

Zamienniki

Część 20



TRANZYSTORY dla 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 ściśle odpowiednik? Czy można dać cokolwiek wprost z półki? Jakiego parametry są najważniejsze? Którego 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 jakimkolwiek 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 ściśle zamiennikiem podanym w katalogu. Przeświadczenie takie jest powszechne, a przy tym bardzo często błędne. **W większości przypadków naprawę nie trzeba szukać ściśle odpowiednika.**

Tranzystory

Nie znaczy to jednak, że zawsze można zastosować jakikolwiek dowolny tranzystor w miejsce innego. Musisz zrozumieć podsta-

wowe zależności. Podejźmy 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 obszernie 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!

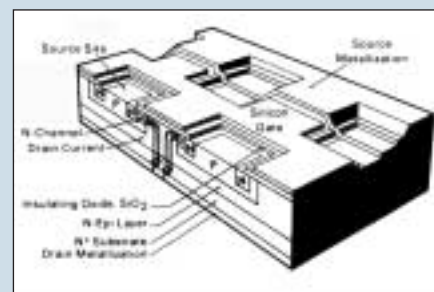
Powiem Ci szczerze, że mnie zawsze mierzyły te dziesiątki stron, zawierające opisy budowy tranzystorów, przekroje złącz, warstw metalizacji, oraz tasiemcowe opisy procesów technologicznych (przykład na **rysunku 1**). Elektronikowi, nawet konstruktorowi, potrzebne jest co najwyżej 10% podawanej tam wiedzy, 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 technologią.

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.c.z. z założenia muszą mieć małe pojemności. Jeśli nie da się po prostu zmniejszać wymiarów (np. w tranzystorach mocy w.c.z.), 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 najwzyczajniejszych bipolarnych tranzystorów małej częstotliwości, małej mocy. Okazuje się, że ich parametry są zbliżone. Częstokroć różnice są minimalne, czasem żadne - różna jest tylko nazwa. Dlaczego więc istnieją tysiące typów bardzo podobnych tranzystorów? Dlaczego ktoś nie 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

Model	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA	ALC	FCD	8P402
BC107	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC108	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC109	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC177	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC178	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC179	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC180	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC181	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC182	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC183	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC184	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC185	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC186	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC187	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC188	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC189	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC190	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC191	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC192	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC193	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC194	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC195	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC196	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC197	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC198	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC199	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402
BC200	P	S	TO92	L15	180V	180V	4V	180mA	150C	625mW	10000	470	60040	18mA <td>ALC</td> <td>FCD</td> <td>8P402</td>	ALC	FCD	8P402

I tu pomalutka 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 zupełnie 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 MOSFET-ów takich rezystorów nie ma, a obwód sterujący ma niewielką rezystancję wewnętrzną.



Rys. 3 Czasem trzeba rozrysować układ na podstawie płytki

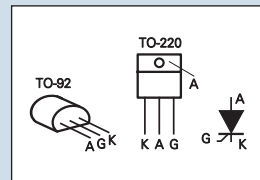
Pewne utrudnienie stwarzają tranzystory w układzie Darlingtona. Obwody sterujące nimi są podobne jak obwody sterujące zwykłymi tranzystorami. Jedynie ich wydajność prądowa jest mniejsza ze względu na duże wzmocnienie. Z uwagi na istotne różnice, zwłaszcza szybkość i wzmocnienie, nie powinno się zastępować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

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



Rys. 4 Układ wyprowadzeń tyrystorów

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.

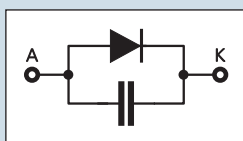
To właśnie dlatego próba znalezienia w katalogu elementu o numerze odczytanym z uszkodzonego elementu często kończy się fiaskiem. Literki czy cyferki nie noszą w tym wypadku żadnej treści, a nawet mogą wprowadzać w błąd - jest to jakiś, można powiedzieć, „prywatny typ” tranzystora. Odpowiednika trzeba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

Diody

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

- maksymalne napięcie wsteczne,
- maksymalny prąd przewodzenia.

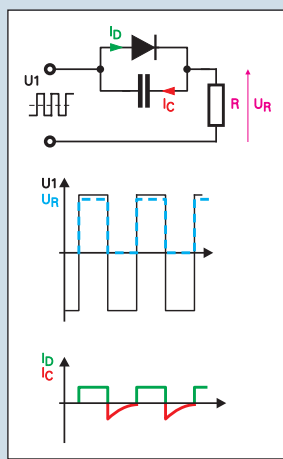
Dodatkowo, w wielu zastosowaniach ważna jest szybkość. W uproszczeniu można powiedzieć, że każda dioda oprócz „diody właściwej” ma pasożytniczą pojemność - zobacz **rysunek 8**. Gdy dioda



Rys. 8 Szkodliwa pojemność w diodzie

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

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 konieczne trzeba stosować szybkie diody impulsowe.

W katalogach diod zamiast wartości tej szkodliwej pojemności podaje się częściej czas ustalania charakterystyki wstecznej (t_r), 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 wchodzi 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 odchylenia 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

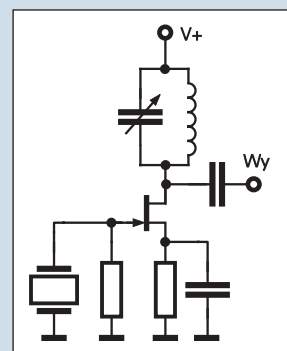
Ogromna większość tyrystorów i triaków pracuje w obwodach sieci 50Hz. W takich zastosowaniach można wykorzystać jakiegokolwiek zamienniki, byleby dopuszczalne prąd i napięcie nie były mniejsze niż w oryginale.

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 (kolektor-baza i baza-emiter). Układ może działać i będzie działał, ale tylko



Rys. 10 Generator tranzystorowy

z tranzystorami o odpowiednich parametrach. Wymiana tranzystora na inny, nawet podobny, uniemożliwi pracę. Taką sytuacją zdarza się jednak rzadko.

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