowe typy tranzystorów krzemowych. Mamy nadzieję, że już niedługo będą te tranzystory powszechnie dostępne i tanie.

Mgr inż. Wiesław Kuźmicz