



## ELEMENTY RADIOELEKTRONIKI

### Tranzystory - triody krystaliczne

We współczesnej radioelektronice coraz większą rolę odgrywają stosunkowo niedawno wynalezione triody krystaliczne, które w różnych układach mogą spełniać funkcje próżniowych lamp elektronowych.

Triodę krystaliczną możemy schematycznie przedstawić jako połączenie dwóch diod germanowych, które mają jeden wspólny obszar typu N (rys. 1). W ten sposób otrzymaliśmy przyrząd, w którym mamy dwie warstwy półprzewodnika typu P przedzielone warstwą typu N. Istnieją również tranzystory o odwrotnym układzie: N-P-N.

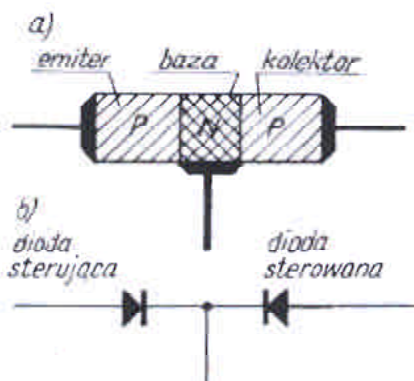
Środkową płytkę półprzewodnikową nazywano „bazą”. Spełnia ona rolę regulatora przepływających nośników prądu, podobnie jak siatka sterująca w lampie trójelektrodowej. Jedna z płytek skrajnych jest przeznaczona do emitowania (wysyłania) nośników prądu i nosi nazwę „emitera”. Jego rolę możemy porównać do roli katody w lampie elektronowej. Druga płytka nosi nazwę „kolektora” ze względu na to, że służy do „zbierania” nośników prądu. Rola kolektora możemy porównać z rolą, jaką w lampie elektronowej spełnia anoda.

Symbole tranzystorów stosowane dla ich oznaczenia na schemacie zostały uwidocznione na rys. 2. Tranzystory typu P-N-P w swoim symbolu mają strzałkę oznaczającą emiter skierowaną ku bazie (rys. 2a), która jest pokazana w postaci płytki, tranzystory zaś typu N-P-N mają grot strzałki skierowany w przeciwnym kierunku, co wskazuje na odmienną polaryzację tego typu tranzystorów (rys. 2b).

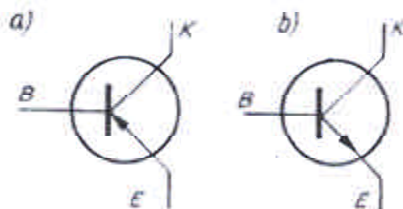
Trioda krystaliczna, podobnie jak i trioda próżniowa, ma trzy elektrody, które tworzą dwa złącza. Każde złącze charakteryzuje się określoną opornością. Złącze baza — emi-

ter cechuje małą oporność, w porównaniu ze złączem baza — kolektor.

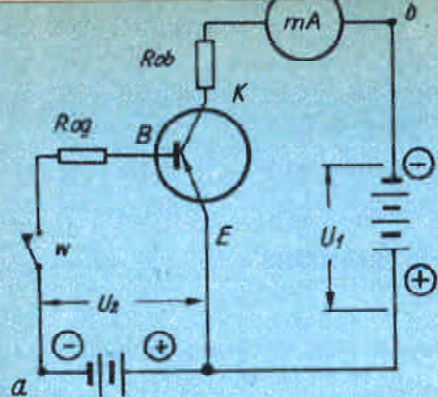
Układ roboczy tranzystora przedstawiony został na rys. 3. Jak wynika ze schematu, w obwód emiter — kolektor (obwód sterowany) włączono źródło prądu stałego o napięciu  $U_{cc}$ , które dostarcza tzw. napięcia



Rys. 1. Schemat konstrukcji triody krystalicznej a) układ elektrod tranzystora, b) zasada pracy tranzystora



Rys. 2. Symbole tranzystorów: a) symbol tranzystora typu P-N-P, b) symbol tranzystora typu N-P-N

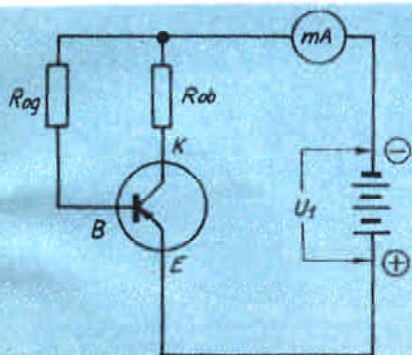


Rys. 3. Schemat układu tranzystora:  $R_{ob} = 100 \Omega$ ,  $R_{og} = 30 \text{ k}\Omega$ ,  $U_1 = 4,5 \text{ V}$ ,  $U_2 = 3 \text{ V}$ , miernik o czułości 25 mA

zaporowego. Do wymienionego obwodu włączono również opornik obciążenia ( $R_{ob}$ ). Z kolei do obwodu sterującego emiter — baza dołączono źródło prądu o napięciu  $U_2$  w kierunku przewodzenia.

Montując układ zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 3 (w którym miliamperomierz ma zakres 25 mA) stwierdzimy, że z chwilą przzerwania obwodu sterującego emiter — baza, przez opornik obciążenia znajdujący się w obwodzie sterowanym, popłynie minimalny prąd ( $I_K$ ), który dla sprawnego tranzystora nie przekracza 0,1 do 0,5 mA. Jeżeli następnie zamkniemy wylącznik w obwodzie bazy, po-

Rys. 4. Schemat uproszczonego układu wzmacniacza tranzystorowego z jednym źródłem zasilania



wodując doprowadzenie do niej (przez opornik  $R_{og}$ ) ujemnego potencjału, to zmieni się znacznie oporność złącza baza — kolektor, co spowoduje wzrost natężenia prądu kolektorowego ( $I_K$ ) w granicach od 5 do 10 mA. W tym układzie tranzystor pracuje jako wzmacniacz prądowy.

Zauważmy, że łącząc punkty „a” i „b” możemy zrezygnować z baterii  $U_2$  (w obwodzie emiter — baza), a praca tranzystora nie ulegnie zmianie. Uzyskany tak zmieniony schemat przedstawia typowy człon wzmacniacza prądowego w układzie o wspólnym emiterze (rys. 4).

Warunki pracy wzmacniacza tranzystorowego możemy badać za pomocą układu przedstawionego na rys. 5. Obwody tranzystora są zasilane z baterii o napięciu  $U_B$ , a pomiar napięcia  $U_K$  na kolektorze tranzystora możemy wykonać za pomocą woltomierza.

W obwodzie kolektora włączono opornik obciążenia o zmiennej wartości, a w obwodzie bazy mamy oporniki  $R_1$  i  $R_2$ , które tworzą dzielnik napięć.

Właściwa praca członu wzmacniacza tranzystorowego zależy od odpowiedniego napięcia stałego  $U_K$  doprowadzonego do kolektora. Za pomocą zmiennego opornika  $R_3$  możemy zmieniać w pewnych granicach wartość napięcia  $U_K$ . W rezultacie badania układu członu wzmacniacza możemy ustalić, że warunkiem uzyskania maksymalnego wzmocnienia sygnału doprowadzonego na wejście wzmacniacza jest zachowanie odpowiedniego stosunku napięcia zasilającego  $U_B$  do napięcia panującego na kolektorze  $U_K$  (które wskazuje woltomierz). Napięcie kolektora  $U$  powinno wynosić w przybliżeniu połowę wartości napięcia baterii  $U_B$ .

Porównując układ wzmacniacza tranzystorowego przedstawionego na schemacie (rys. 4) ze schematem pokazanym na rys. 5 stwierdzimy, że w obwodzie tranzystora mamy oporniki  $R_1$  i  $R_2$  tworzące dzielnik napięć, który służy do utrzymania na elektrodach tranzystora niezbędnych napięć zapewniających odpowiednie warunki pracy. Oporniki te ( $R_1$  i  $R_2$ ) przyczyniają się do stabilizacji zasilania obwodów umożli-

### PARAMETRY NIEKTÓRYCH TRIOD KRZYSTALICZNYCH

Typ tranzyst.	$U_{KEmax}$	$I_{Kmax}$	$P_{max}$	$\beta$	$f_{\beta}$	Zastosowanie
	V	mA	mW	—	MHz	
TG 2	15	50	50	20—80	$\gg 0,6$	Wzmacniacze małej częstotliwości
TG 3A	15	50	50	75—130	$\gg 0,1$	
TG 5	30	50	50	25—80	$\gg 0,8$	
TG 8	60	50	50	20—60	$\gg 0,8$	
TG 50	30	300	175	30—120	$\gg 0,3$	Wzmacniacze małej częstotliwości
TG 51	60	300	175	15—120	$\gg 0,3$	
TG 52	30	300	175	15—120	$\gg 0,3$	
TG 70	30	3000	5000*	16—120	$\gg 0,1$	Wzmacniacze małej częstotliwości, przetwornice
TG 71	20	3000	5000*	16—120	$\gg 0,1$	
TG 72	60	3000	5000*	16—120	$\gg 0,1$	
TG 10	15	10	50	20—130	$\gg 3$	Wzmacniacze pośredniej częstotliwości, mieszacze, generatory
TG 20	15	10	50	20—225	$\gg 7$	
TG 37	15	10	50	$\gg 20$	$\gg 40$	
TG 38	15	10	50	$\gg 20$	$\gg 20$	
TG 40	15	10	50	$\gg 20$	$\gg 40$	

\* Do tranzystorów mocy stosuje się radiator z Al o wymiarach 150 × 150 × 3 mm

wiając wymiennosc tranzystorów na inne egzemplarze tego samego typu. W uproszczonym układzie wzmacniacza (rys. 4) opornik  $R_{0g}$  należało dobrać eksperymentalnie dla danego tranzystora.

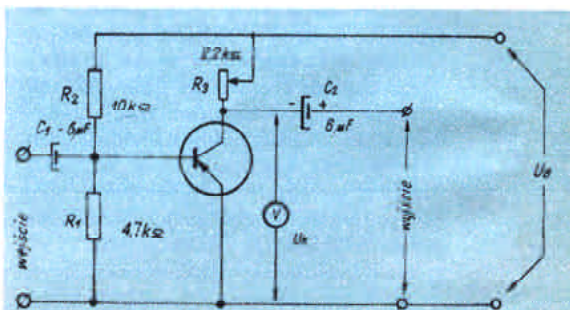
Do głównych zalet triod krystalicznych należą w pierwszym rzędzie ich trwałość oraz małe wymiary. Następną cenną zaletą tranzystorów stanowi duża sprawność (małe zużycie energii niezbędnej do uruchomienia układu) oraz niskie napięcie źródeł zasilania.

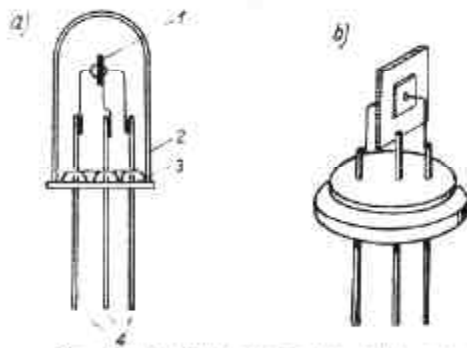
Wspomnieć jeszcze wypada o cechach charakteryzujących tranzystory „P-N-P” i „N-P-N”. Wykazują one, z punktu widzenia pracy w układach podobne własności, lecz wymagają odmiennego polaryzacji elektrod. Najczęściej spotykane tranzystory, typu „P-N-P” wymagają, aby kolektor był polaryzowany ujemnie względem bazy, a emiter dodatnio. Natomiast w tranzystorach typu „N-P-N” konieczne jest zachowanie polaryzacji przeciwnej, tj. kolektor uzyskuje potencjał dodatni względem bazy,

a emiter ujemny. Wymienione cechy tranzystorów, jak przekonamy się później, pozwalają na stosowanie korzystnych rozwiązań w układach praktycznych.

Zanim przystąpimy do prac związanych z obwodami tranzystorowymi, powinniśmy poznać oznakowania różnych typów tranzystorów i uzyskać orientację w rozmieszczeniu wyprowadzeń (końcówek) do poszczegól-

Rys. 5. Schemat układu do badania warunków pracy wzmacniacza tranzystorowego





Fys. 6. Konstrukcja tranzystora małej mocy (50 mW): a) przekrój tranzystora: 1 — elektrody właściwego tranzystora, 2 — metalowy kubek obudowy, 3 — materiał izolacyjny, 4 — końcówki elektrod; b) konstrukcja właściwego tranzystora w powiększeniu

gólnych ich elektrod. Jeśli chodzi o wyprowadzenia od elektrod, to pomiędzy lampami a tranzystorami zachodzi pewna różnica. W lampach elektronowych oprócz trzech elektrod roboczych: katody, siatki i anody — występowały jeszcze dwie końcówki służące do doprowadzenia prądu do grzejnika katody. W tranzystorze mamy tylko trzy wyprowadzenia. Wewnątrz miniaturowej obudowy (rys. 6) są one połączone z elektrodami: emiterem, bazą i kolektorem. Często nazwy tych elektrod zastępuje się skrótami literowymi: E — emiter, B — baza, K — kolektor (lub C — od łacińskiego wyrazu „collector” — zbierający).

Na schematach ideowych lub montażowych stosuje się dwie wersje symboli tranzystorów dla odróżnienia typu P-N-P lub N-P-N (o przeciwnej polaryzacji), nie znaczy to jednak, że nie występują w tych dwóch grupach różne rodzaje przyrządów półprzewodnikowych.

Dotychczas w naszych rozważaniach dotyczących budowy i działania tranzystorów braliśmy pod uwagę jedynie ogólne ich cechy. Teraz natomiast zwrócimy uwagę na charakterystykę poszczególnych typów tranzystorów. Jak powiedzieliśmy na wstępie, tranzystory mogą być stosowane w tych układach, gdzie używano tradycyjnych lamp elektronowych, a więc we wzmacniaczach, radiodiodniornikach, generatorach itp.

Triody próżniowe (lampy elektronowe) projektuje się i produkuje o różnych cechach

charakterystycznych, zależnie od ich przeznaczenia. Podobnie jest i z triodami krystalicznymi (tranzystorami), których produkcję się cały szereg typów o różnym przeznaczeniu. Znajduje to uzasadnienie w wielorakich zastosowaniach przyrządów półprzewodnikowych, a z tym wiąże się różna ich konstrukcja i technologia produkcji.

Z punktu widzenia zastosowań tranzystorów podzielimy je na przyrządy przeznaczone do:

- a) pracy we wzmacniaczach sygnałów małej częstotliwości (do 0,1 MHz),
- b) pracy we wzmacniaczach sygnałów porównywalnych częstotliwości (0,3—0,6 MHz),
- c) pracy w urządzeniach wielkiej częstotliwości (20—40 MHz).

Ponadto w zależności od funkcji w danym urządzeniu, stosuje się tranzystory małej mocy (do 50 mW), średniej mocy (do 250 mW) lub dużej mocy (kilka lub kilkanaście watów).

W związku z tym w praktyce radioamatorskiej spotykać będziemy tranzystory o różnych parametrach, różnej konstrukcji, a w związku z tym i o różnym wyglądzie zewnętrzny.

Dla odróżnienia poszczególnych typów tranzystorów stosuje się odpowiednie oznakowanie tych przyrządów, podobnie zresztą jak i lamp elektronowych — za pomocą symboli literowo-cyfrowych.

Tak na przykład symbolem TG 2 oznaczono tranzystor germanowy — typ 2, przeznaczony do pracy w układach o małej częstotliwości i małej mocy. W tabelce podajemy dane elektryczne najczęściej spotykanych tranzystorów krajowych, a na rys. 7 rozmieszczenie wyprowadzeń elektrod w poszczególnych typach przyrządów. Wymienione w tabeli tranzystory odnoszą się do typu P-N-P, lecz pozostałe ich parametry są różne. Symbolem  $U_{KE\ max}$ , oznaczono maksymalne napięcie, które może być przyłożone do tych elektrod (kolektor-emiter), przez  $I_{K\ max}$  — dopuszczalne natężenie prądu w obwodzie kolektora, przez  $P\ max$  — dopuszczalną moc, którą można uzyskać z danego tranzystora, przez  $f_g$  oznaczono częstotliwość graniczną, przy jakiej może

Wymiary tranzystorów	Oznakowanie elektrod	Symbol	Typ	Uwagi
	<i>czarna kropka</i> 	T62 do T68	PNP	oznakowanie stare
		T63A do T68	PNP	oznakowanie nowe
	<i>wyprowadzenie obudowy</i> 	TG 37 do TG 41	PNP	stosuje się oznakowanie i w TG 10
	<i>wyprowadzenie obudowy</i> 	AF 426 AF 428 AF 429 AF 416	PNP	zastępuje TG 37 do TG 40
		BF 510 BF 511	NPN	stosuje się w parze z tranzystorem PNP w szp. komplementar.
		TG 70 do TG 72	PNP	wymaga radiatora z blachy aluminiumowej 2x3 mm pow. 12cm <sup>2</sup>
	<i>czarna kropka</i> 	TG 50 do TG 55	PNP	dawne oznakowanie
		TG 50 do TG 55	PNP	nowe oznakowanie

Rys. 7. Wymiary i rozmieszczenie wyprowadzeń elektrod najczęściej spotykanych krajowych triod krystalicznych

dany tranzystor funkcjonować normalnie, symbolem  $\beta$  oznaczono współczynnik wzmocnienia prądowego dla prądu stałego ( $I_K/I_B = \beta$ ).

W tabelce zestawiono dane tylko części spotykanych tranzystorów germanowych produkcji krajowej, które podzielono na cztery grupy ze względu na zastosowanie: a) tranzystory małej częstotliwości i małej mocy TG 2 — TG 8, b) tranzystory małej częstotliwości, średniej mocy TG 50 —

TG 53, c) tranzystory małej częstotliwości, dużej mocy TG 70 — TG 72, d) tranzystory wielkiej częstotliwości, małej mocy TG 10 — TG 40.

W pracy tranzystorów dużej mocy prąd szczytowy sięga do 3 A, a więc zachodzi konieczność stosowania tzw. radiatorów służących do odprowadzania ciepła, gdyż tranzystory te silnie się nagrzewają.

Mgr inż. Witold Kozak