



Tranzystory dla początkujących

część 3

Przed miesiącem zrozumiałeś wreszcie z grubsza działanie tranzystora. Na pewno drżysz z niecierpliwości, i zastanawiasz się, dlaczego nie tłumaczę ci, jak tranzystor wzmacnia napięcie. Dlaczego tyle uwagi poświęciłem wzmacnianiu prądu i dlaczego tak obszernie tłumaczyłem ci sprawę spadków napięć i źródeł prądowych.

Wytrzymaj jeszcze trochę – wszystko poznasz po kolei. Za miesiąc wytłumaczę ci szczegółowo to, na co tak niecierpliwie czekasz: mianowicie jak tranzystor wzmacnia napięcie.

Dzisiaj zajmiemy się szczegółowo przede wszystkim wejściem tranzystora, to znaczy złączem baza-emiter. Poznasz kilka ważnych zagadnień praktycznych. Choć może wydadzą ci się niepotrzebne, jestem przekonany, że już niebawem wykorzystasz je w praktyce. Nie lekceważ podanego materiału, bo są to wiadomości niezbędne do gruntownego zrozumienia tematu tranzystorów. Nie ukrywam, że chcę cię od razu wrzucić na głębokie wody i przynajmniej zasygnalizować zagadnienia wykraczające poza elementarne podstawy. Jeśli należysz do tych, którzy nie chcą wychylać się poza elementarz, nie czytaj wszystkiego – na końcu artykułu zamieściłem ramkę z informacjami naprawdę podstawowymi.

PNP i NPN

W poprzednim odcinku jakoś tak samo wyszło, że obwód baza-emiter w tranzystorze zachowuje się ni mniej ni więcej, tylko tak jak dioda. To nie przypadek – tak jest naprawdę. Śmiało możesz wyobrazić sobie, że tranzystor składa się z dwóch niezależnych obwodów, czy też elementów:

- obwód baza-emiter zawiera najwykleszą diodę,
- obwód kolektor-emiter zawiera źródło prądowe.

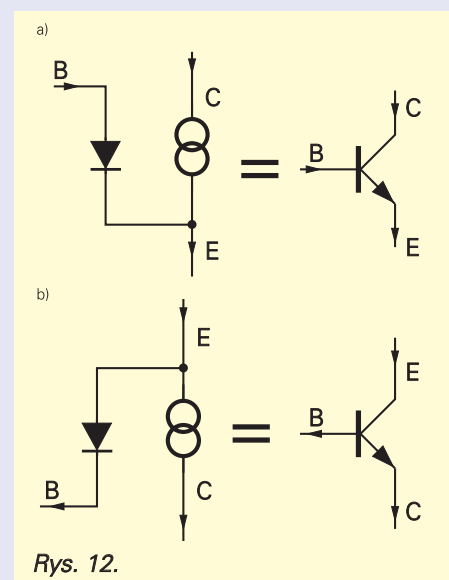
W poprzednim odcinku, gdy tłumaczyłem ci działanie tranzystora na przykładzie gaźnika, doszliśmy do tranzystora NPN. Na pewno bez problemu zrozumiałeś jego działanie. Teraz pomału zapomnij o gaźniku, a pamiętaj tylko, że tranzystor to w rzeczywistości źródło

prądowe sterowane prądem bazy. Jeśli przyswoisz sobie tę definicję, nie będziesz miał żadnych kłopotów z tranzystorem PNP.

Jego działanie jest takie same, jak tranzystora NPN, inny jest tylko kierunek przepływu prądów. Kierunki prądów w obu tranzystorach możesz zobaczyć na **rysunku 12**. Zapamiętaj raz na zawsze, że **strzałka w symbolu tranzystora (w obwodzie emitera) wskazuje kierunek przepływu prądu (od dodatniego do ujemnego bieguna źródła zasilania)**.

Celowo rysuję ci tranzystor PNP w sposób pokazany na **rysunku 13a**, a nie w sposób z **rysunku 13b**.

Czy sam potrafisz odpowiedzieć, dlaczego? Przecież na różnych schematach spotyka się sposób z rysunku 13b.



Rys. 12.

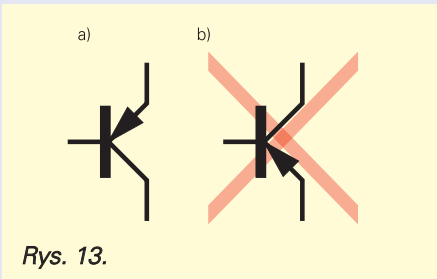
Pierwsze kroki

Żadnego błędu w takim narysowaniu nie ma, ja tylko chciałbym cię od początku przyzwycząić do zdrowych zasad. Chodzi tylko i wyłącznie o sposób rysowania schematów. Na pewno zauważyłeś, że niektóre schematy narysowane są jakoś tak fajnie, w przejrzysty sposób, że już na pierwszy rzut oka widać, jak działa dany układ, a przy okazji można się zorientować, jakie są napięcia stałe w poszczególnych punktach układu.

Inne schematy narysowane są w jakiś pokrętny, bardzo zawikłany sposób, i trzeba się dużo nabiedzić, żeby się zorientować, jak taki układ funkcjonuje, a na pewno ze sposobu narysowania nie wynikają

żadne wnioski, odnośnie napięć stałych w układzie.

Jeszcze raz podkreślam, że różnica polega tylko na sposobie narysowania schematu.



Rys. 13.

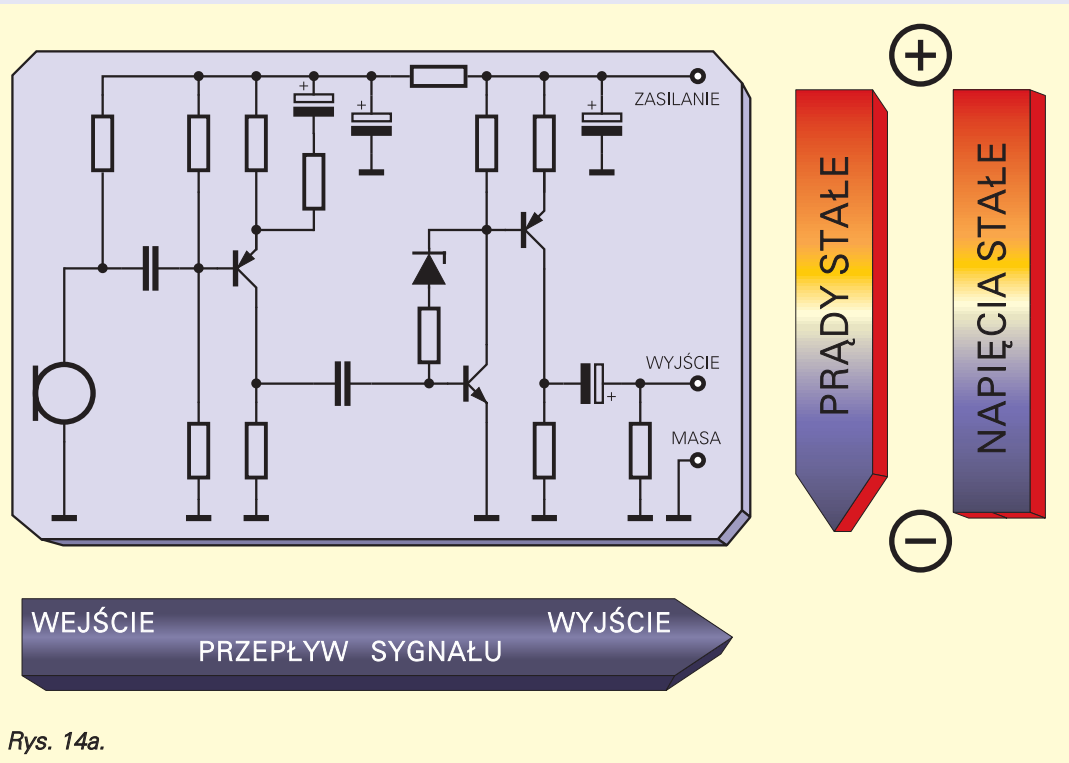
Żeby schemat był w miarę przejrzysty warto przestrzegać podstawowych zasad:

- „prądy zasilania na schemacie” powinny płynąć z góry na dół
- „sygnały na schemacie” powinny przebiegać z lewej strony na prawą.
- w miarę możliwości punkty o napięciu bardziej dodatnim powinny być narysowane wyżej niż punkty o napięciu niższym.

Rysunek 14 pokazuje dwa sposoby narysowania schematu ideowego tego samego układu. Pierwszy uwzględnia powyższe zasady, drugi nie. Który ze schematów jest łatwiejszy do analizy?

Sprawa jest o tyle aktualna, że w schematach nadsyłanych do Redakcji przez Czytelników, zwłaszcza do Szkoły Konstruktorów, często spotykam „kwiatki” podobne do rysunku 14b.

Przyzwyczaj się więc do podanych zdrowych reguł i uwzględniaj je przy rysowaniu



Rys. 14a.

waniu swoich schematów. Wtedy będziesz rysował tranzystor PNP tak, jak na rysunku 13a, a nie według rysunku 13b.

To była dygresja na marginesie – sposób rysowania schematów nie ma przebiegu wpływu na działanie tranzystora. Ułatwia tylko analizę układu.

Zajmiemy się teraz złączem baza-emiter tranzystora. Wiesz już, że tranzystory PNP i NPN różnią się jedynie kierunkiem przepływu prądów. Podane dalej wiadomości, w równym stopniu dotyczą obu typów tranzystorów.

Dioda i złącze baza - emiter

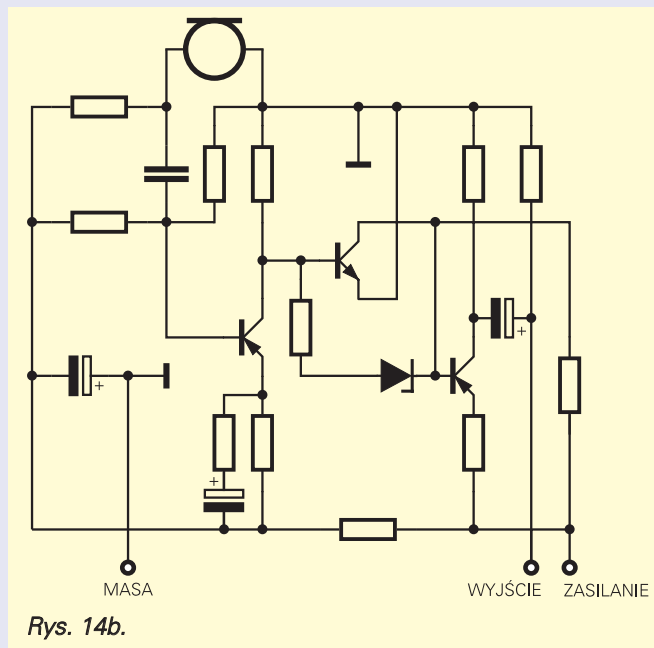
Zaczynamy od stwierdzenia, że złącze baza-emiter ma właściwości zwykłej diody półprzewodnikowej. Żeby dogłębnie zrozumieć zachowanie tranzystora w układzie, i żeby umieć samodzielnie dobrać warunki pracy tranzystora, musisz dobrze rozumieć działanie i parametry diody.

Przypomnę ci więc właściwości diody. Hydrauliczną analogię diody znajdziesz na **rysunku 15**. Zastosowana sprężynka jest bardzo słaba (podatna), więc do otwarcia klapki „w słusznym”

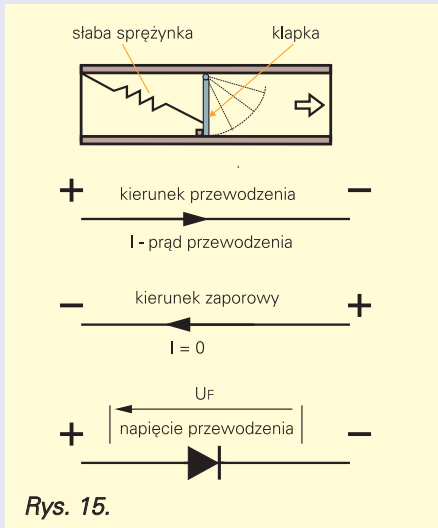
kierunku przewodzenia potrzeba niewielkiej siły, a więc niewielkiego ciśnienia.

Pomyśl, to bardzo ważny wniosek: na takim elemencie nie może wystąpić duży spadek ciśnienia, bo już małe ciśnienie otwiera klapkę całkowicie, umożliwiając przepływ praktycznie dowolnych ilości wody.

Tak samo jest z diodą. Dioda przepuszcza prąd w jednym kierunku. Ten „słuszny” kierunek nazywamy kierunkiem przewodzenia. Już stosunkowo niewielkie napięcie „otwiera” diodę powodując przepływ prądu. Na przewodzącej diodzie występuje niewielki spadek napięcia. Zauważ, że to napięcie (spadek napięcia) na przewodzącej diodzie nie



Rys. 14b.



może dowolnie rosnąć. Do pełnego „otwarcia” diody, czyli nawet przy bardzo dużych prądach, potrzebne napięcie (spadek napięcia) jest niewielkie.

Być może słyszałeś, że przy napięciu (przewodzenia) poniżej 0,6V...0,7V dioda krzemowa nie przewodzi, a prąd pojawia się dopiero dla napięć wyższych niż te 0,6V...0,7V. Takie są potoczne wyobrażenia.

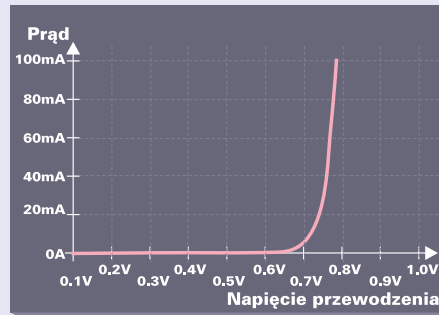
Ale być może słyszałeś, że napięcie na diodzie jest proporcjonalne do logarytmu płynącego przez nią prądu. Zapewne niewiele z tego sformułowania rozumiesz. Moglibyśmy pominąć ten wątek, ale ja od razu chcę rzucić cię na głębokie wody, dlatego przyjrzymy się nieco bliżej tej sprawie.

Obejrzyj sobie charakterystykę prądowo-napięciową diody (czyli zależność napięcia i prądu). Zwykle rysuje się ją w ten sposób, że na osi poziomej zaznacza się napięcie, a na osi pionowej – prąd. Taki sposób narysowania sugeruje, że ustalamy (wymuszamy) jakieś napięcie na diodzie, i w zależności od tego napięcia, przez diodę płynie odpowiedni prąd. Tak jest tylko w teorii (oraz ewentualnie podczas eksperymentów w szkolnej pracowni). W praktyce podchodzimy do sprawy odwrotnie: oto przez diodę płynie jakiś prąd, i przy przepływie tego prądu na diodzie występuje jakieś napięcie (spadek napięcia). Jest to tak zwane napięcie przewodzenia diody. Niezależnie od podejścia, rezultat jest zawsze ten sam: danej wartości prądu odpowiada określona wartość napięcia i odwrotnie. Zależność tę możemy zaznaczyć na rysunku – właśnie to jest charakterystyka diody w kierunku przewodzenia.

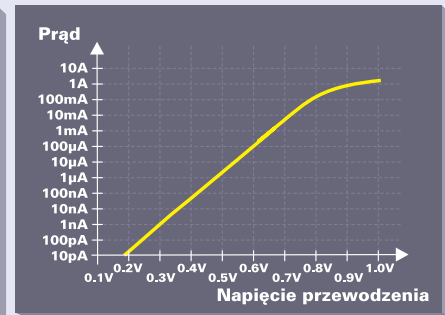
Nas w tej chwili interesuje, jak zmienia się napięcie na diodzie (a właściwie na złączu baza-emiter tranzystora) w zależności od prądu (prądu bazy tego tranzystora).

Rysunek 16a i b pokazuje charakterystykę tej samej diody, narysowaną na dwa

Rys. 16a.



Rys. 16b.



sposoby. Obie skale na rysunku 16a są liniowe, natomiast na rysunku 16b prąd na osi pionowej zaznaczono w skali logarymicznej, a napięcie, jak poprzednio, w skali liniowej. Choć wierzyć się nie chce, jeszcze raz przypomnę, że jest to charakterystyka tej samej diody, tylko narysowana nieco inaczej.

Wystarczy popatrzeć na rysunek b, by przekonać się, że gdy prąd zaznaczy się na skali logarymicznej, to wybitnie krzywa charakterystyka z rysunku a w dziwny sposób się prostuje, przynajmniej w zakresie mniejszych prądów. Właśnie tu masz czarno na białym logarytmiczną zależność napięcia na diodzie od płynącego prądu. Nawet jeśli nie wiesz co to jest logarytm (naturalny), nie przeszkodzi ci to w uchwyceniu sensu mary logarytmicznej – przyjrzyj się po prostu wartościom prądu oznaczonym na pionowej osi. Przecież mamy prawo zaznaczyć na osi pionowej prąd w taki trochę nietypowy sposób (a może właśnie typowy dla natury), by dziesięciokrotnej zmianie wartości odpowiadała jedna działka na osi. Nie musisz się dalej w to wgłębiać, zapamiętaj tylko i przyjmij do wiadomości, iż profesjonalści często wykorzystywali i pomimo ofensywy układów cyfrowych, nadal wykorzystują zależność wyraźnie widoczną na rysunku 16b do logarytmowania sygnałów, a także do analogowego mnożenia, dzielenia, potęgowania i pierwiastkowania. Może będzie to dla ciebie zaskoczeniem, ale właśnie dioda (lub złącze baza-emiter tranzystora) dobrze nadaje się do przeprowadzania operacji matematycznych na sygnałach analogowych. Na przykład tę logarytmiczną zależność wykorzystuje zdecydowana większość przetworników prawdziwej wartości skutecznej (ang. True RMS). A przetworniki True RMS spotkasz w wielu cyfrowych miernikach uniwersalnych lepszej klasy. Tyle o logarytmowaniu, na razie głębsza wiedza na ten temat nie jest ci potrzebna.

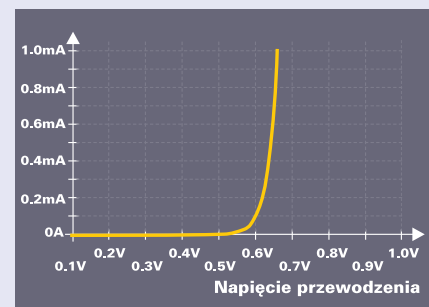
Wracajmy do charakterystyki z rysunku 16a. Ja tu ci truję, że masz jakąś skomplikowaną logarytmiczną zależność (na co rzeczywiście wskazuje rysunek 16b), a ty do tej pory spotykałeś się z popularnym

stwierdzeniem, iż spadek napięcia na krzemowej diodzie (i tak samo na złączu baza-emiter tranzystora) ma stałą wartość. Jedni podają, że wynosi 0,7V, inni 0,6V, a jeszcze inni podają wartość około 0,6...0,8V. I co? Kto tu kłamie?

W rzeczywistości nie ma tu znaczącej sprzeczności, ale sprawa wymaga drobnego uściślenia.

Popatrz na rysunek 17. Jest to w zasadzie to samo co na rysunku 16a, charakterystyka dotyczy jednak tylko prądów o wartościach do 1mA, a nie jak poprzednio, do 100mA. Zauważ, że zgodnie z rysunkiem 17, dla napięć do 0,5V, prąd diody rzeczywiście ma bardzo małą wartość. To samo możesz sprawdzić na rysunku 16b. Pamiętaj, że 1μA (mikroamper), to jedna milionowa ampera.

Rys. 17.



Sam widzisz, że w wielu sytuacjach śmiało możemy mówić, że dla napięć poniżej 0,5V, dioda praktycznie nie przewodzi prądu.

Trochę inaczej wygląda jednak sprawa z diodą prostowniczą, a inaczej z obwodem bazy tranzystora. Dla diody prostowniczej prąd rzędu 1 czy nawet 10 mikroamperów, to prąd wręcz pomijalnie mały. A dla tranzystora?

W tranzystorach, prąd kolektora płynący podczas normalnej pracy ma zwykle wartość w zakresie od ułameków miliampera do co najwyżej setek miliamperów (na razie pomijamy tranzystory dużej mocy). Uwzględniając, że tranzystor wzmacnia prąd, wychodzi na to, że prąd bazy tranzystora pracującego w typowym układzie ma wartość od ułam-

Pierwsze kroki

ków mikroampera do pojedynczych miliamperów.

Właśnie, w niektórych twoich układach prąd bazy może mieć wartość rzędu 1 mikroampera lub nawet mniej!

Czyli zgodnie z rysunkiem 16b, dla takich prądów bazy, napięcie baza-emiter tranzystora będzie mieć wartość 0,5...0,7V.

Zauważ, że przy tysiąckrotnej zmianie prądu (bazy), napięcie zmieni się tylko o około 200mV.

Teraz już chyba zrozumiałeś, iż w mniej precyzyjnych obliczeniach możemy przyjąć w uproszczeniu jakąś średnią, stałą wartość, np. właśnie 0,6V lub 0,65V. Ot i cała tajemnica!

Proste? Tak, ale my tu trochę uprościliśmy sprawę, pomijając bez wahania prądy poniżej 1 mikroampera, mówiąc iż są to pomijalnie małe wartości. Wyobraź sobie, że w profesjonalnych układach logarytmujących użyteczny zakres prądów często sięga 100pA do 1mA. 100 pikoamperów to 0,1 nanoampera czyli jedna dziesięciomiliardowa ampera. Ty na razie nie próbuj myśleć o prądach rzędu pikoamperów (i pracować przy takich prądach); pozostaw to zawodowcom.

Wracajmy do tranzystora.

Jak widać z analizowanych charakterystyk, napięcie między bazą i emiterym, oznaczane U_{BE}, podczas normalnej pracy tranzystora nie przekracza 0,8V. Jeśli w jakimś realnym układzie byłoby większe, to tranzystor na pewno jest uszkodzony. Przykładowo, jak wynikałoby z rysunku 16, przy napięciu U_{BE} równym 1V, prąd bazy tranzystora musiałby wynosić ponad 1A, a tranzystorów o tak dużym prądzie bazy na pewno nie spotkasz w swoim życiu.

Zapamiętaj więc ważną informację praktyczną: **jeśli napięcie U_{BE} zwykłego tranzystora NPN lub PNP (w kierunku przewodzenia) zmierzone w układzie, wynosi ponad 0,8V, to tranzystor ten NA PEWNO jest uszkodzony.**

Tranzystory mocy

W naszej praktyce używamy zwykle tranzystorów małej mocy. Chodzi o to, że w tranzystorze w czasie pracy wydzielana się w postaci ciepła jakaś moc – nazywamy ją mocą strat. Małe tranzystory mogą pracować przy niewielkich prądach kolektora (do 100...300mA), a wydzielana moc strat nie może być większa niż 0,1...0,6W, zależnie od typu tranzystora.

W niektórych przypadkach musimy pracować z większymi prądami, a wydzielana moc jest znacznie większa. Wtedy stosujemy tranzystory dużej mocy. Mają one większe obudowy i przystosowane są do przykręcenia do radiatora chłodzącego.

Problemem mocy strat i odprowadzania ciepła zajmiemy się w przyszłości, teraz chodzi mi tylko o jedną drobną sprawę. Aby uzyskać duże prądy w obwodzie kolektora, musimy pracować przy odpowiednio dużych prądach bazy. Prądy bazy będą znaczne, ponieważ tranzystory dużej mocy mają zwykle współczynnik wzmocnienia prądowego mniejszy, niż tranzystory małej mocy. Jeśli na przykład wzmocnienie tranzystora mocy wynosi 50, to dla uzyskania prądu kolektora równego 10A, prąd bazy musi wynieść 0,2A.

Jak myślisz, czy w tranzystorach dużej mocy napięcie baza-emiter musi być większe, niż w tranzystorach małej mocy?

Tak wynikałoby z rysunku 16.

Pamiętaj jednak, że rysunek ten dotyczy jakiejś konkretnej diody, czy konkretnego złącza baza-emiter.

Jak myślisz, czy wartość spadku napięcia przy danym prądzie będzie zależała od powierzchni tego złącza?

Małe złącze tranzystor małej mocy ma małą powierzchnię złącza, duży tranzystor mocy będzie miał znacznie większą powierzchnię tego złącza.

Masz rację, o wartości napięcia zależy gęstość prądu przypadająca na jednostkę powierzchni tego złącza.

Wniosek?

Napięcie baza-emiter w tranzystorach dużej mocy przy znacznych prądach bazy może być nawet mniejsze, niż w tranzystorach małej mocy.

Ta informacja nie jest może najważniejsza, ale powinieneś o tym wiedzieć, by potem po zmierzeniu napięć w jakimś układzie z tranzystorami mocy nie dziwić się i nie szukać dziury w całym.

Wpływ temperatury

Na rysunku 16 zaznaczyłem ci, w jakich granicach zmienia się napięcie na złączu baza-emiter przy różnych prądach bazy. Nie znaczy to jednak, że mając charakterystykę konkretnego tranzystora i znając prąd bazy, potrafisz precyzyjnie określić, jakie będzie napięcie między bazą a emiterym.

Czy już wiesz, dlaczego?

Otóż nie uwzględniłeś wpływu temperatury.

Rysunek 16 pokazuje charakterystykę dla jakiejś jednej temperatury – zwykle jest to temperatura pokojowa rzędu +25°C. Tymczasem ze wzrostem temperatury napięcie przewodzenia na diodzie i złączu tranzystora zmniejsza się.

Dla konkretnego egzemplarza tranzystora czy diody wpływ temperatury pokazany jest na **rysunku 18a**.

Może się zdziwisz, ale niedwuznacznie wychodzi na to, że zmiany napięcia baza-emiter pod wpływem zmian temperatury mogą być znacznie większe, niż

zmiany wywołane zmianami wartości prądu bazy!

Pamiętaj też o grzaniu się tranzystorów, także tych małej mocy.

Wnioski?

Z wartości napięcia emiter-baza niewiele dowiesz się o prądzie bazy. Szczególnie mówiąc, w związku ze znacznym wpływem temperatury, napięcie to nie daje praktycznych informacji. Jedynie jeśli jest większe niż 0,8V, to nieodwołalny znak, iż tranzystor jest uszkodzony.

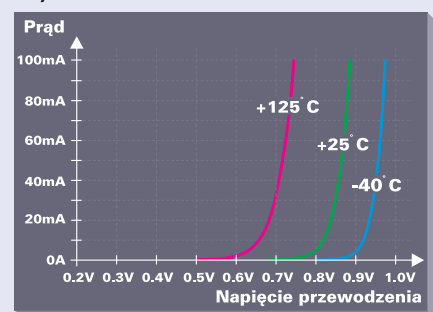
Czy to znaczy, że dokładna wartość napięcia baza-emiter nigdy nas nie obchodzi, bo nie niesie żadnej pewnej informacji?

Nie! Co istotne, jeśli prąd ma stałą wartość, to zmiany napięcia pod wpływem temperatury są, można powiedzieć – liniowe, czyli zmiana napięcia przewodzenia jest wprost proporcjonalna do zmian temperatury. Co jeszcze ważniejsze, zmiany te są powtarzalne, czyli nie zmieniają się z upływem czasu.

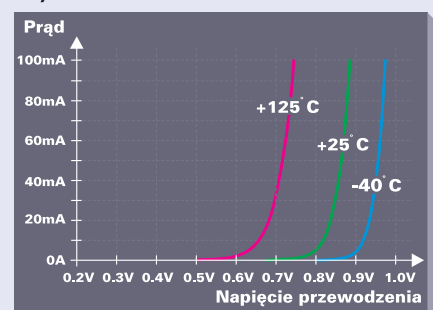
Wszystko to powoduje, że zwykła dioda lub złącze baza-emiter tranzystora mogą być z powodzeniem użyte do pomiaru temperatury. Przy odpowiedniej budowie układu pomiarowego i właściwym wyskalowaniu, można uzyskać bardzo dobrą dokładność pomiaru, rzędu 0,1...0,2°C.

Sposób ten bardzo często używany jest do pomiaru temperatur w zakresie -40...+125°C. Jest tylko jeden drobny szkopuł. Otóż w praktyce w procesie produkcji półprzewodników nie udaje się uzyskać idealnie takich samych parametrów dla wszystkich egzemplarzy diod czy tranzystorów, nawet pochodzących z tej samej partii produkcyjnej i z tej samej płytki krzemowej.

Rys. 18a.



Rys. 18b.



Zawsze występuje pewien rozrzut parametrów, i ostatecznie w niektórych katalogach charakterystyka diody czy złącza baza-emiter wygląda tak jak na **rysunku 18b**. Obszar zacieniowany wskazuje na spodziewany rozrzut parametrów pomiędzy egzemplarzami.

Już z tego widać, że przy wykorzystaniu złącza półprzewodnikowego do pomiaru temperatury, niezbędna jest indywidualna kalibracja dla każdego egzemplarza. W książkach czasem podaje się, że napięcie na złączu zmienia się z temperaturą o $-2,2\text{mV}$ na stopień Celsjusza. Owe $-2,2\text{mV}$ trzeba traktować jako wartość orientacyjną, a nie ścisłą. Zresztą inne źródła podają wartość tego współczynnika $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$.

Na razie nie będziesz chyba projektował układów pomiaru temperatury, ale powinienś wiedzieć, że właściwości złącza B-E umożliwiają taki pomiar. Przedstawiona zależność wykorzystywana jest nie tylko do budowy termometrów elektronicznych. Powszechnie stosuje się ją w układach scalonych do realizacji obwodów zabezpieczenia termicznego. Czy wiesz na jakiej zasadzie pracuje taki obwód?

Wystarczy ustawić napięcie baza-emiter tranzystora na wartość, powiedzmy, $0,5\text{V}$. Jak widać z rysunkami 16, 17 oraz 18, w temperaturze pokojowej popłynie wtedy pomijalnie mały prąd bazy. Prąd kolektora też będzie pomijalnie mały. Jeśli temperatura będzie rosła, to rosła będzie też prąd bazy, a tym samym prąd kolektora. Gdy prąd kolektora przekroczy ustaloną wartość, zadziała współpracujący obwód zabezpieczenia cieplnego.

Zależność parametrów od temperatury w niektórych układach jest zaletą, ale jak łatwo się domyślić, na przykład w precyzyjnych układach pomiarowych jest przekleństwem, z którym trzeba walczyć wszelkimi siłami. To jednak jest już odrębny, bardzo szeroki temat, do którego może jeszcze wrócimy. Na razie zajmijmy się kolejną podstawową sprawą.

Odwrotna polaryzacja

Uproszczony schemat zastępczy tranzystora z rysunku 12, zawierający diodę i sterowane źródło prądowe, nie do końca oddaje właściwości tranzystora. Znaczna część Czytelników sprawdza tranzystory za pomocą omiornierza wiedząc, że złącza baza-emiter i baza-kolektor zachowują się jak diody. Rzeczywiście w pewnych warunkach tranzystor można traktować jako połączenie dwóch diod według **rysunku 19**. Ale niestety, tranzystora nie można wykorzystać jako dwóch oddzielnych diod, i na przykład zrealizować za pomocą dwóch tranzystorów mostka diodowego (**rysunek 20**). Tranzystor to coś więcej, niż dwie diody. Zapa-

miętaj to i nawet nie próbuj podobnych sztuczek.

Rysunek 19 nasuwa jednak pytanie, czy aby w układzie elektronicznym nie można zamienić miejscami emitera i kolektora tranzystora? Inaczej mówiąc, czy kolektor mógłby pełnić rolę emitera i odwrotnie?

Pytanie jest jak najbardziej poważne, a starsi Czytelnicy pamiętają zapewne, że niektóre dawne radzieckie tranzystory po zamianie roli emitera z kolektorem, pracowały tak samo, albo nawet lepiej.

To prawda, że niektórym tranzystorom, wykonywanym bardzo starymi technologiami, było niemal wszystko jedno, która elektroda ma być kolektorem, a która emiterem. Ale to były bardzo dawne czasy. Natomiast współczesne tranzystory produkowane są pod kątem określonych zastosowań, i nie będą dobrze pracować po zamianie emitera z kolektorem. Być może czytałeś gdzieś o tak zwanej pracy inwersyjnej tranzystora. Zapomnij o tym. W układach, które będziesz montował, ewentualnie konstruował, tranzystory „zwykłe” czyli bipolarne będą pracować w normalny sposób.

A więc nie kombinuj z zamianą miejscami emitera i kolektora.

Ale to jeszcze nie wszystko.

Czy tranzystor może pracować przy „odwrotnym” napięciu między bazą

a emiterem. Co się stanie w układzie z **rysunku 21**, gdy napięcie bazy tranzystora NPN będzie niższe niż napięcie emitera?

Rysunki 12 i 19 nie sygnalizują żadnych ograniczeń.

Czy więc napięcie na bazie tranzystora z rysunku 21 może mieć dowolnie dużą wartość ujemną? Zapewne nie, spodziewamy się, iż złącze to, jak każda dioda, ma określone dopuszczalne napięcie wsteczne (kilkadziesiąt woltów).

Tu mam dla ciebie niespodziankę (o ile jeszcze tego nie wiesz): złącze baza-emiter spolaryzowane w kierunku zaporowym zachowuje się jak dioda Zenera o napięciu pracy około $6,2\text{V}$ (niektóre źródła podają $5...7\text{V}$).

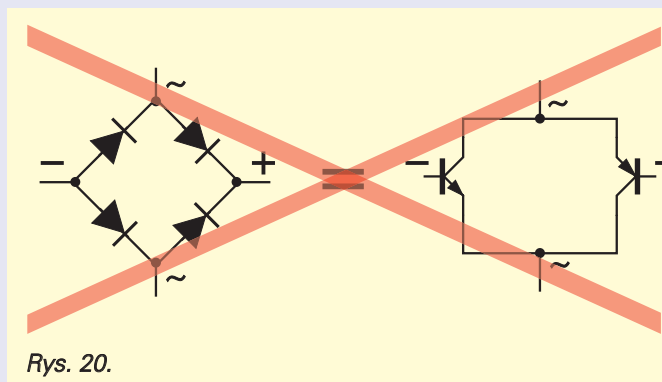
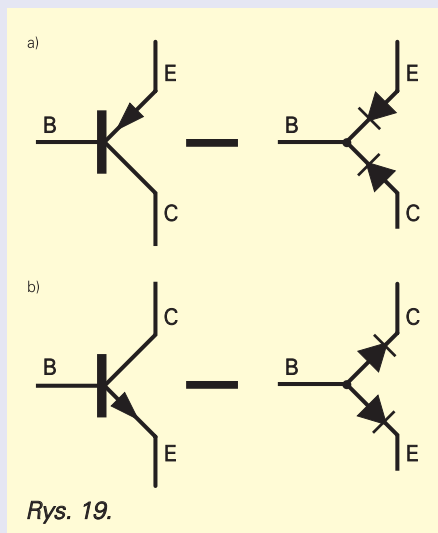
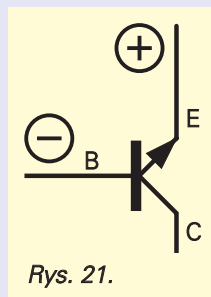
Jeśli jeszcze nie wiesz, co to jest dioda Zenera przyjmij, iż jest to po prostu stabilizator napięcia.

Czyli po podaniu na bazę napięcia wstecznego o wartości przekraczającej napięcie przebicia, przez złącze emiter-baza popłynie prąd. Słowo „przebiecie” zabrzmiało groźnie, ale nie ma się czego bać – o ile tylko prąd nie będzie zbyt duży (by cieplnie uszkodzić złącze), tranzystorowi nic się nie stanie. Przebiecie takie na pewno nie uszkodzi trwale tranzystora

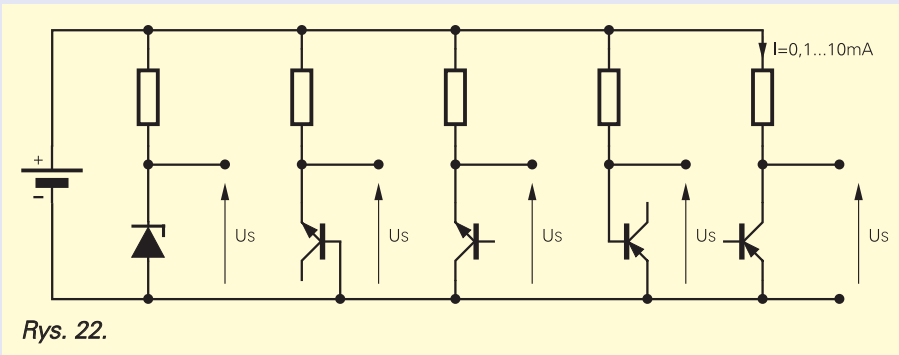
Krótko mówiąc, tranzystor może pełnić rolę diody Zenera czyli stabilizatora napięcia. Na **rysunku 22** pokazałem ci cztery przykłady wykorzystania tranzystorów w tej roli. Zauważ, że w każdym przypadku złącze emiterowe jest spolaryzowane wstecznie, wykorzystujemy tylko dwie końcówki, i taki sposób pracy nie ma nic wspólnego z normalnym trybem pracy tranzystora.

Przypomnę ci jeszcze raz te normalne warunki pracy: dla tranzystora NPN napięcie bazy (mierzone w stosunku do emitera) wynosi około $+0,6\text{V}...+0,7\text{V}$, złącze spolaryzowane jest w kierunku przewodzenia i płynie prąd bazy I_B . Płynie też prąd kolektora I_C , a napięcie na kolektorze U_C (też mierzone w stosunku do emitera) również jest dodatnie i wynosi od $+0,1\text{V}$ do pełnego napięcia zasilającego U_2 . Masz to zaznaczone na **rysunku 23**.

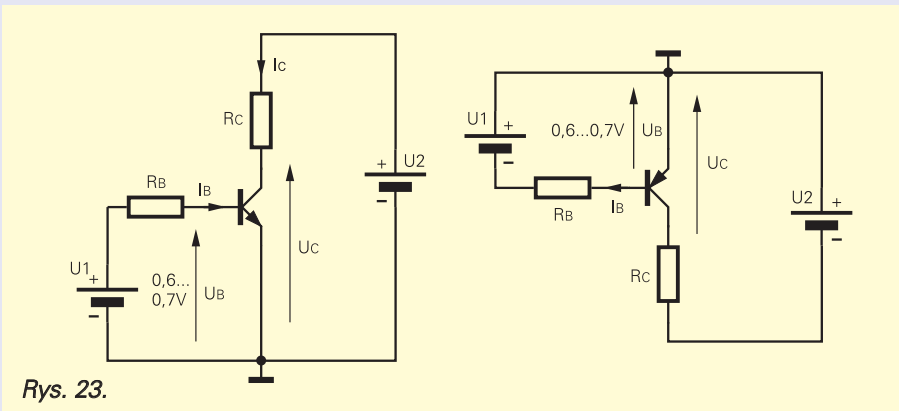
A co powiedzieć o sytuacji z **rysunkiem 24**, gdy w normalnym układzie pracy tranzystora (NPN) napięcie bazy



Pierwsze kroki



Rys. 22.



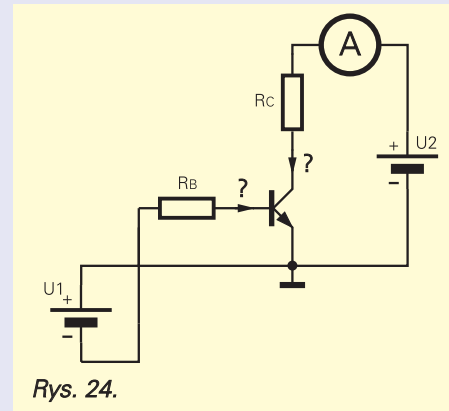
Rys. 23.

spadnie poniżej napięcia emitera i będzie wynosił $0 \dots 5 \text{ V}$? Co się będzie działo w obwodzie bazy, a co w obwodzie kolektora?

Dla ujemnych napięć bazy o takiej wartości, złącze baza-emiter będzie spolaryzowane zaporowo (wstecznie), ale na pewno nie wystąpi jeszcze wspomniane przebicie. W obwodzie bazy nie będzie więc płynął żaden prąd, a tym samym w obwodzie kolektora też nie będzie płynął prąd. Tranzystor będzie w stanie odcięcia (nieprzewodzenia).

A co się stanie, gdy w układzie z rysunku 24 napięcie U_1 obniży się poniżej 5 V , gdy w obwodzie emiter-baza nastąpi przebicie i w obwodzie bazy popłynie prąd wsteczny (płynący z baterii U_1 od masy przez emiter, bazę, rezystor R_B)? Czy wtedy w obwodzie kolektora pojawi się prąd?

To jest wbrew pozorom ważne pytanie, ponieważ w praktyce czasem można spotkać się z taką sytuacją. Nie udzielę ci odpowiedzi – możesz ją znaleźć sam,



Rys. 24.

montując układ według rysunku 24 i sprawdzając, czy amperomierz w kolektorze tranzystora pokaże jakikolwiek prąd, po pojawieniu się prądu wstecznego w obwodzie bazy.

Potraktuj to jako zadanie domowe.

W ramach takich domowych ćwiczeń proponuję ci też sprawdzenie, jaką wartość ma stabilizowane napięcie w układach z rysunku 22. Przekonaj się sam, na ile zależy ono od typu tranzystora, oraz jak jest rozrzut pomiędzy egzemplarzami tranzystorów tego samego typu.

Podsumowanie

Dzisiejszy odcinek poświęcony był w całości obwodowi baza-emiter tranzystora bipolarnego.

Na koniec zbierzmy w ramce najważniejsze wnioski. Za miesiąc zajmiemy się obwodem kolektora, jego charakterystykami i typowym układem pracy tranzystora.

Piotr Górecki

Co musisz wiedzieć o złączu baza-emiter tranzystora

W typowym układzie pracy tranzystora napięcie między bazą i emiterem wynosi mniej więcej $0,6 \dots 0,7 \text{ V}$ (porównaj rysunek x+12). Złącze emiterowe jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia i płynie prąd bazy. Płynie też prąd kolektora.

Jeśli między bazą a emiterem napięcie (w kierunku przewodzenia) jest większe niż $0,8 \text{ V}$, to tranzystor na pewno jest nieodwracalnie uszkodzony. Przy takim uszkodzeniu obwód kolektor-emiter może być na trwałe zwarty (przebity), ale może też być rozzwarty (przerwany). W każdym razie zbyt wysokie napięcie baza-emiter jest absolutnie pewnym dowodem, że tranzystor jest zepsuty i trzeba go wymienić.

Jeśli napięcie baza-emiter wynosi $0 \dots 0,5 \text{ V}$ – tranzystor nie przewodzi, czyli w obwodzie kolektora nie płynie prąd (pomijamy ewentualne prądy kolektora rzędu nanoamperów). Jeśli przy tak małym napięciu bazy tranzystor jednak przewodzi, to na 95% jest uszkodzony (pozostałe 5% to sytuacje, gdy na bazę podawane są impulsy, których średnia wartość daje owe napięcie $0 \dots 0,5 \text{ V}$ na woltomierzu, albo też dołączony miernik analogowy o małej rezystancji wewnętrznej przejmie prąd bazy tranzystora). W każdym razie po bezpośrednim zwarciu bazy z emiterem każdy tranzystor musi zostać zatkany, czyli przestać przewodzić prąd. Takie zwarcie bazy z emiterem niczym nie grozi i często jest stosowane przy sprawdzaniu tranzystorów w pracującym układzie. Jeśli po zwarciu bazy z emiterem, w obwodzie kolektora płynie nadal prąd, to tranzystor na pewno jest zepsuty i trzeba go wymienić.

Nie należy natomiast bezmyślnie zwierać bazy z kolektorem (by sprawdzić, czy tranzystor zostanie otwarty). Wprawdzie w ogromnej większości przypadków również niczym to nie grozi, jednak w niektórych układach, na przykład we wzmacniaczach wysokiej częstotliwości, może to spowodować uszkodzenie tranzystora.

Prąd kolektora nie powinien płynąć także wtedy, gdy złącze baza-emiter spolaryzowane jest odwrotnie, w kierunku zaporowym (dla tranzystora NPN odwrrotna polaryzacja oznacza, że napięcie na bazie jest niższe niż na emiterze).

Specyficzne właściwości złącza baza-emiter spolaryzowanego w kierunku przewodzenia są wykorzystywane do pomiaru temperatury oraz do logarytmowania (przeprowadzania operacji matematycznych na sygnałach analogowych). Natomiast złącze baza-emiter spolaryzowane w kierunku zaporowym może służyć jako dioda Zenera, czyli stabilizator napięcia.