Zamieniki Tranzystory Część 20 POCZĄTKUJĄCYCH

Zgodnie z zapowiedzią, artykuły o wzmacniaczach operacyjnych będą się ukazywać na przemian z artykułami o tranzystorach. Oto artykuł o bardzo istotnym problemie zamienników. Dotyczy głównie tranzystorów, ale również diod, tyrystorów i triaków.

Nie zawsze elektronik ma pod ręką typ tranzystora czy diody podany na schemacie. Czym go zastąpić? Czy musi to być ścisły odpowiednik? Czy można dać cokolwiek wprost z półki? Jakie parametry są najważniejsze? Które parametry są mniej ważne?

Po przeanalizowaniu wcześniejszych odcinków o tranzystorach, jesteś uzbrojony w znaczną wiedzę na temat modeli, parametrów tranzystora i zapewne się zastanawiasz, czym tak naprawdę różnią się poszczególne typy tranzystorów?

Niniejszy artykuł ma rozproszyć niepotrzebne obawy i rozjaśnić mroczny problem zamienników. Osobiście znam elektroników, którzy, gdy napotkają na schemacie konkretny tranzystor, powiedzmy BC528, to stają na głowie, żeby takowy zdobyć. Nie przyjdzie im do tejże głowy, że można go zastąpić jakimkolwiek dowolnym tranzystorem małej mocy, choćby BC548, BC108, 2N2222, a w niektórych przypadkach dosłownie jakimkolwiek innym NPN. To samo dotyczy diod. Pamiętam, jak kiedyś przed laty dział zaopatrzenia pewnej firmy wyczyniał cuda, by szybko zdobyć zagraniczne diody 1N914, gdy tymczasem w danym układzie diody takie można było zastąpić dosłownie jakimikolwiek krajowymi diodami krzemowymi.

Ty nie popełniaj takich błędów! Zdecydowana większość początkujących elektroników ma głęboko zakorzenione przeświadczenie, iż uszkodzony tranzystor (dioda) może być zastąpiony jedynie tranzystorem (diodą) dokładnie tego samego typu, ewentualnie ścisłym zamiennikiem podanym w katalogu. Przeświadczenie takie jest powszechne, a przy tym bardzo często błędne. W większości przypadków naprawdę nie trzeba szukać ścisłego odpowiednika.

Tranzystory

Nie znaczy to jednak, że zawsze można zastosować jakikolwiek dowolny tranzystor w miejsce innego. Musisz zrozumieć podstawowe zależności. Podejdźmy do tego z najprostszej strony.

Z pewnością niektóre tranzystory mają większe wymiary półprzewodnikowej struktury, i to zapewne są tranzystory mocy. Inne mogą mieć jakąś specyficzną budowę wewnętrzną, na przykład wymyślny kształt obszaru bazy – to będą na przykład tranzystory wysokiej i bardzo wysokiej częstotliwości. Tak, Mój Drogi, tu otwiera się kolejny bardzo obszerny rozdział dotyczący technologii i fizycznej budowy tranzystora. Podręczniki poświęcają temu zagadnieniu ogromnie dużo miejsca. Przypuszczam, że takie obszerne opisy są po części odpowiedzialne za lęk przed zamiennikami. Jeśli różne firmy stosują różnorodne modyfikacje procesu technologicznego, to chyba otrzymane tak tranzystory istotnie się różnią? STOP! Nie tędy droga!

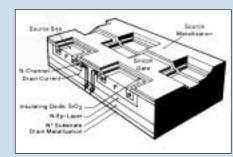
Powiem Ci szczerze, że mnie zawsze mierziły te dziesiątki stron, zawierające opisy budowy tranzystorów, przekroje złącz, warstw metalizacji, oraz tasiemcowe opisy procesów technologicznych (przykład na rysunku 1). Elektronikowi, nawet konstruktorowi, potrzebne jest co najwyżej 10% podawanej tam wiedzy, może nawet mniej. Cała reszta może zainteresować tylko tych, którzy zajmują się projektowaniem tranzystorów i układów scalonych, a to jest wąska grupka wysoko kwalifikowanych specjalistów. Ty przecież nie masz dostępu do informacji na temat wewnętrznej budowy konkretnego tranzystora, a nawet gdybyś rozwalił obudowę i "dokopał" się do krzemowej struktury, to i tak nic Ci to nie da. Dlatego nie przejmuj się technologia.

Dla nas, praktykujących elektroników, jest istotne, że budowa wewnętrzna tranzystora

znajdzie odbicie w jego modelu i parametrach. Już intuicyjnie można się domyślić, że tranzystory o dużych rozmiarach struktury generalnie będą mieć większe prądy i moce, ale też większe pojemności, a tym samym mniejsze częstotliwości maksymalne. Z kolei tranzystory w.cz. z założenia musza mieć małe pojemności. Jeśli nie da się po prostu zmniejszać wymiarów (np. w tranzystorach mocy w.cz.), to trzeba zastosować jakieś wymyślne sposoby, by zredukować wpływ szkodliwych czynników. Zdziwisz się, jeśli kiedyś będziesz miał okazję poznać takie sposoby. W tej chwili nie będziemy się wgłębiać w szczegóły - najważniejsze jest to, że potem ma to odbicie w poszczególnych parametrach tranzystora.

No tak, ale istnieją setki typów najzwyczajniejszych bipolarnych tranzystorów małej częstotliwości, małej mocy. Okazuje się, że ich parametry są zbliżone. Częstokroć różnice są minimalne, czasem żadne - różna jest tylko nazwa. Dlaczego wiec istnieją tysiące typów bardzo podobnych tranzystorów? Dlaczego ktośnie zrobi porządku w tym całym bałaganie i nie zadecyduje, że odtąd ma być produkowanych, powiedzmy dziesięć, niech nawet pięćdziesiąt, typów tranzystorów?

Rys. 1 Budowa wewnętrzna tranzystora



Pomysł doskonały, jednak na przeszkodzie stoją prozaiczne realia. Ktoś kiedyś opatentował sposób produkcji poszczególnych tranzystorów. Jeśli ktoś inny chciałby produkować tranzystor o tym oznaczeniu, musi wykupić licencję i zapłacić. Między innymi dlatego wiele firm, zamiast korzystać z doświadczeń innych, woli produkować własne typy, minimalnie różniące się parametrami od dostępnych na rynku. Jest też inne istotne uzasadnienie - nowsze opracowania są lepsze od starszych. Z kolei starsze typy są od lat znane i popularne...

Nie ma więc szans na to, by zdecydowanie ograniczyć liczbę dostępnych typów tranzystorów. Na rynku były i będą nadal liczne typy tranzystorów o zbliżonych parametrach, różniące się przede wszystkim oznaczeniem.

Na marginesie należałoby wspomnieć, że globalna produkcja niektórych typów, na przykład BC548 czy 2N2222 jest ogromna, natomiast innych - znikoma. W katalogu tego nie widać - wszystkie typy zajmują w zbiorczym katalogu po jednej linijce tekstu - zobacz **rysunek 2.** Poza tym, wiele typów opisanych w katalogu już dawno wycofano z produkcji. Nie ma żadnych szans na ich zdobycie, a dane są tylko dla porównania, żeby dobrać odpowiednik.

Rys. 2 Fragment katalogu

I tu pomału dochodzimy do sedna sprawy. Niektórzy nieświadomi elektronicy błędnie uważają, że w tranzystorze duże znaczenie mają: obudowa, zastosowana technologia produkcji i wynikająca stąd budowa wewnętrzna oraz oznaczenie. Niewiele to ma wspólnego z prawdą. Jak się słusznie domyślasz, tranzystory mogą mieć zupełnie inną budowę, ale jeśli parametry najważniejsze dla DANEGO ZASTOSOWANIA SĄ ZBLIŻONE, TO MOŻNA JE BEZ OBAW STOSOWAĆ WYMIENNIE. Nie ma tu nic z magii - wszystko znajduje odbicie w parametrach, podawanych w katalogach, i tak naprawdę tylko one mają znaczenie. Nie gra większej roli ani obudowa, ani oznaczenie, ani to, kto jest producentem.

Nie znaczy to jednak, że zawsze można zastosować pierwszy lepszy tranzystor. Trzeba trochę pomyśleć.

Można tu rozróżnić następujące przypadki:

- 1. Zupełnie nie wiadomo, co to za tranzystor; nie można rozszyfrować oznaczenia lub takiego oznaczenia nie ma (na przykład tranzystor eksplodował).
- 2. W katalogu daje się zidentyfikować tranzystor, ale nigdzie nie można go kupić.
- 3. Daje się zidentyfikować; jest w katalogu firmy wysyłkowej, ale bardzo drogi; taki zakup to kłopot oraz strata czasu i pieniędzy może uda się go zastąpić czymś, co jest pod ręką.

Rzeczywiście, często problem polega na tym, że oryginalny tranzystor uległ zupełnemu uszkodzeniu i nie wiadomo nawet, czy był to zwykły tranzystor bipolarny, darlington, czy MOSFET, i jaką miał polaryzację. Trzeba spróbować to ustalić rozrysowując układ "z natury" - zobacz rysunek 3. Konfiguracja współpracujących elementów, zwłaszcza w obwodzie bazy (bramki) pozwoli znaleźć odpowiedź. Oczywiście wymaga to pewnej wiedzy ogólnej; trudno podać szczegółowe recepty. Generalnie w układach z tranzystorami bipolarnymi w obwodzie bazy występują rezystory lub inne elementy ograniczające prąd. W przypadku MOSFETów takich rezystorów nie ma, a obwód sterujący ma niewielką rezystancję wewnętrzną.



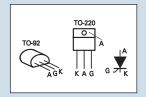
Rys. 3 Czasem trzeba rozrysować układ na podstawie płytki

Pewne utrudnienie stwarzają tranzystory w układzie Darlingtona. Obwody sterujące nimi są podobne jak obwody sterujące zwykłymi tranzystorami. Jedynie ich wydajność prądowa jest mniejsza ze względu na duże wzmocnienie. Z uwagi na istotne różnice, zwłaszcza szybkość i wzmocnienie, nie powinno się zastępować zwykłych tranzystorów,,darlingtonami (i na odwrót).

Zazwyczaj nie można zastąpić tak po prostu tranzystora bipolarnego MOSFET-em choć jest to możliwe, a czasem nawet celowe. Zwykle trzeba wtedy zmodyfikować obwody sterujące, a to już wymaga pewnej wiedzy. Zamiana w drugą stronę - MOSFET-a na tranzystor bipolarny nie ma sensu.

Nie można też oczywiście zastąpić tranzystora NPN tranzystorem PNP i na odwrót, bez istotnych zmian w układzie. To samo dotyczy MOSFET-ów z kanałem N i P.

Często można natomiast zastąpić wysokonapięciowego MOSFET-a N tranzystorem IGBT, ale to inna historia.



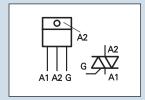
Rys. 4 Układ wyprowadzeń tyrystorów

Uwaga! Łatwo może zajść p o m y ł k a w identyfikacji, gdy uszkodzony element nie jest tranzystorem, tylko tyrystorem,

INCRES.	P.B.	fold	1.15	190V	Hier	407	190HA	TURC	BISCHAF	10086	100	800240	189A	ALE	FCD.	\$71042
BCB30	N.S	TOOL	1.15	180W	140x	W.	190esA	1380	625miNF	10094	4876	60/259	18mil.	ALE	PCD	87758
HCS00	N.S.	T002	1.19	1804	1800	497	180mile	1960	625m-W1	10086	4875	80/280	18ms	ALE	FCD	87758
BCS34	+ 5	1062	TIE	WW.	1000	60	980esA	7180	623mWF	30088	45%	60cm	12048	AMM	FCD	80.00
BCS36	N.B.	1042	1.75	MIV	100	ev.	Awden	nac	BINOME.	BOM:	671	200 m	18/u.k.	AMM	FOD	BHOS
ocup.	NS	TOse		dev		iv	in.	YESC	435mWF		165	60(300	190mA	AME	100	всоит
			1.10		66A					1.0						
BICK07-8	N S	TOW	1.15	687	08Y	W.	14	1580	\$25milet	+	197	40/100	180mA	AVM	PCD	BC081
BC807-16	N.S.	TONG	1.15	68V	1997	44	1A	THEC	875mild*		197	85/160	190mA	AMH	POP	BC381
BCS37-16.	N S	T002	1.75	WV	987	87	IA.	3580	Elbe-MP		197	100 mg	TROWN	AMR	FCD	8C181
BICSON .	N a	1015	136	HIN	989	46	16	TMC:	\$25+AMF	+	198	80300	190mA	4594	FCD	1
DCD06-6	NS	1000	1.85	98V	188V	W	14.	1000	125mHF		19.5	40/100	(B)viA	AMH	PCD	
BICS38-18	N.S.	T092	4.95	BIV	may.	60/	14.	THAC	EFSe-OVF		19.5	65188	180mA	AMM	FCD	1.
ECS38-14	N.E.	1010	1.70	MIN	RW	W	1A	TIBC	K/Se-MF		188	100mm	180esA	AMH	FDD	1.
RCS18.25	8.1	1012	439	INV	889	BV	16.	THE	\$25e-MF		198	100000	180mA	AMM	FCD	1.
BC348	70.0	TONO	126	987	WW	W	180wA	Tipo	Stor-INF	20084	45	1/5/00	Dr.A	AMG	F14	BC306
2000	100	100	-	X				118		-	7.0	1100	40.00	350	177	-
BICSHIA	N.S	1092	1.10	96V	657	.64	Horse	THE	500e-99P	HISOBA	-	110mm	2mA	ALH	779	BC360
BICS4HD	19.5	TONE	1,10	MA	881	64	180mah	YESC	100e-60F	110084	10.1	200mm	2mil	ALH	111	BC380
BCSHIAP	N.S.	MIT.	5.85	sev	SW.	80	TEIreA	MAC	680e-69F	19080	100	118/en	Trib.	BLH	377.8	11
BC5488P	14.5	311	125	HILV	989	84	180wift	THAC	MON-INF	19088	1.5	300mm	2006	AUA	371	15.35
RCM8V1	N. S.	11312	524	eev	WW.	w	180wA .	1980	MON-INF	19081	95	79/198	24/A	ALH	56	BC3GI
BC547	0.5	T092	124	160V	480	W.	180+A	7600	MON-MF	20081	475	110mm	266	AMG	PH :	6C108
BCN47A	N. S.	1002	124	MOV	480	857	130+st	1100	NOOH-MOR	200bit	MPS.	110mm	2mh	-AMO	PHI -	BCTSI
RC947B	N 8	1012	124	889	1890	800	180mA	Nac	5800 INF	20080	16'5	200/07	30rA	AMG	Pile	BE unt
BENEZE	74.6	TONG	2.24	Sev	460	44	180404	1040	500mm#	3008H	485	420000	Drok	AMG	F14	80,000
BICHTMP	74.5	2011	120	909	45V	841	190=94	1680	000mm#	30084	475	Hibrary	Strik	ALG	278	10000
DCS470F	4.5	XII	125	NIV	400	-	(about	THE	ARDH-INP	20081	in	200mm	Test.	Aig	271	i.
BC847VI	8.5	TORR	124	90V	800	44	I Blood.	THAC	160m-lpp	recto	189	25/200	ZesA.	ALD	500	econ
BEN48	14.1	1092	124	30V	300	60	130mA	nac	Spowassi	20084	UP's	318000	200	AME	P14	BCMI
	9.5	TORC	124	300	300	· Sec	180mA	YSSC	Spowing	200Mi	475	Hillings	2mA	AMG	PH .	BC541
BESHIN						SN.	THOMA		500+mil	30081	45		Tesk	AME	P11	
BICS480	9.1	1005	134	160	304	-	Improve	719C		Second	45	308/41	1994	- Annual	""	BC941
BC5485	9.8	1065	174	30V	300	84	180 mal.	Hac	Ministr	20084	10%	429mm	2mile	AMO	711	BONC
BCMMP	14.18	811	428	307	30V	407	120md.	1980	100+HIF	10091	95	THESE	20th	ALG	277.8	100
ECMINE.	79.8	30.0	1,219	3607	30/	-	180104	1980	SECURITIES	10081	475	308mm	SWA:	ALG	258	14
BCS48CP	N 6	2011	1,22	26V	300	SN:	180miA	15aC	500m MIT	2008H	475	428mm	link	ALG	258	1400000
BC349.	9.5	1095	1,74	989	39Y	44	190-A	1580	500min#	2009H	475	Himo	2mA	AMG	PHI.	\$5549
BCD45A	N.S.	1002	129	30V	39V	w	TEN-A	water	900+40F	bross	JP5	Hillero	2mb	ALC	P84	ecur
REMARK	N B	1010	124	307	307	400	180min	19aC	MOOW HISE	20050	1875	305/60	296	AMG	PM	BCNO
DC549C	N 5	TOTAL	134	SEV	300	56	Hatomak	HAC	Secretal	20084	405	4/8mm	inch	AMG	Pen	BC540
ECS49AP	9.5	THE	125	36V	30V	100	180esA	THE	160+66	10084	485	Hilliam	Zesk	ALN	273	
ECHIEF.	N.S.	All	123	36V	307	W	180mA	1980	100+m²	20084	475	308mm	3mA	AUN.	273	
1000	1			38	2.7		100					100	2.	-	278	
BCHIO	NE	811	128	36V	307	ANY.	180mst.	THAC	500+15F	20081	16.0	Approve	Sent.	ALT		Sec. of
BERNE	N 8	TORZ	1.10	MIV	497	167	180m/A	1100	SEON INF	3008H		348000	2WW	AMG	PHI	BCHI
DCS680	N S	TOSE	1,74	58V	467	SV	180miA	158C	SONYME	19061	2.0	200mn	Ind	ALM	PHI	BC199
BCSSSC	N S	1005	L74	587	45Y	54	180mA	158C	500mm#	19081	-	428mm	2hA	ALM	799	BCIR
ECSSIAP	N.S	301	425	96V	450	*	180mal	1600	100e-00F	30084	45	Hiller	Serie.	ALIN	514	1
PICHARP!	N.S.	811	un	sev	4W	w	130wA	TOOC	100mill#	200bs	95	200ren	Trof.	Ain	258	
DCS(8C)*	NE	311	133	1667	45V	ev.	190m/A	1500	Stoward	20084	475	420mm	2mA	AIN-	273	14
BC851	2.5	1000	134	99V	450		180mA	7000	160w mit		1	168mm	Ind	ALC	Pes	80361
BCSS4	2.5	T092	124	BOV	765V	56	180mA	MAC	560w-69F	18084	ara.	75/450	SwiA.	840	100	BC381
BCM8A	2.5	TORE	124	MAY	8MV	NV.	130mil.	WAC	180m-898	18080	MPG.	Titlemo	Swit	ALO	100	BC100
and the same of th		111116	100			-	100000	-				1440000			11.00	1

triakiem lub trzykońcówkowym stabilizatorem. Pomyłek takich można w prosty sposób uniknąć, pamiętając, że tyrystory i triaki mocy mają odmienny, niejako odwrotny układ

wyprowadzeń - elektroda sterująca - bramka umieszczona jest inaczej niż baza czy b r a m k a w tranzystorach - zobacz rysunki 4 i 5.



Rys. 5 Układ wyprowadzeń triaków

Parametry

Od dawna wiesz, że podstawowe parametry tranzystora bipolarnego to maksymalne napięcie kolektor-emiter, prąd kolektora, moc strat i wzmocnienie prądowe. Odpowiednik nie powinien być gorszy. W dobrze zaprojektowanym układzie wzmocnienie tranzystora nie powinno mieć istotnego wpływu na funkcjonowanie i parametry. Oczywiście w ogromnej większości przypadków zastosowanie zamiennika o większym współczynniku wzmocnienia prądowego nie zaszkodzi. Jedynie w rzadkich przypadkach, gdy uszkodzony tranzystor był z grupy selekcjonowanej, wzmocnienie może być istotne.

A może wpadłeś na genialny pomysł, by na wszelki wypadek w miejsce nieznanego, uszkodzonego tranzystora dać coś znacznie lepszego - konkretnie wysokonapięciowy tranzystor lub nawet darlingtona dużej mocy.

Czy zawsze można dać większy tranzystor (mocy) zamiast mniejszego? Na pierwszy rzut oka jest to logiczne. Ale tylko na pierwszy rzut oka. Byłby to bardzo ryzykowny sposób i nie polecam Ci go. Generalnie zamiennik może mieć moc większą, ale bez przesady. Tranzystory mocy zazwyczaj mają nieduże wzmocnienie i mniejszą szybkość. Darlington ma podwojone napięcie przewodzenia U_{BE}, jest bardzo powolny i na pewno nie nadaje się do szybkich układów impulsowych.

Duże obawy budzi u początkujących dopuszczalny zakres temperatur pracy. W praktyce okazuje się, że nie jest to wcale wielki problem - tranzystory (i układy scalone) śmiało mogą pracować w temperaturach niższych niż podaje katalog. W razie potrzeby tanie tranzystory do sprzętu powszechnego użytku mogą też pracować w bardziej wymagających zastosowaniach, jak układy samochodowe, alarmy, automatyka przemysłowa, a tym bardziej zabawki czy zasilacze. Pogorszeniu może ulec tylko niezawodność.

Jak uważasz, czy tranzystor bardzo wysokiej częstotliwości można zastosować w obwodzie m.cz.? Może się zdziwisz - zazwyczaj TAK, choć nie ma to specjalnego sensu. A czy tranzystor impulsowy można zastosować w obwodzie m.cz? Jak najbardziej! Tak-

że tak zwane tranzystory m.cz. mogą być stosowane w wielu obwodach w.cz. bo ich częstotliwość graniczna sięga 200...500MHz. Większe będą jednak szumy. Ostrożnie natomiast ze stosowaniem tranzystorów m.cz. w jakichkolwiek bardzo szybkich układach impulsowych.

W przypadku MOSFET-ów takich podziałów nie ma. Jeśli zamiennik ma odpowiednie napięcie pracy, prąd i rezystancję w stanie otwarcia, można go śmiało zastosować.

Tyle o zamiennikach dla nieznanych typów tranzystorów. Jeśli natomiast typ tranzystora, który uległ uszkodzeniu jest znany, ale nie można go kupić, trzeba

- przeanalizować, jakie parametry, mają kluczowe znaczenie w tym konkretnym zastosowaniu

- zwrócić uwagę na warunki pracy.

Bardzo ważne jest też określenie, które jeszcze parametry, oprócz napięcia, prądu i mocy, są istotne w danym zastosowaniu. Dla tranzystora w.cz. duże znaczenie będą mieć pojemności wewnętrzne oraz częstotliwość graniczna. Zarówno w układach w.cz. jak i w przedwzmacniaczach audio istotny jest poziom szumów tranzystora. W wielu układach najważniejsza będzie moc strat i związana z tym rezystancja termiczna.

Przykładowo w sieciowych zasilaczach impulsowych czy przetwornicach kluczowe parametry to napięcie U_{CE0} i maksymalny prąd Ic, a jeszcze bardziej czasy przełączania.

Tu rzeczywiście trzeba być ostrożnym, by nie wstawić tranzystora słabszego, który albo szybko ulegnie uszkodzeniu, albo nie zapewni odpowiednich parametrów. Wprawdzie można śmiało zastosować inny typ o tym samym lub większym napięciu i prądzie, jednak zdarza się, że po wymianie nowy tranzystor wprawdzie pracuje, ale albo się nadmiernie grzeje, albo coś innego jest nie w porządku. Właśnie w przypadku wysokonapięciowych tranzystorów impulsowych czasem dają o sobie znać specyficzne właściwości, o których nie wspomina uproszczony katalog - choćby właśnie szybkość przełączania. Wtedy nie pozostaje nic innego, jak próbo-

wać znaleźć bliższy odpowiednik, bądź dać nowszy, lepszy element.

Zawsze warto zapytać sprze-

dawcę - wielu z nich orientuje się, do czego nadają się poszczególne tranzystory, a do czego nie. Można też zapytać, jakie podobne typy są najczęściej kupowane - już to może być użyteczną wskazówką.

Generalnie trzeba być ostrożnym w przypadkach, gdy tranzystor jest, powiedzmy "wyżyłowany", czyli pracuje w trudnych warunkach, w pobliżu swych parametrów granicznych, na przykład przy wysokich napięciach, przy wysokiej częstotliwości, dużej mocy lub w jakichś szybkich układach impulsowych.

Ale gdy tranzystor pracuje w warunkach umiarkowanych, wtedy naprawdę rzadko trzeba szukać ścisłego odpowiednika. Można zastosować w miarę podobny, a łatwiej dostępny. Dotyczy to na przykład sprzętu dalekowschodniego, zawierającego tranzystory, nieosiągalne u nas w detalu. Przykładowo nie trzeba szukać ścisłego zamiennika japońskiego, tajwańskiego czy koreańskiego tranzystora małej mocy w torze audio popularnego radiomagnetofonu kupionego na bazarze. Trzeba jedynie stwierdzić, czy to rzeczywiście tranzystor bipolarny oraz zidentyfikować polaryzację (PNP, NPN) i układ wyprowadzeń. W przypadku tranzystora NPN spokojnie można wstawić jakikolwiek BC548, a w przypadku PNP - BC558. Na wszelki wypadek lepiej byłoby dać tranzystor niskoodpowiednio na BC549C i BC559B. Zastosowanie takich niskoszumnych tranzystorów (z końcówką oznaczenia 9) na pewno nie zaszkodzi, a w przypadku grupy B wzmocnienie będzie na pewno wystarczająco duże. Oczywiście

można zastosować inne popularne tranzystory, NPN:

BC107...109, 2N2222, BC547, BC237...9, itd. oraz PNP: BC157..159, BC307...309 BC557...559, itd.

Można jeszcze dodać, że wschodnie tranzystory serii 2SC, 2SA, 2SK... są oznaczane w sposób uproszczony, to znaczy pomija się T C2562 Y 3c

Rys. 6 Tranzystor 2SC2562

znaki 2S. Oznaczenie C2562 informuje, że jest to tranzystor 2SC2562 - zobacz **rysunek 6**.

Mając oznaczenie trzeba poszukać w katalogu - wystarczy zbiorczy katalog zawierający skrócone dane kilkudziesięciu tysięcy (tak!) typów tranzystorów - rysunek 7. Katalogi takie dostępne są w Księgarni Wysyłkowej AVT.



Rys. 7 Dane katalogowe tranzystora 2SC2562

Generalnie, jeśli w grę wchodzi stary tranzystor, opracowany ponad dwadzieścia lat temu, to należy się spodziewać, że podobny, znacznie nowszy typ będzie lepszy pod wieloma względami, w tym bardziej niezawodny.

Z identyfikacją bywają jednak duże kłopoty. Trzeba wiedzieć, że w wielu przypadkach duży wytwórca wyrobów finalnych (OEM) zamawia u producenta półprzewodników ogromną partię tranzystorów (lub innych elementów) do konkretnego urządzenia. Choć struktury półprzewodnika są identyczne jak w typowych elementach przeznaczonych na rynek, jednak oznaczenie może być inne, niezgodne z przyjętymi międzynarodowymi systemami oznaczeń.

To właśnie dlatego próba znalezienia w katalogu elementu o numerze odczytanym z uszkodzonego elementu często kończy się fiaskiem. Literki czy cyferki nie niosą w tym wypadku żadnej treści, a nawet mogą wprowadzać w błąd - jest to jakiś, można powiedzieć, "prywatny typ" tranzystora. Odpowiednika trzeba szukać rozrysowując układ i analizując warunki pracy.

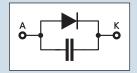
Diody

Z diodami sprawa jest jeszcze prostsza. Podstawowe parametry diody to:

- maksymalne napięcie wsteczne,
- maksymalny prąd przewodzenia.

Dodatkowo, w wielu zastosowania ważna jest szybkość. W uproszczeniu można powiedzieć, że każda dioda oprócz "diody właściwej" ma pasożytniczą pojemność - zobacz **rysunek**

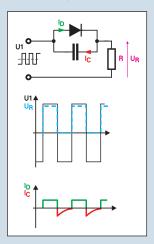
8. Gdy dioda przewodzi, ta szkodliwa pojemność jest praktycznie rozładowana (bo napięcie przewodzenia nie przekracza 1V). Gdy jednak napięcie zmienia



Rys. 8 Szkodliwa pojemność w diodzie

biegunowość i dioda jest polaryzowana wstecznie, wspomniana pojemność musi się naładować. Przez jakiś czas przez diodę płynie duży prąd wsteczny - nie przez "diodę właściwą", tylko przez tę pojemność. Ilustruje to **rysunek 9**.

Przy małych czestotliwościach (np. 50Hz) nie ma to większego znaczenia. bo ładunek zgromadzony w pojemności jest niewielki. Jednak przy częstotliwościach rzędu dziesiątek kiloherców może się okazać, że dioda nie



Rys. 9 Wpływ pojemności pasożytniczej na pracę prostownika

spełnia swoich funkcji, bo prąd wsteczny związany z tą pojemnością jest zbliżony do prądu przewodzenia. Aby dioda mogła pracować przy dużych częstotliwościach, wspomniana pojemność musi być odpowiednio

Właśnie dlatego diody podzieli się na trzy zasadnicze grupy:

- "zwykłe" diody prostownicze (duża szkodliwa pojemność, szeroki zakres prądów i napięć), w katalogach określane jako *standard diodes*, *general purpose diodes*.
- szybkie diody impulsowe (mała pojemność, wysokie napięcie pracy), określane (ultra) fast recovery.
- ♦ diody Schottky'ego (bardzo mała pojemność, niskie napięcie pracy).

W typowych diodach napięcie przewodzenia wynosi około 0,7...1V, w diodach Schottky'ego około 0,3...0,5V. Oznacza to mniejsze straty mocy przy prostowaniu. Nie bez powodu diody Schottky'ego (czytaj: szotkiego) są czasem nazywane "diodami szybkiego" - wspomniana pojemność jest bardzo mała. Ale uwaga - diody Schottky'ego nie mogą pracować przy wysokich napięciach. Maksymalne napięcia wsteczne tych pożytecznych diod leżą w zakresie 15...90V. Przy wyższych napięciach koniecznie trzeba stosować szybkie diody impulsowe.

W katalogach diod zamiast wartości tej szkodliwej pojemności podaje się częściej czas ustalania charakterystyki wstecznej (trr), zazwyczaj w nanosekundach. Dla szybkich diod wynosi on, zależnie od prądu (wielkości struktury), od kilkunastu do kilkuset nanosekund. Jeśli w ofercie handlowej obok napięcia i prądu podano też czas, chodzi o szybką diodę impulsową (fast recovery). Jeśli podano tylko napięcie i prąd - najprawdopodobniej jest to "zwykła", powolna dioda prostownicza.

Z podanych informacji wynikają proste wnioski:

W obwodach prostowników pracujących PRZY CZĘSTOTLIWOŚCIACH SIECI (50Hz) można stosować zamiennie DOWOLNE INNE DIODY (impulsowe i Schottky'ego), byle miały napięcie pracy i prąd nie mniejsze niż oryginały.

W szczególności zamiast zwykłych diod prostowniczych zawsze można stosować diody Schottky'ego o odpowiednim prądzie i napięciu - spadek napięcia i straty mocy będą około dwukrotnie mniejsze, niż w przypadku zwykłych diod prostowniczych.

Rzadko natomiast ma sens zamiana w drugą stronę - diody Schottky'ego na "zwykłą". W grę wchodzą tu dwa czynniki. Jeden to napięcie przewodzenia i związane z tym straty mocy. Drugi to szybkość.

Szukając zamiennika dla szybkiej diody impulsowej na przykład z zasilacza impulsowego czy obwodu odchylania poziomego telewizora), oprócz napięcia i prądu trzeba koniecznie uwzględnić szybkość. Zamiennik nie może być wolniejszy, dlatego nie zawsze można i warto stosować "na wszelki wypa-

dek" diod, o znacznie większym prądzie. Generalnie, czym większy prąd maksymalny, tym większa pojemność.

Tyle o diodach.

Tyrystory i triaki

Ogromna większość tyrystorów i triaków pracuje w obwodach sieci 50Hz. W takich zastosowaniach można wykorzystać jakiekolwiek zamienniki, byleby dopuszczalne prąd i napięcie nie były mniejsze niż w oryginale.

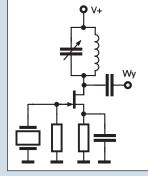
Jedynie w przypadku tyrystorów pracujących w szybkich układach impulsowych trzeba szukać równie szybkich zamienników. Nie ma natomiast szybkich triaków - wszystkie przeznaczone są do pracy przy częstotliwości sieci.

Wnioski

Z podanych informacji mogłoby wynikać, że znalezienie zamiennika nigdy nie będzie problemem. W zasadzie jest to prawda, ale należałoby dodać - *prawie nigdy*.

Jest mianowicie pewna dziedzina, w której problem zamienników występuje z większym natężeniem. Układ nie tylko nie chce działać z jakimkolwiek zamiennikiem, ale nawet z niektórymi egzemplarzami podanego typu! Nietrudno się domyślić, że chodzi o układy wysokiej częstotliwości. Wielu radioamatorów na własnej skórze doświadczyło podobnych niepowodzeń. Typowym przykładem jest dość popularny generator o schemacie pokazanym na rysunku 10. Nie wtajemniczeni uważają nawet, że nigdy nie będzie on działał, bo przecież rezonator kwarcowy sam z siebie nie jest źródłem drgań, a wygląda na to, że tranzystor jest tu tylko wzmacniaczem sygnałów (samoistnie) powstających na kwarcu. Układ jednak może działać, a to ze względu na obecność wewnętrznych pojemności dren-bramka i bramka-źródło (kolektorbaza i baza-emiter). Układ może działać i bę-

dzie działać, ale tylko z tranzystorami o odpowiednich parametrach. Wymiana tranzystora na inny, nawet podobny, uniemożliwi prace. Taka sytuacja zdarza się jednak rzad-



Rys. 10 Generator tranzystorowy

W większości przypadków odpowiednik można dobrać w prosty sposób, wykorzystując podane wcześniej wskazówki. Podsumowaniem tego odcinka niech będzie hasło:

NIE BÓJMY SIĘ ZAMIENNIKÓW!

Piotr Górecki