



# Tranzystory dla początkujących

## Bezpieczny obszar pracy

### Prąd kolektora

Na początek pytanie: czy prąd kolektora może mieć dowolnie dużą wartość? Teoretycznie biorąc, zwiększając prąd bazy, można dowolnie zwiększyć prąd kolektora.

Jednak w konkretnym układzie maksymalny prąd kolektora płynie w stanie nasycenia tranzystora i co ważne, nie jest wyznaczony przez tranzystor, tylko przez wartość napięcia zasilania i rezystancji obciążenia. Zmniejszając rezystancję obciążenia zwiększamy ten prąd.

Jak się słusznie domyślasz, prądu tego nie można zwiększać dowolnie. Każdy tranzystor ma określony przez producenta **maksymalny prąd kolektora**, oznaczany w katalogach  $I_{Cmax}$ .

Wartość tego prądu związana jest z budową struktury tranzystora i grubością połączeń wewnętrznych.

Przy przepływie prądu przez rezystancję, wydziela się ciepło. Domyślasz się prawdopodobnie, a może widziałeś na własne oczy, że połączenia między krzemową strukturą tranzystora a wyprowadzeniami wykonane są cienkim drucikiem. Pomimo że często jest to drucik ze złota, przy przepływie nadmiernego prądu zachowa się jak najzwyklejszy bezpiecznik – rozgrzeje się i stopi.

Nie tylko ten drucik. Krzemowa struktura tranzystora ma jakieś wymiary geo-

metryczne. Jeśli spróbowałbyś przepuścić wielki prąd przez w sumie niewielki przekrój tej struktury, uzyskasz dużą, zbyt dużą gęstość prądu. Nie zapominaj, że masz do czynienia z delikatną strukturą półprzewodnikową i nadmierny wzrost gęstości prądu spowoduje nie tylko wzrost temperatury, ale i różne inne szkodliwe zjawiska. Wspomnę tylko o zmniejszaniu współczynnika wzmocnienia prądowego ( $\beta$ ) ze wzrostem prądu kolektora.

Uzasadniłem tu w największym skrócie, że ze względu na grzanie doprowadzeń i ograniczoną gęstość prądu w strukturze, nie można bezkarnie zwiększać prądu kolektora ponad wartość ustaloną przez producenta.

Jeśli się chwilę zastanowisz, dojdiesz pewnie do wniosku, że jeśli tranzystor pracowałby w trybie impulsowym, czyli otwierałby się i przepuszczał prąd tylko przez krótkie odcinki czasu, to wspomniane składniki nie zdążą się nagrzać aż do stopienia, a więc taki chwilowy, impulsowy prąd kolektora mógłby być większy, niż prąd maksymalny przy pracy ciągłej.

Masz rację! W katalogach często podaje się maksymalny prąd kolektora przy pracy ciągłej oraz maksymalny prąd kolektora przy pracy impulsowej. Potwierdzenie zobaczysz za chwilę na charakterystyce tranzystora mocy.

Ale na razie zajmiemy się pokrewną sprawą. Jak myślisz, czy jeśli nie przekroczysz katalogowego prądu  $I_{Cmax}$  oraz katalogowego napięcia  $U_{CEmax}$ , to czy twojemu tranzystorowi nic nie grozi?

### Moc strat

Zaczynamy omawiać ważny i jak się okaże – trochę trudny temat. Musisz go dobrze zrozumieć! Najtrudniejsze informacje podam za miesiąc, dziś zajmiemy się elementarzem.

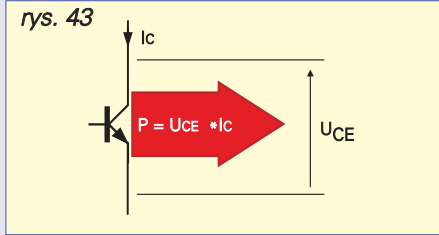
Na pewno spotkałeś się już z określeniem: *moc tranzystora*.

Co to takiego jest ta *moc tranzystora*? A co to jest w ogóle moc?

Z pojęciem mocy masz do czynienia w przypadku wielu urządzeń: jakiś silnik ma moc 100 watów, grzejnik elektryczny ma moc 2000 watów, lutownica ma moc 40W. Masz też dwie żarówki o mocy 60W: typową na napięciu 220V oraz samochodową na napięciu 12V.

Wszystkie te urządzenia pobierają ze źródła energię elektryczną i zamieniają ją na inne rodzaje energii: na ciepło, na energię mechaniczną (silnik), na energię świetlną (żarówka).

Czym większa moc, tym więcej energii pobiera w każdym momencie dane urządzenie. Obie wspomniane żarówki pobierają tę samą moc 60W. Czym się różnią? Na pewno tym, że jedna pracuje



przy napięciu 12 woltów i pobiera 5 amperów prądu (co daje  $12V \times 5A = 60W$ ), a druga, pracująca przy napięciu 220V, pobiera nieco ponad 0,27 ampera (co też daje  $220V \times 0,27(27)A = 60W$ ).

Czyli tę samą moc można uzyskać przy różnych prądach i napięciach. Oto proste wzory potrzebne do obliczeń mocy, jaką pobierają urządzenia elektryczne pracujące przy prądzie stałym (przy prądzie zmiennym dotyczą obciążenia rezystancją). Zapamiętaj je raz na zawsze:

$$P = U \times I$$

Ponieważ  $U = I \times R$ , po podstawieniu:

$$P = I^2 \times R$$

Ponieważ  $I = U/R$ , po podstawieniu:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Wracając do pytania o moc tranzystora: Czy chodzi o moc wydzielaną w obciążeniu? Czy może moc wydzielaną w tranzystorze? A może jeszcze o coś innego?

Wcześniej tłumaczyłem, że obwód kolektorowy tranzystora jest sterowanym źródłem prądowym, a nie zmiennym rezystorem, jednak nie zmienia to faktu, że **w strukturze tranzystora przy przepływie prądu będzie się wydzielać moc strat w postaci ciepła**. Wielkość tych strat ciepłych wyznaczona jest wzorem:

$$P = U_{CE} \times I_C$$

$U_{CE}$  to aktualne napięcie między kolektorem a emiterem, a  $I_C$  to aktualny prąd kolektora. (Ścisłej biorąc, powinniśmy też uwzględnić dodatkową moc strat w obwodzie bazy równą  $U_{BE} \times I_B$ , jednak zwykle ją pomijamy, bo jest dużo mniejsza, niż moc strat kolektora  $U_{CE} \times I_C$ )

Jak więc rozumieć „moc tranzystora”? Chodzi tu o **moc strat** tranzystora, czyli o **ciepło wydzielane** na bieżąco w **strukturze tranzystora**. Moc elektryczna  $P = U_{CE} \times I_C$  przez cały czas zamienia się na ciepło, dokładnie tak samo, jak w elektrycznym grzejniku. Krótko mówiąc, pracujący tranzystor jest niewielkim grzejnikiem, piecykiem. Jak się łatwo domyślić, wydzielane ciepło jest produktem ubocznym, który do niczego nie jest nam potrzebny, a tylko stwarza mnóstwo problemów.

A co się dalej dzieje z tym ciepłem? Czy pozostaje ono w tranzystorze?

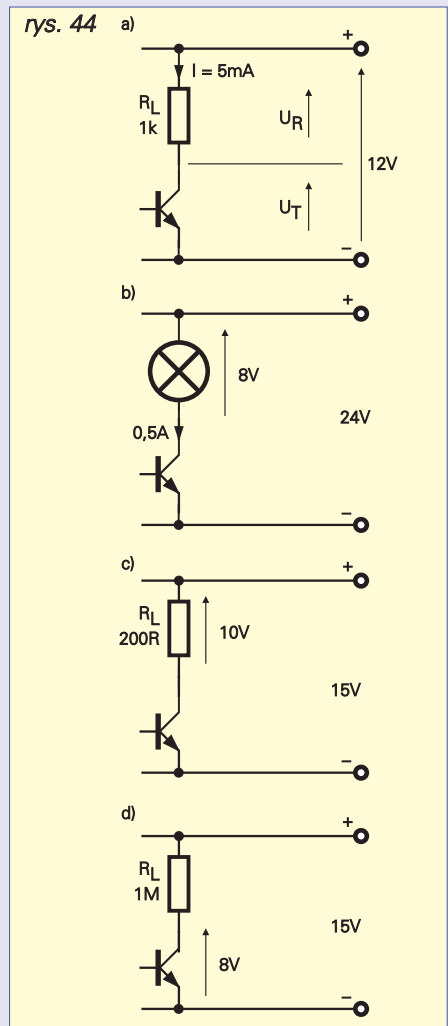
W żadnym wypadku! Nie masz chyba wątpliwości, że jeśli struktura tranzystora byłaby dobrze odizolowana termicznie od otoczenia, to wydzielające się i gromadzone ciepło powodowałoby wzrost temperatury. To szkodliwe ciepło trzeba odprowadzić do otoczenia i rozproszyć. Ilustruje to **rysunek 43**.

Zasada jest prosta: ciepło przepływa od ośrodka cieplejszego do ośrodka zimniejszego.

Wiesz już, co to jest moc strat tranzystora. Ale właśnie tu początkujący popełniają kardynalny błąd. Rozumują następująco: jeśli tranzystor może pracować przy katalogowym maksymalnym napięciu kolektora  $U_{CE0}$  i maksymalnym prądzie kolektora  $I_{Cmax}$ , to maksymalna „moc tranzystora” wynosi  $P = U_{CE0} \times I_{Cmax}$ .

Jest to absolutna bzdura, nie wolno tak liczyć, trzeba poszukać w katalogu dopuszczalnej **całkowitej mocy strat**, oznaczanej  $P_{tot}$ . Zakoduj sobie pod sufitem raz na zawsze: **całkowita moc strat tranzystora  $P_{tot}$  jest zawsze mniejsza niż iloczyn  $U_{CE0} \times I_{Cmax}$** .

A teraz obliczmy wspólnie, jaka moc wydzieli się w układach z **rysunku 44** w tranzystorze, a jaka w obciążeniu.



Dla rysunku 44a najpierw policzymy napięcie na obciążeniu, potem napięcie na tranzystorze, a potem obie moce.

Napięcie na rezystorze obciążenia:

$$U_R = 5mA \times 1k\Omega = 5V$$

Moc wydzielana w rezystorze obciążenia:

$$P_R = 5V \times 5mA = 25mW = 0,025W$$

$$I = \frac{U_R}{R}$$

$$I = \frac{12V}{1M\Omega} = 12\mu A$$

(to samo mogliśmy obliczyć ze wzoru  $P = I^2 R$ )

Napięcie na tranzystorze:

$$U_T = 12V - 5V = 7V$$

Moc strat w tranzystorze:

$$P_T = 7V \times 5mA = 35mW$$

Dla rysunku 44b:

Moc wydzielana w żarówce:

$$P_Z = 8V \times 0,5A = 4W$$

Napięcie na tranzystorze:

$$U_T = 24V - 8V = 16V$$

Moc strat w tranzystorze:

$$P_T = 16V \times 0,5A = 8W$$

Dla rysunku 44c:

Prąd obciążenia (czyli prąd kolektora):

$$I = \frac{U_R}{R}$$

$$I = \frac{10V}{200\Omega} = 50mA$$

Moc wydzielana w rezystorze:

$$P = U \times I = I^2 \times R$$

$$P_R = 10V \times 50mA = 500mW = 0,5W$$

Napięcie na tranzystorze:

$$U_T = 15V - 10V = 5V$$

Moc strat tranzystora:

$$P_T = 5V \times 50mA = 250mW = 0,25W$$

dla rysunku 44d:

Napięcie na rezystorze:

$$U_R = 20V - 8V = 12V$$

Prąd obciążenia (czyli prąd kolektora):

Moc wydzielana w rezystorze:

$$P_R = 12V \times 12\mu A = 144\mu W = 0,144mW = 0,000144W$$

Moc strat tranzystora:

$$P_T = 8V \times 12\mu A = 96\mu W = 0,096mW = 0,000096W$$

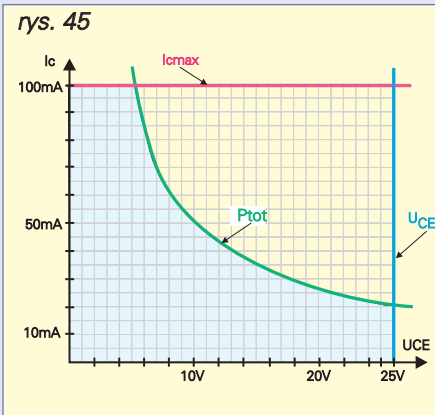
Jak widzisz, obliczenia wcale nie są trudne. Idziemy więc dalej.

Znasz już trzy ograniczenia warunków pracy tranzystora:

1. Napięcie zasilające nie może być większe niż katalogowe napięcie  $U_{CE0}$ . Najwyższe napięcia na kolektorze występuje w stanie zatkania tranzystora.
2. Prąd kolektora nie może być większy niż  $I_{Cmax}$ . Największy prąd płynie przez tranzystor w stanie nasycenia.
3. Moc strat tranzystora w żadnych warunkach nie może przekroczyć dopuszczalnej mocy strat  $P_{tot}$ .

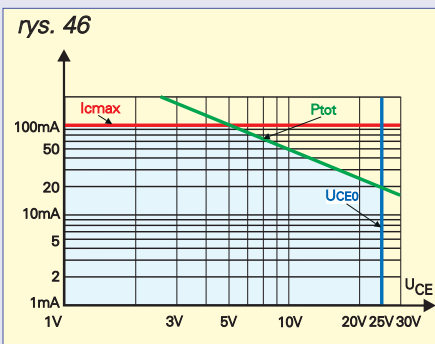
Te trzy ograniczenia dla przykładowego tranzystora ( $U_{CE0} = 25V$ ,  $I_{Cmax} = 100mA$ ,

# Pierwsze kroki



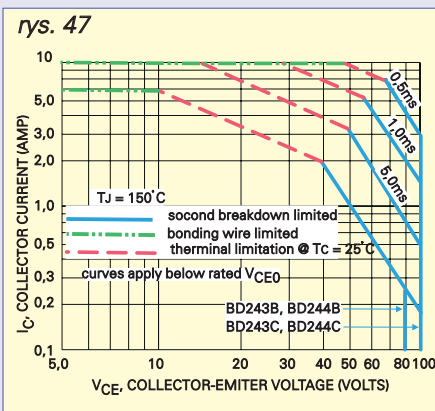
$P_{tot}=500mW$ ) zaznaczamy na **rysunku 45**. Jeśli napięcie i prąd na wykresie zaznaczymy w skali liniowej, wtedy linia reprezentująca moc  $P=U \times I$  będzie mieć kształt hiperboli, jak na **rysunku 45**.

Jeśli jednak napięcie i prąd zaznaczymy w skali logarymicznej, wtedy krzywa ta jakby się wyprostuje. Zobaczysz to na **rysunku 46**. Nie ma tu żadnego oszustwa – rysunki 45 oraz 46 pokazują ten sam przypadek, tyle, że narysowany troszkę inaczej: raz w skali liniowej, raz w logarymicznej.



W katalogach spotkasz charakterystyki podobne do **rysunku 46**.

Na **rysunku 47** znajdziesz kopię charakterystyki konkretnych tranzystorów BD243 i BD244, wziętą z katalogu. Tu dodatkowo masz informację, że jeśli tranzystor pracowałby w sposób impulsowy, zarówno chwilowy prąd, jak i chwilowa moc mogą być większe, niż przy prądzie ciągłym (stałym).



Zauważ jednak, że charakterystyka z **rysunku 47** jest jakby dodatkowo obciążona w porównaniu z **rysunkiem 46**. To „obciążenie”, czyli dodatkowe ograniczenie związane jest ze zjawiskiem tak zwanego drugiego przebiecia (second breakdown). Wystąpienie zjawiska drugiego przebiecia doprowadza do uszkodzenia tranzystora. Szczegóły na ten temat możesz znaleźć w książkach. Nie będę ich tłumaczył, bo nie jest to teraz niezbędne. W każdym razie mamy tu kolejne ograniczenie.

W każdym razie doszliśmy do punktu szczytowego naszych dzisiejszych rozważań: projektując układ musisz zmieścić się w **bezpiecznym obszarze pracy tranzystora**. W katalogach często spotkasz skrót SOA lub SOAR. To właśnie skrót od Safe Operating Area (Region), czyli właśnie bezpieczny obszar pracy. **Rysunek 47** pokazuje bezpieczny obszar pracy dla tranzystorów BD243 i BD244.

Ścisłe biorąc, projektując układ powinien znaleźć w katalogu rysunek przedstawiający bezpieczny obszar pracy tranzystora (taki jak na **rysunku 47**), przeprowadzić obliczenia, ewentualnie zaznaczyć na **rysunku** zakres pracy tranzystora i upewnić się, czy mieścisz się w dozwolonym obszarze. Przykłady, które rozważaliśmy przed chwilą dotyczą najprostszego przypadku – obciążenia tranzystora rezystancją. W wielu układach sprawa jest znacznie bardziej skomplikowana. Takie na przykład tranzystory pracujące w stopniu wyjściowym wzmacniacza mocy również muszą pracować w bezpiecznym obszarze pracy i to w każdym warunkach – także w przypadku zwarcia wyjścia, dołączenia obciążenia pojemnościowego (długi kabel) czy indukcyjnego (głośnik). W ramach podstawowego kursu nie będziemy zajmować się takimi obliczeniami. Chcę tylko zasygnalizować problem, a ty z czasem samodzielnie zdobędziesz dość wiedzy, by poradzić sobie nawet z trudniejszymi zadaniami.

Na razie możesz przyjąć prostą zasadę: stosować tranzystory o parametrach przekraczających wymagane minimum. W praktyce zazwyczaj dla bezpieczeństwa stosujemy tranzystory o parametrach granicznych 50...100% większych niż planowane napięcia, prądy i moce w projektowanym układzie. Wtedy mamy margines bezpieczeństwa i nie musimy się obawiać uszkodzenia. Stosowanie tranzystorów „większych i mocniejszych”, jest też korzystne z kilku innych względów, a ewentualna drobna różnica ceny nie ma żadnego znaczenia. Nie popadnij jednak w przesadę i nie stosuj tranzystorów mocy oraz tranzystorów wysokonapięciowych tam, gdzie to nie jest konieczne.

Wydawałoby się, że sprawa jest bezнадziejnie prosta i bez trudu tak dobierzesz warunki pracy (napięcie zasilania i rezystancję obciążenia) i zmieścisz się w dozwolonym obszarze pracy tranzystora. Rzeczywiście z napięciem zasilania i prądem maksymalnym sprawa jest prosta, ale z mocą strat nie pójdzie tak łatwo. W grę wchodzi tu bowiem dwa ważne zagadnienia, które musisz dobrze zrozumieć:

- zależność mocy strat od napięcia zasilania i rezystancji obciążenia,
- kwestię odprowadzania ciepła ze struktury.

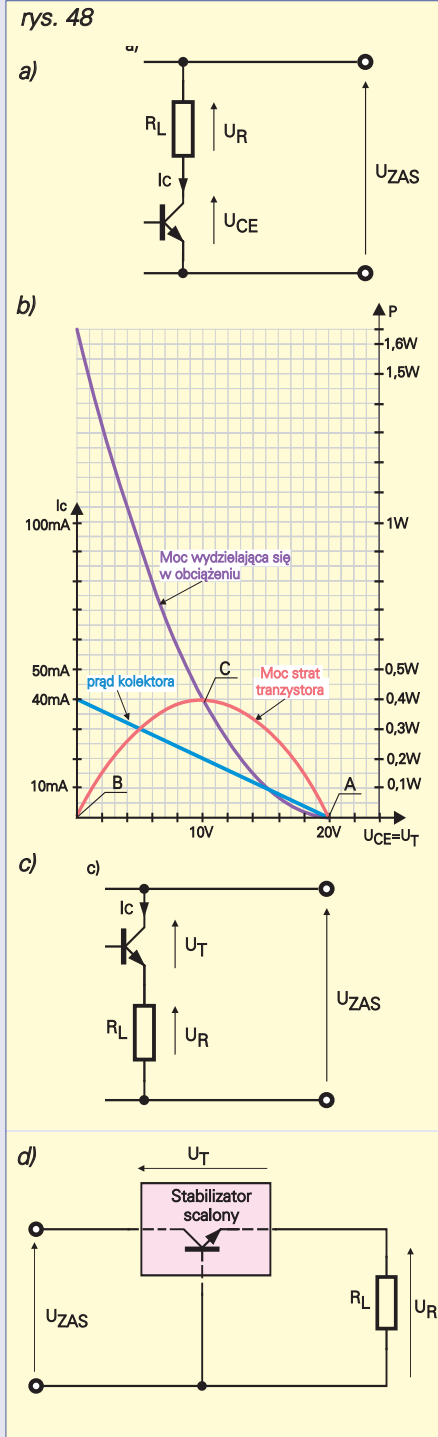
Dzisiaj zajmijmy się tylko pierwszym zagadnieniem.

Okazuje się jednak, że często nie trzeba liczyć mocy strat w wyżej podany sposób. W praktyce zwykle interesuje nas najgorszy przypadek. Jeśli obliczymy moc strat dla najgorszego przypadku, to nie ma potrzeby przeprowadzać dalszych obliczeń.

**Rysunek 48** pomoże zrozumieć, co mam na myśli, mówiąc o najgorszym przypadku. Przedstawiłem na nim konkretną sytuację: jakiś tranzystor współpracuje z rezystancją obciążenia  $R_L$  przy napięciu zasilania  $U_{zas}$  (w tym przypadku  $R_L=250\Omega$ ,  $U_{zas}=20V$ ). **Rysunek 48b** dotyczy w zasadzie układu pokazanego na **rysunku 48a**, ale bardzo podobnie przedstawia się sytuacja w układzie z **rysunku 48c**. Idąc o krok dalej możemy rozszerzyć zagadnienie: ponieważ układ scalony też zbudowany jest z tranzystorów, podobne obliczenia dotyczą również układów scalonych, w tym zwłaszcza stabilizatorów. Przykład masz na **rysunku 48d**. We wszystkich przypadkach (**rysunki 48a, 48c, 48d**) na tranzystorze występuje jakieś napięcie  $U_T$ , a na obciążeniu – napięcie  $U_L$ .

Czy dobrze rozumiesz sens tego **rysunku**?

**Rysunek 48b** mógłbyś z powodzeniem narysować sam. Wróć do **rysunku 44d**. Gdy prąd bazy nie płynie, nie płynie też prąd kolektora i napięcie na kolektorze jest równe napięciu zasilającemu. Gdy pojawi się prąd bazy i będzie się zwiększał, odpowiednio zwiększać się będzie prąd kolektora, a napięcie na kolektorze będzie się zmniejszać. Znając napięcie zasilające oraz rezystancję obciążenia  $R_L$  możesz przeprowadzić obliczenia dla kilku czy kilkudziesięciu napięć  $U_T$ . Możesz obliczyć nie tylko prąd kolektora, ale też moc wydzielaną w obciążeniu oraz w tranzystorze dla różnych napięć kolektora (czyli różnych prądów bazy). Gdybyś zaznaczył na wykresie punkty, dla których przeprowadzałeś obliczenia oraz połączył je ze sobą otrzymasz właśnie charakterystyki z **rysunku 48b**.



Na tym rysunku niebieską linią narysowałem zależność prądu kolektora od napięcia  $U_{CE}$  (czyli napięcia na tranzystorze), przy czym prąd kolektora zaznaczyłem na lewej skali. Jest to prosta reprezentująca obciążenie  $R_L$ . Czerwoną linią zaznaczyłem moc strat jaka będzie się wydzielać w tranzystorze. Linia fioletowa pokazuje jaka moc wydzieli się w rezystancji obciążenia (uwaga! moc zaznaczona odnosi się do skali zaznaczonej po prawej stronie rysunku).

Zauważ: przy braku prądu bazy i prądu kolektora, moc strat tranzystora jest równa zeru, bo  $P=U_{zas} \times 0$ . Na rysunku 48b pokazuje to punkt A. To oczywiście, w sta-

nie zatkania nie płynie żaden prąd i nie ma żadnych strat mocy ani w tranzystorze, ani w obciążeniu.

Teraz zwróć uwagę, co dzieje się w stanie nasycenia – pokazuje to punkt B. Prąd jest wprawdzie duży, ale napięcie na tranzystorze jest bardzo małe (napięcie nasycenia  $U_{CEsat}$  rzędu dziesiątek czy setek miliwoltów). Tym samym w stanie nasycenia moc strat cieplnych wydzielonych na tranzystorze jest niewielka, można powiedzieć bliska zeru, bo  $P=U_{CEsat} \times I$ . Jesteś zaskoczony?

Okazało się, że w stanie nasycenia, gdy płynie największy prąd, moc strat tranzystora jest bliska zeru! Tak jest! Duża moc ( $P = U_{zas} \times I$ ) wydziela się wtedy tylko w rezystancji obciążenia, a nie w tranzystorze. Krótko mówiąc, jeśli tranzystor pracuje jako przełącznik, zarówno podczas zatkania, jak i nasycenia wydziela się w nim niewielka moc strat. Już teraz powinieneś wiedzieć, że przy pracy impulsowej największe straty wydziela się w krótkich chwilach przełączania. Do tego zagadnienia być może jeszcze wrócimy. Na razie zajmujemy się tranzystorem podczas pracy liniowej.

Jak widzisz z rysunku 48b, największa moc wydziela się w tranzystorze, gdy napięcie kolektora jest równe połowie napięcia zasilającego. I właśnie to jest ten najgorszy przypadek, o którym wspominałem. Najgorszy, bo moc strat w tranzystorze jest wtedy największa. Na rysunku 48b pokazuje go punkt C.

Jak łatwo zauważyć, moc strat w tranzystorze jest wtedy równa mocy strat w obciążeniu. Jeśli tak, to maksymalną moc strat, jaka wydzieli się w tranzystorze, można obliczyć w beznadziejnie prosty sposób: ponieważ w najgorszych warunkach moc strat tranzystora jest równa mocy strat w rezystancji obciążenia  $R_L$ , a napięcie zasilania dzieli się na dwie równe części, obliczamy  $P_{(strat\ tranzystora)} = P_{(obciążenia)} = (U_{zas}/2) \times I$ . Ponieważ  $I = (U_{zas}/2)/R_L$ , ostatecznie:

$$P_{(strat\ tranzystora)} = \frac{\left(\frac{U_{zas}}{2}\right)^2}{R_L}$$

czyli:

$$P_{(strat\ tranzystora)} = \frac{\left(\frac{U_{zas}}{2}\right)^2}{4R_L}$$

Tak obliczona moc oczywiście nie może być większa, niż odczytana z katalogu moc strat tranzystora  $P_{tot}$ .

Powyższy wzór po przekształceniu pozwoli obliczyć minimalną rezystancję obciążenia przy danym napięciu zasilającym i katalogowej mocy strat:

$$R_L = \frac{(U_{zas})^2}{4P_{tot}}$$

Pozwoli też obliczyć maksymalne napięcie zasilania dla danej oporności obciążenia i katalogowej mocy strat

$$U_{zas} = \sqrt{4R_L P_{tot}}$$

Jak się przekonałeś, nie trzeba być orłem w matematyce. Powyższe wzory też powinieneś zapamiętać, albo zapisać sobie na widocznym miejscu. Są to wzory dotyczące największej mocy strat, jaka wydzieli się w tranzystorze przy napięciu zasilającym  $U_{zas}$  i rezystancji obciążenia  $R_L$ .

A może jeszcze zapytasz, jak te obliczenia mają się do krzywej reprezentującej maksymalną moc strat tranzystora, pokazanej na rysunku 45 oraz 46?

To ciekawe pytanie!

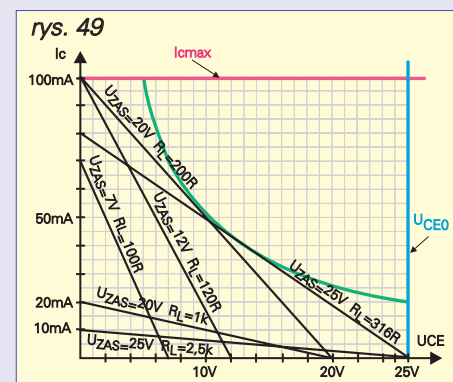
Sprawdźmy razem, czy nasz przykładowy tranzystor o charakterystykach z rysunków 45 oraz 46 może pracować w układzie z rysunku 48a przy napięciu 25V o rezystancji obciążenia 250Ω, gdzie napięcie na tranzystorze może się płynnie zmieniać od zera do pełnego napięcia zasilania?

Obliczamy moc strat dla najgorszego przypadku:

$$P_T = \frac{(25V)^2}{4 \times 250\Omega} = \frac{625}{1000} = 0,625W$$

Ponieważ podczas pracy może wystąpić ten najgorszy przypadek, nasz przykładowy tranzystor w podanych warunkach będzie przeciążony. Ale czy mógłby pracować w jakimś układzie przełączającym, gdzie występują tylko dwa stany: zatkania i nasycenia? Ponieważ w obu tych stanach moc wydziela się w tranzystorze jest równa lub bliska zeru, jest to możliwe. Nie musimy obliczać mocy dla najgorszego przypadku, bo ten przypadek w układzie przełączającym nigdy nie występuje.

Wracając do rysunku 45 można powiedzieć, że aby nie przekroczyć dopuszczalnej mocy strat, musimy zmieścić się z naszą prostą obciążenia w bezpiecznym obszarze pracy tranzystora. Kilka przykładów znajdziesz na **rysunku 49**. Masz tu



## Pierwsze kroki

proste obciążenia dla różnych napięć zasilania i różnych rezystancji obciążenia.

Na rysunku 49 proste obciążenia pokazałem na tle „liniowego” rysunku 45. Spróbuj samodzielnie zaznaczyć podobne linie na rysunkach 46 oraz 47. Czy będą to proste? Sprawdź zaznaczając kilka punktów.

W rzeczywistym układzie tranzystor będzie pracował przy napięciu zasilającym  $U_{zas}$  znacznie mniejszym, niż dopuszczalne napięcie  $U_{CE0}$ , a zastosowana rezystancja obciążenia w kolektorze ograniczy maksymalny prąd do wartości znacznie mniejszej niż  $I_{Cmax}$ . Jak już mówiłem, zapas rzędu 50...100% jest tu jak najbardziej na miejscu.

A teraz ćwiczenia. Wszystkie dotyczą pracy liniowej.

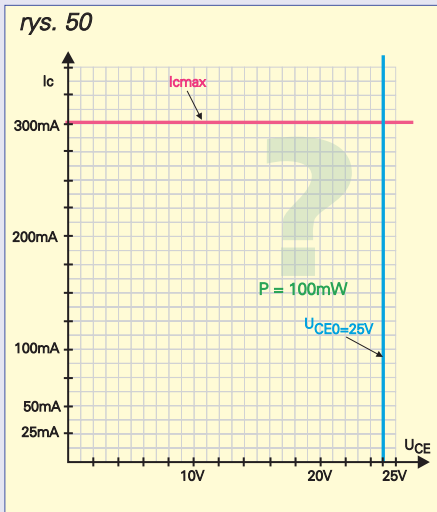
### Ćwiczenie 1.

Tranzystor ma następujące parametry:  $U_{CE0}=25V$ ,  $I_{Cmax}=300mA$ ,  $P_{tot}=100mW$ . Dorysuj na **rysunku 50** krzywą reprezentującą moc maksymalną 100mW.

Oblicz, jaka maksymalna moc wydzieli się (w najgorszym przypadku) w tym tranzystorze w następujących warunkach:

1.  $U_{zas} = 10V$ ,  $R_L = 1k\Omega$
2.  $U_{zas} = 25V$ ,  $R_L = 390\Omega$
3.  $U_{zas} = 9V$ ,  $R_L = 51\Omega$
4.  $U_{zas} = 25V$ ,  $R_L = 100\Omega$

Zaznacz na rysunku 50 proste obciążenia dla tych czterech przypadków. Czy tranzystor może pracować w takich warunkach?



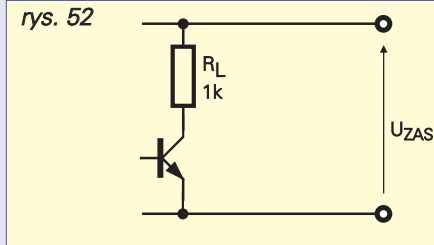
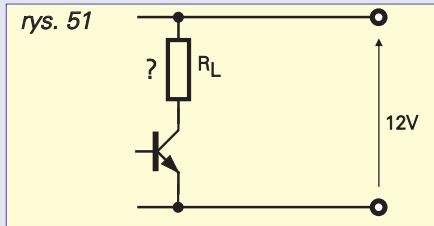
### Ćwiczenie 2

Mając tranzystor o parametrach jak w poprzednim ćwiczeniu oblicz, jaka może być minimalna rezystancja obciążenia w układzie z **rysunku 51**.

A jaka moc wydzieli się w tej rezystancji przy pełnym otwarciu (nasyceniu) tranzystora?

### Ćwiczenie 3

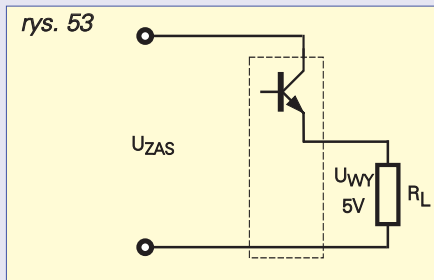
W układzie z **rysunku 52** chcemy zastosować tranzystor o parametrach:



$U_{CE0}=45V$ ,  $I_{Cmax}=500mA$ ,  $P_{tot}=300mW$ . Oblicz, w jakim zakresie napięć zasilających nie będzie on przeciążony.

### Ćwiczenie 4

Tranzystor T1 w układzie stabilizatora z **rysunku 53** ma następujące parametry:  $U_{CE0}=50V$ ,  $I_{Cmax}=100mA$ ,  $P_{tot}=300mW$



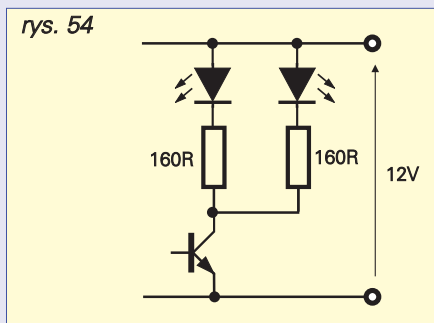
Oblicz, jaki prąd maksymalny może płynąć przez ten tranzystor przy napięciu wyjściowym stabilizatora równym 5V. Przeprowadź obliczenia dla dwóch napięć zasilających:

- a)  $U_{zas} = 25V$
- b)  $U_{zas} = 7V$

### Ćwiczenie 5

Mając tranzystor o parametrach:  $U_{CE0}=45V$ ,  $I_{Cmax}=500mA$ ,  $P_{tot}=300mW$  sprawdź, czy może on pracować w układzie płynnej regulacji jasności świecenia zespołu żółtych diod LED w układzie z **rysunku 54**.

Wykonaj proponowane ćwiczenia. Odpowiedzi znajdziesz w następnym odcinku.



Jeśli wydaje ci się, że już wiesz wszystko na temat mocy strat tranzystora, to muszę cię zmartwić. Gdyby nasze rozważania dotyczyły tylko tranzystorów małej mocy, podane wiadomości od biedy by wystarczyły. Ale w przypadku tranzystorów większej mocy wchodzi w grę dodatkowe czynniki. Podana w katalogu dopuszczalna moc strat  $P_{tot}$  jest ściśle związana z temperaturą struktury półprzewodnikowej i skutecznością odprowadzania stamtąd ciepła. Tym ważnym tematem zajmiemy się za miesiąc.

### Powtórka

Każdy stosowany przez ciebie tranzystor musi pracować w tak zwanym bezpiecznym obszarze pracy.

Obszar ten jest ograniczony przez:

- maksymalne napięcie kolektora  $U_{CE0}$
- maksymalny prąd kolektora  $I_{Cmax}$
- dopuszczalną moc strat  $P_{tot}$
- zjawisko tak zwanego drugiego przebiecia.

Obszar bezpiecznej pracy zazwyczaj podany jest w katalogu w postaci rysunku.

W praktyce należy unikać pracy tranzystora przy napięciu, prądzie i mocy zbliżonych do maksymalnych. Zastosowanie tranzystora „większego i silniejszego” o 50...100% niż wymagane minimum jest korzystniejsze i pozwala uniknąć długich obliczeń.

Piotr Górecki

### Konkurs

Wśród osób, które przez najbliższy miesiąc (do czasu ukazania się następnego numeru EdW) nadesłały prawidłowe rozwiązania ćwiczeń 2 – 5, zostaną rozlosowane nagrody – niespodzianki.