

## 1. Pojemność kondensatora. Pojemność wypadkowa przy szeregowym i równoległym połączeniu kondensatorów. Reaktancja pojemnościowa.

Pojemność kondensatora jest to stosunek ładunku zgromadzonego na okładce do napięcia między okładkami.

$$C[F] = \frac{Q[C]}{U[V]}$$

Jednostką pojemności jest Farad.

Wyprowadzenie wzoru na pojemność kondensatora.

$$C = \frac{S}{4 \cdot \pi \cdot k_0 \cdot d}$$

gdzie:  $S$  - powierzchnia okładki,  $d$  - odległość okładek,  $k_0$  - współczynnik Coulomba na siłę oddziaływania ładunków elektrycznych

Reaktancja pojemnościowa jest to stosunek amplitudy napięcia przemiennego przyłożonego do kondensatora do amplitudy prądu płynącego przez ten kondensator.

Reaktancja pojemnościowa dana jest wzorem:

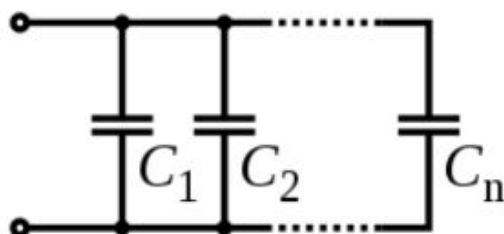
$$X_c = \frac{U_0}{C \cdot U_0 \cdot \omega} = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Dla równoległego połączenia kondensatorów o pojemnościach  $C_1$   $C_2$   $C_3$  pojemność wypadkowa  $C_w$  ma wartość:

$$C_w = C_1 + C_2 + C_3$$

$$Q_w = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$C_w \cdot V = C_1 \cdot V + C_2 \cdot V + C_3 \cdot V$$

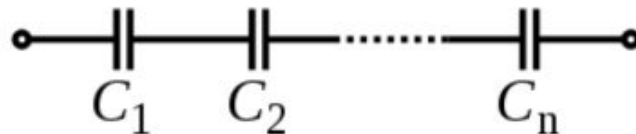


Dla szeregowego połączenia kondensatorów o pojemnościach  $C_1$   $C_2$   $C_3$  pojemność wypadkowa  $C_w$  ma wartość:

$$\frac{1}{C_w} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\frac{Q}{C_w} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$



## 2. Indukcja magnetyczna wewnątrz cewki, indukcyjność cewki. Indukcyjność wypadkowa przy szeregowym i równoległym połączeniu cewek. Reaktancja indukcyjna.



Prawo Ampera

Przewód z prądem, przez który płynie prąd  $I$  wytwarza wokół siebie w odległości  $r$  pole magnetyczne o indukcyjności  $B$  danej wzorem:

$$B = \frac{2 \cdot k_0 \cdot I}{r}$$

Cewka powietrzna służąca do wytwarzania jednorodnego pola magnetycznego. Jednostką indukcji pola magnetycznego  $B$  jest Tesla  $[B]=T$ . Indukcja magnetyczna  $B$  wewnątrz solenoidu dana jest wzorem:

$$B = \frac{4 \cdot \pi \cdot k_0}{c^2} \cdot \frac{N \cdot I}{l} = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{l} \quad \text{gdzie: } c - \text{prędkość światła, } k_0 \text{ stała Coulomba, } N - \text{ilość zwojów, } l - \text{długość cewki, } I - \text{napięcie prądu płynącego przez cewkę, } \mu_0 - \text{przenikalność magnetyczna próżni.}$$

Indukcyjność  $L$  - określa zdolność obwodu do wytwarzania strumienia magnetycznego  $\Phi_m$ .

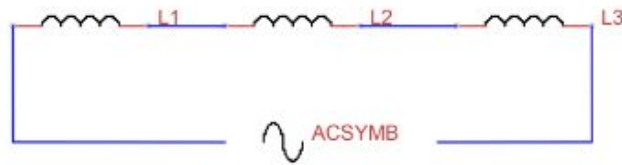
$$\Phi_m = B \cdot S = B \cdot \pi \cdot R^2 = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{l} \cdot \pi \cdot R^2 = L \cdot I \quad L = \mu_0 \cdot \frac{N^2}{l} \cdot \pi \cdot R^2$$

$S$  - pole przekroju cewki,  $R$  - promień cewki. Jednostką indukcyjności  $L$  jest Henr.

$$\text{Z prawa Faradaya } E = \frac{\partial \Phi_m}{\partial t} = L \cdot \frac{\partial I}{\partial t}$$

Siła elektromotoryczna indukcji jest proporcjonalna do prędkości zmian natężenia prądu elektrycznego płynącego przez cewkę.

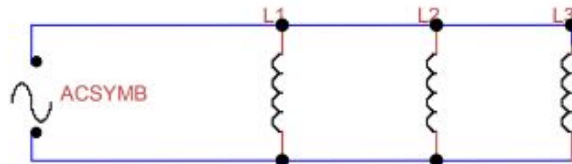
Dla szeregowego połączenia cewek o indukcyjnościach  $L_1$   $L_2$   $L_3$  indukcyjność wypadkowa  $L_w$  ma wartość:



$$L_w = L_1 + L_2 + L_3$$

ponieważ: 
$$L_w \cdot \frac{\partial I}{\partial t} = L_1 \cdot \frac{\partial I}{\partial t} + L_2 \cdot \frac{\partial I}{\partial t} + L_3 \cdot \frac{\partial I}{\partial t}$$

Dla równoległego połączenia cewek o indukcyjnościach  $L_1$   $L_2$   $L_3$  indukcyjność wypadkowa  $L_w$  ma wartość:



$$1/L_w = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3$$

ponieważ: 
$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad \frac{\partial I}{\partial t} = \frac{\partial I_1}{\partial t} + \frac{\partial I_2}{\partial t} + \frac{\partial I_3}{\partial t} \quad \frac{E}{L_w} = \frac{E}{L_1} + \frac{E}{L_2} + \frac{E}{L_3}$$

Reaktancja indukcyjna jest to stosunek amplitudy napięcia przemiennego przyłożonego do cewki do amplitudy prądu płynącego przez tę cewkę.

Niech:

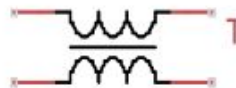
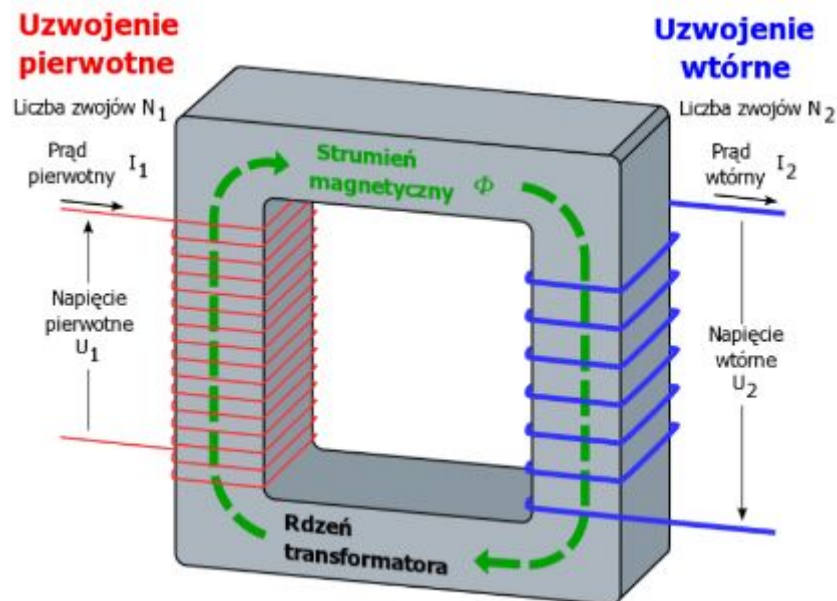
$$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad E(t) = L \cdot \frac{\partial I(t)}{\partial t} \quad E(t) = L \cdot I_0 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) = E_0 \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$E_0 = L \cdot I_0 \cdot \omega \quad X_L = \frac{E_0}{I_0} = \omega \cdot L$$

Reaktancja indukcyjna dana jest wzorem:

$$X_L = \omega \cdot L$$

### 3.Transformator. Konstrukcja i zasada działania. Stosunek napięć i prądów wyjściowych do wejściowych w funkcji liczby zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego.



Symbol transformatora

#### a) Transformatory napięcia.

Jeżeli dwie cewki będą nawinięte wokół tego samego rdzenia to zmienny prąd w jednej z nich będzie wywoływał napięcie w drugiej. Niech  $n_1$  będzie liczbą zwojów w cewce pierwotnej, a  $n_2$  w cewce wtórnej. Otrzymujemy zależności:

$$V_2 = -n_2 \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad V_1 = -n_1 \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

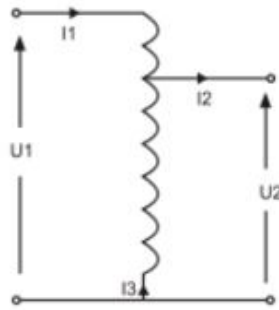
$$\text{ponieważ: } \frac{\partial \Phi_1}{\partial t} = \frac{\partial \Phi_2}{\partial t}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

$n_1 / n_2$  –przekładnia transformatora

Stosunek napięć na uzwojeniach transformatora równy jest stosunkowi ilości zwojów na uzwojeniach.

Autotransformator. **Autotransformator** to specjalny transformator, w którym jest tylko jedno uzwojenie spełniające jednocześnie rolę pierwotnego i wtórnego. Autotransformator może posiadać przekładnię stałą (stały stosunek ilości zwojów uzwojeń pierwotnego i wtórnego) lub też zmienną. Jest często stosowany w laboratoriach.

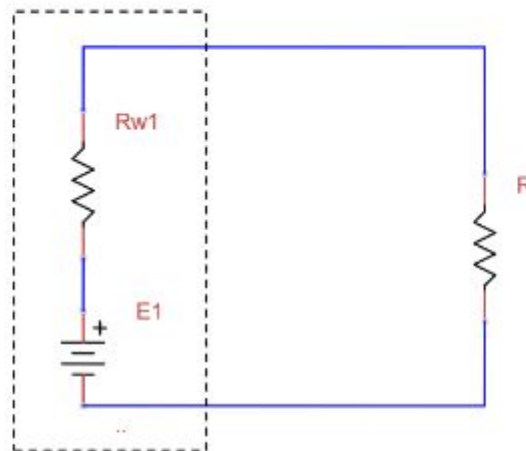


Schemat autotransformatora.

#### 4. Idealne i rzeczywiste źródło napięcia. Zależność prądu i napięcia źródła od rezystancji obciążenia.

Źródłem napięcia idealnym nazywamy takie źródło, którego napięcie nie zmienia się ze zmianą prądu pobieranego z tego źródła. Wartość napięcia nie zależy od wartości rezystancji dołączonej do tego źródła.

Rzeczywiste źródło napięcia.

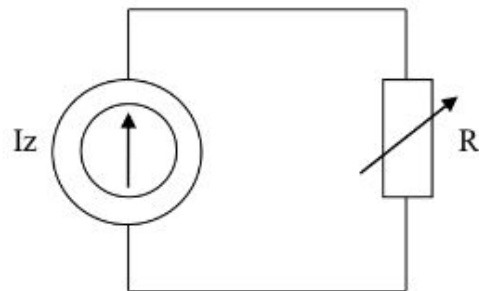


Prąd płynący przez rezystor i napięcie na rezystorze dane są wzorami:

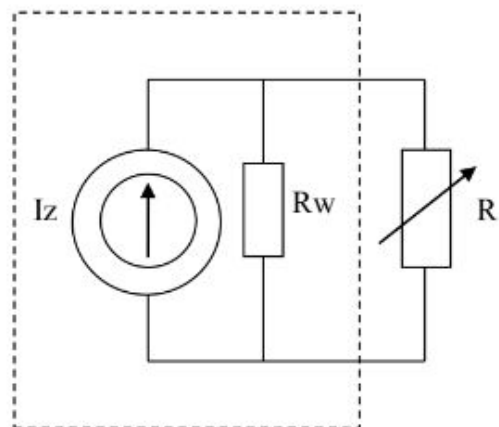
$$I = \frac{E}{R + r_w} \quad U = \frac{E \cdot R}{R + r_w}$$

Źródłem prądu idealnym nazywamy takie źródło, którego prąd nie zmienia się ze zmianą jego obciążenia. Wartość prądu nie zależy od wartości rezystancji dołączonej do tego źródła.

Idealne źródło prądu.



Rzeczywiste źródło prądu.



Prąd płynący przez rezystor  $R$   $I = \frac{I_z \cdot R_w}{R + R_w}$        $U = \frac{I_z \cdot R_w \cdot R}{R + R_w}$       Napięcie na rezystorze  $R$

Równoważność źródła napięciowego i prądowego.

Jeżeli:  $I_z = \frac{E}{R_w}$       to       $I = \frac{E}{R + R_w}$        $U = \frac{E \cdot R}{R + R_w}$

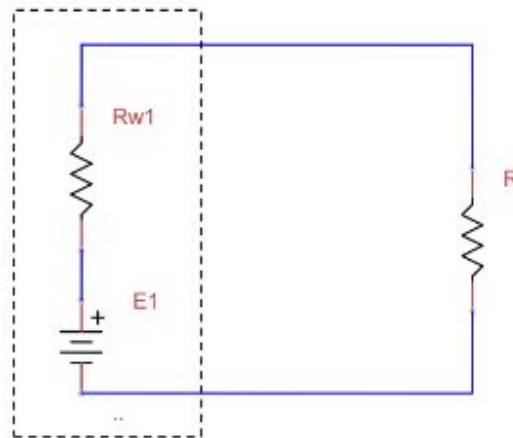
## 5.Optymalne przekazywanie mocy do obciążenia dla rzeczywistego źródła napięcia.

Moc wydzielana na rezystancji R podłączonej do źródła napięcia U dana jest wzorem:

$$P = U \cdot I \quad I = \frac{U}{R} \quad P = \frac{U^2}{R} \quad P = R \cdot I^2$$

$$P[W] = U[V] \cdot I[A]$$

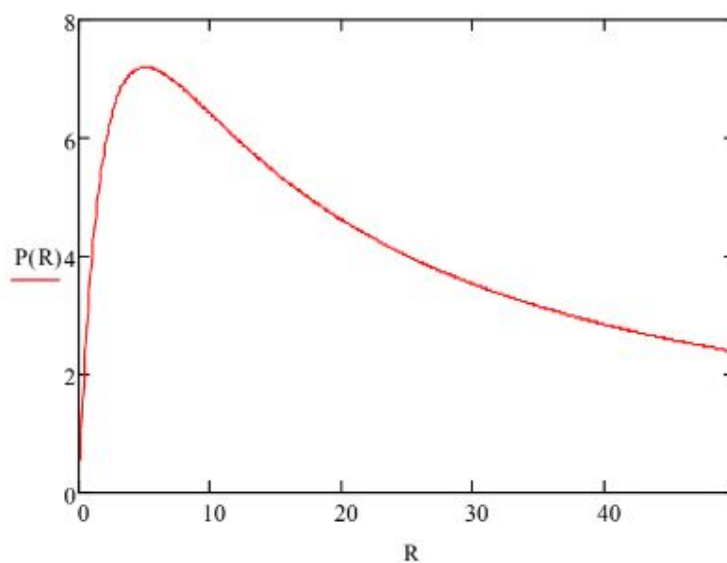
Jaka jest moc wydzielana na rezystancji R podłączonej do rzeczywistego źródła napięcia?



Moc przekazywana do obciążenia rezystancyjnego ze źródła napięciowego zależy od rezystancji obciążenia jak i od rezystancji wewnętrznej tego źródła.

$$I = \frac{E}{R + r_w} \quad U_R = \frac{E \cdot R}{R + r_w} \quad P(R) = I \cdot U_R = \frac{E^2 \cdot R}{(R + r_w)^2}$$

Przebieg funkcji P(R) przedstawiono na rysunku. E=12 V,  $r_w=5 \Omega$ ,  $P_{\max}=7.2 \text{ W}$ .



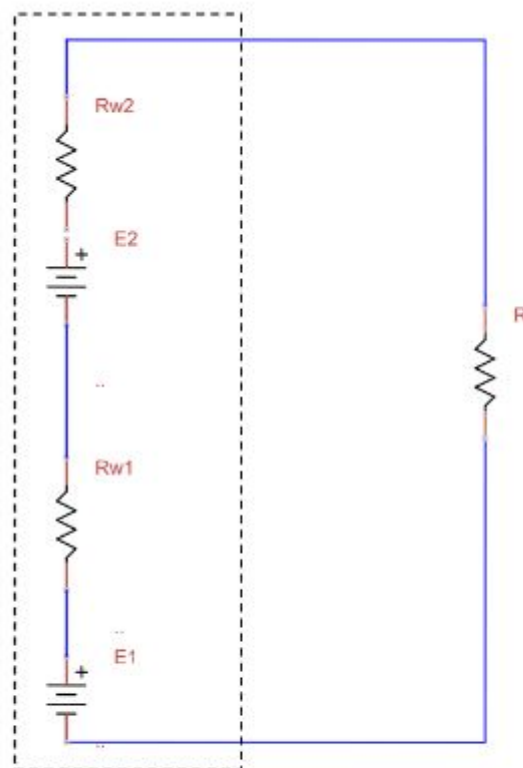
Funkcja ta osiąga wartość maksymalną dla  $R=r_w$ .

$$P(r_w) = \frac{E^2}{4 \cdot r_w}$$



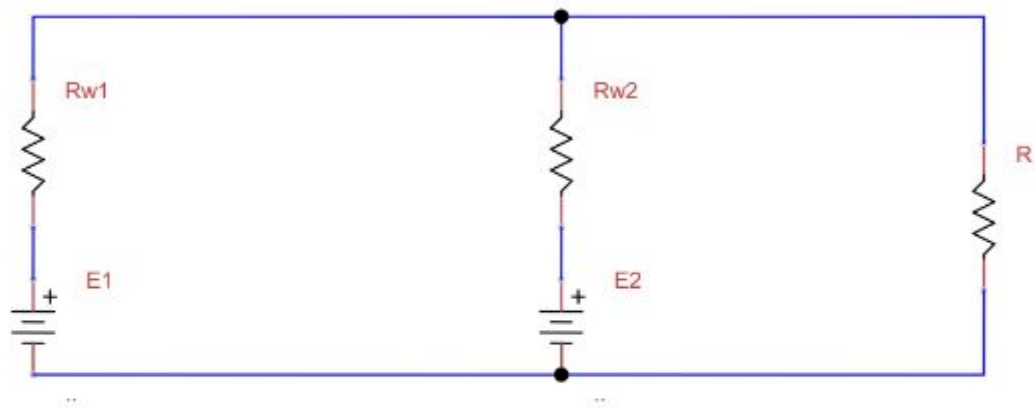
**6. Połączenie szeregowe i równoległe rzeczywistych źródeł napięcia -wypadkowe napięcie i wypadkowa rezystancja wewnętrzna.**

a) Połączenie szeregowe.



$$E_z = E_1 + E_2 \quad r_w = r_{w1} + r_{w2}$$

b) Połączenie równoległe.



$$E_z = E_1 - \frac{E_1 - E_2}{r_{w1} + r_{w2}} \cdot r_{w1} \quad \frac{1}{r_w} = \frac{1}{r_{w1}} + \frac{1}{r_{w2}}$$

$$\text{Dla } E_1 = E_2 \quad E_z = E_1 \quad r_w = r_{w1}/2$$



## 7. Twierdzenie Thevenina.

Twierdzenie Thevenina.

Dowolny układ można od strony zacisków AB zastąpić układem złożonym z idealnego źródła napięcia, o wartości napięcia panującego na zaciskach AB w stanie jałowym ( bez obciążenia) oraz z rezystancji zastępczej widzianej z zacisków AB (w stanie jałowym) po zwarcium wszystkich źródeł napięcia i rozwarciu wszystkich źródeł prądu.

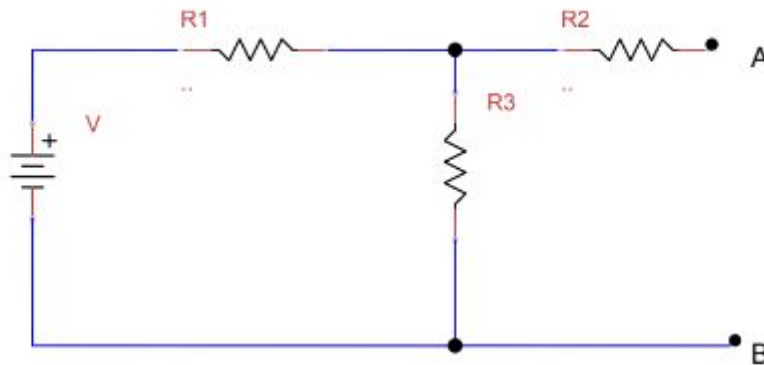
Twierdzenie Nortona.

Dowolny układ można od strony zacisków AB zastąpić układem złożonym z idealnego źródła prądu o prądzie źródłowym równym prądowi w gałęzi AB przy zwarcium zacisków AB oraz równolegle połączonej do niego rezystancji zastępczej układu widzianej od strony zacisków AB przy zwartych wszystkich źródłach napięcia i rozwartych źródłach prądu.

Przykład zastosowania twierdzenia Thevenina i Nortona.

Zad1.

Zastąpić układ elektryczny podany poniżej odpowiednim źródłem napięciowym zgodnie z twierdzeniem Thevenina wyznaczając  $E$  i  $r$  tego źródła, a także odpowiednim źródłem prądowym zgodnie z twierdzeniem Nortona wyznaczając  $I_z$  i  $r$  tego źródła.



$$\text{Dla źródła napięciowego: } E = \frac{V \cdot R_3}{R_1 + R_3} \quad r = R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}$$

$$\text{Dla źródła prądowego: } I_z = \frac{E}{r} \quad r = R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}$$

## 8. Pierwsze i drugie prawo Kirchhoffa do obliczania napięć i prądów w układach elektronicznych.

Pierwsze prawo Kirchhoffa.

Suma prądów wpływających do węzła sieci równa się sumie prądów wypływających z węzła sieci.

Drugie prawo Kirchhoffa.

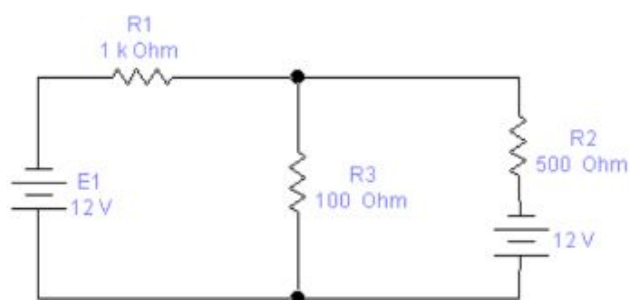
Suma napięć źródłowych w oczku sieci równa się sumie spadków napięć odbiornikowych w oczku sieci.

Zasada tworzenia układu równań Kirchhoffa. Jeżeli mamy  $m$  nieznanych wartości prądów to:

a) Dla sieci z  $n$  węzłami i  $m$  gałęziami tworzymy  $n-1$  równań na prądy w oczkach według I prawa Kirchhoffa.

Tworzymy  $m-(n-1)$  równań na napięcia w oczkach według II prawa Kirchhoffa.

Przykład 1.



Mamy  $m=3$  nieznane prądy:  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ . Mamy  $n=2$  węzły.

Tworzymy  $n-1=1$  równań na prądy oraz  $m-(n-1)=3-1=2$  równania na bilans napięć w oczkach.

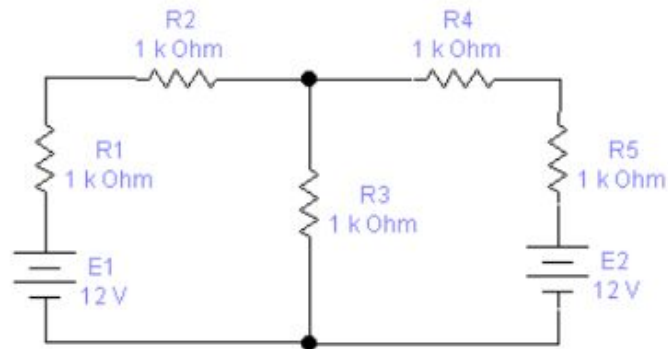
$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$E_1 = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_3$$

$$E_2 = I_2 \cdot R_3 - I_3 \cdot R_2$$

$I_1$ - jest prądem płynącym przez  $E_1$ ,  $I_2$  - jest prądem płynącym przez  $R_3$ ,  $I_3$ - jest prądem płynącym przez  $R_2$ . Rozwiązujemy ten układ równań znajdując wartości prądów  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ .

Przykład 2.



$$I_2 = I_1 + I_3$$

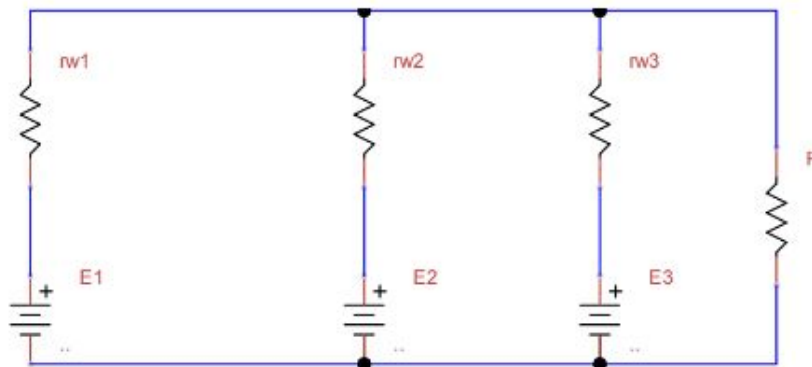
$$E_1 = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_3 + I_1 \cdot R_2$$

$$E_2 = I_3 \cdot R_5 + I_3 \cdot R_4 + I_2 \cdot R_3$$

$I_1$  - jest prądem płynącym przez  $E_1$ ,  $I_3$ - jest prądem płynącym przez  $E_2$ ,  $I_2$ - jest prądem płynącym przez  $R_3$ .

Przykład 3.

Obliczyć prądy w każdej gałęzi układu odpowiednio  $I_1, I_2, I_3$  oraz  $I$ .



Mamy  $m=4$  nieznanne prądy. Potrzebne są 4 równania. Mamy  $n=2$  węzły. Tworzymy  $n-1=1$  równań na prądy. Tworzymy  $m-1=3$  równania na napięcia w oczkach.

$$I_1 + I_2 + I_3 = I$$

$$E_1 - E_2 = I_1 \cdot rw1 - I_2 \cdot rw2$$

$$E_2 - E_3 = I_2 \cdot rw2 - I_3 \cdot rw3$$

$$E_3 = I_3 \cdot rw3 + I \cdot R$$

Dane liczbowe:  $E_1=E_2=E_3=6.24 \text{ V}$ ,  $rw1=0.2 \Omega$ ,  $rw2=0.3\Omega$ ,  $rw3=0.6\Omega$ ,  $R=2.5\Omega$ .

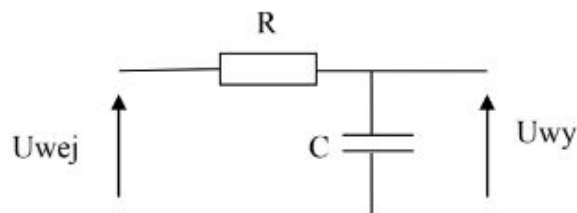
Odp.  $I=2.4 \text{ A}$ ,  $I_1=1.2\text{A}$ ,  $I_2=0.8\text{A}$ ,  $I_3=0.4\text{A}$ .

## 9. Układ R-C jako filtr dolnoprzepustowy. Charakterystyka częstotliwościowa amplitudy napięcia wyjściowego.

Moduł impedancji szeregowo połączonej rezystancji i kondensatora opisujący stosunek amplitudy napięcia przyłożonego do układu do amplitudy prądu płynącego przez układ dany jest wzorem:

$$|Z_{sr}| = \frac{U_0}{I_0} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 \cdot C^2}}$$

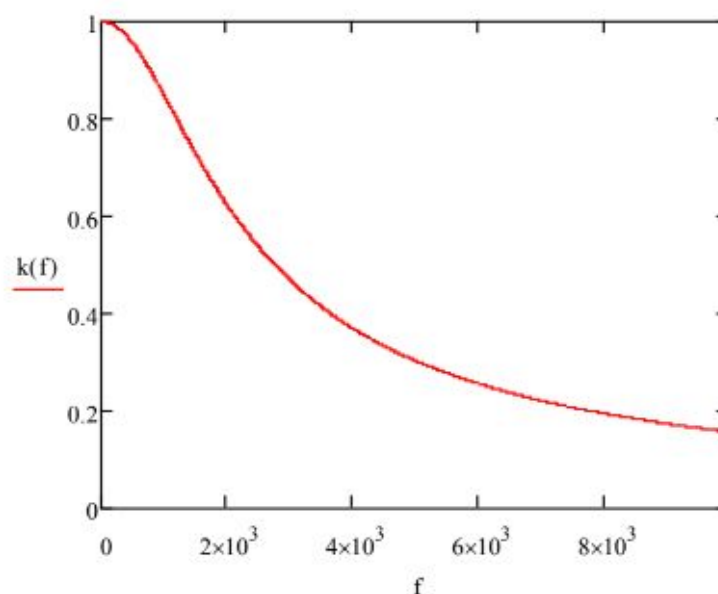
Filtr dolnoprzepustowy.



Tłumienie filtru,  $A = \frac{U_{wej}}{U_{wyj}}$        $A^2 = 1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2$        $\text{tg}(\varphi) = \omega \cdot R \cdot C$

$$U_{wyj} = \frac{U_{wej}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 \cdot C^2}}} \cdot \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{U_{wej}}{\sqrt{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2}} \quad k(f) = \frac{U_{wyj}}{U_{wej}}$$

gdzie  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 \cdot C^2}}$  nazywamy impedancją dwójnika szeregowego R-C.



Charakterystyka częstotliwościowa filtru dolnoprzepustowego.

,  $R=100 \, \Omega$ ,  $C=1 \, \mu\text{F}$ .  $f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = 1.6 \cdot 10^3 \, \text{Hz}$ ,  $k(f_0)=0.7$ .

Układ tego typu jest nazywany również układem całkującym.

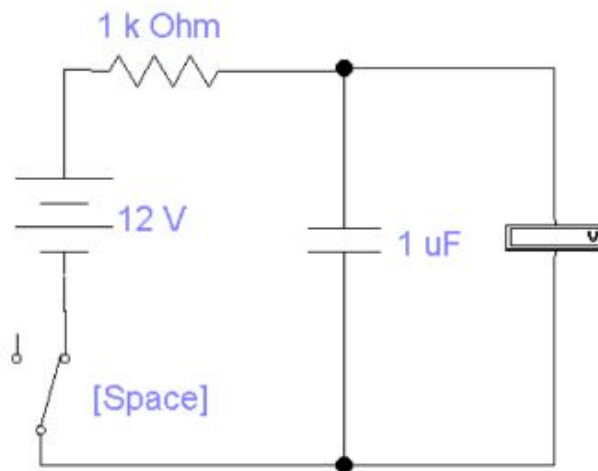
$$U_{wyj} = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \cdot \int i \cdot dt = \frac{1}{C} \cdot \int \frac{(U_{wej} - U_{wyj})}{R} \cdot dt \quad \text{jeżeli } U_{wyj} \ll U_{wej}$$

wtedy 
$$U_{wyj} = \frac{1}{R \cdot C} \cdot \int U_{wej} \cdot dt$$

### 10. Ładowanie i rozładowanie kondensatora przez rezystor. Zależność napięcia i prądu kondensatora od czasu ładowania i rozładowania.

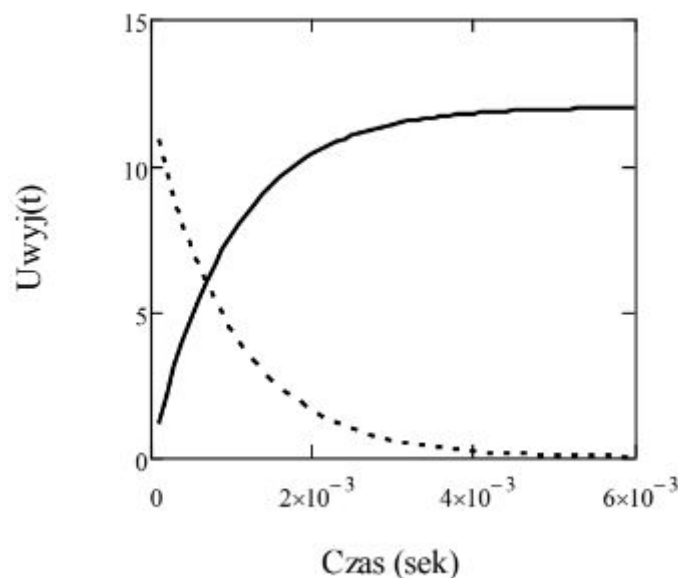
Dla układu R-C równanie przyjmuje postać:

$$U_o(t) = I(t) \cdot R + \frac{1}{C} \cdot \int I(t) \cdot dt$$



Gdy w stanie początkowym kondensator jest rozładowany to po zamknięciu obwodu przełącznikiem kondensator zacznie się ładować i napięcie na nim będzie wzrastało zgodnie z zależnością poniżej. Stała czasowa układu  $\tau$  wynosi:  $\tau = R \cdot C$ .

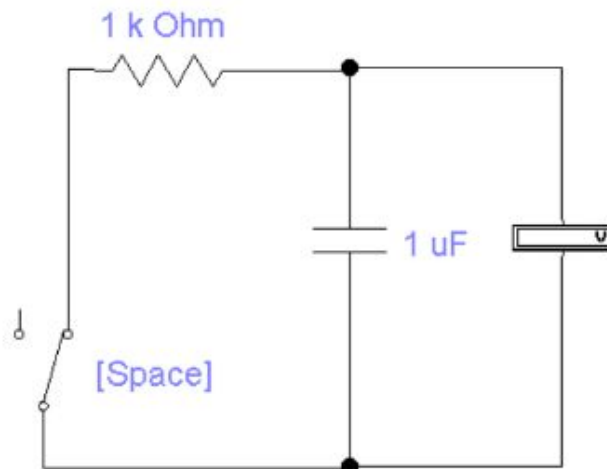
$$U_{wyj} = U_{wej} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{R \cdot C}\right)\right)$$



Krzywa ładowania kondensatora t.j.  $U(t)$  - linia ciągła. Linia przerywana -  $I(t)$  zależność prądu ładowania od czasu dana wzorem gdzie początkowy prąd ładowania wynosi 12 mA:

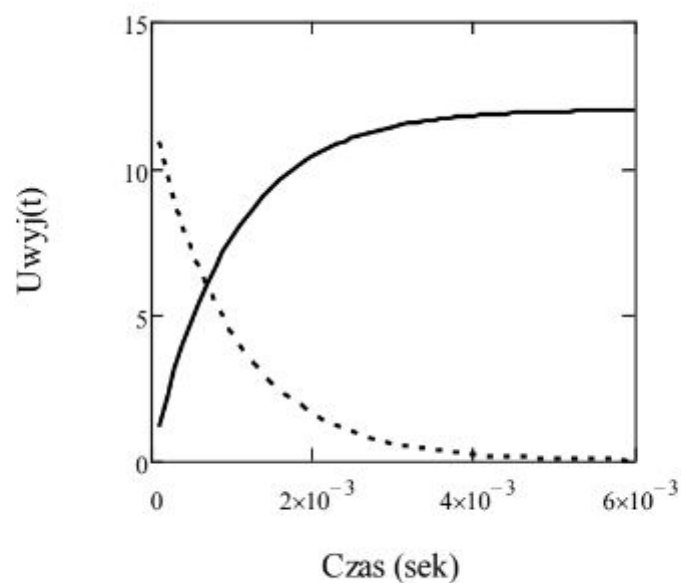
$$I(t) = \frac{U_0}{R} \cdot \exp\left(-\frac{t}{R \cdot C}\right)$$

Gdy naładowany kondensator będziemy rozładowywać przez rezystor to napięcie na nim będzie zmieniało się zgodnie z zależnością poniżej.



$$U(t) = U_0 \cdot \exp\left(\frac{-t}{R \cdot C}\right)$$

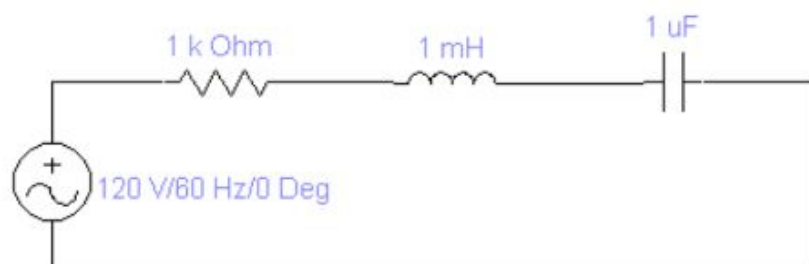
Prąd rozładowania:  $I(t) = U(t)/R$



Krzywa rozładowania  $U(t)$  - linia przerywana. Linia ciągła - krzywa ładowania  $U(t)$ .

## 11. Układ szeregowy R-L-C. Moduł impedancji układu i jego częstotliwość rezonansowa.

Układ szeregowy rezonansowy przedstawiono na rysunku poniżej.



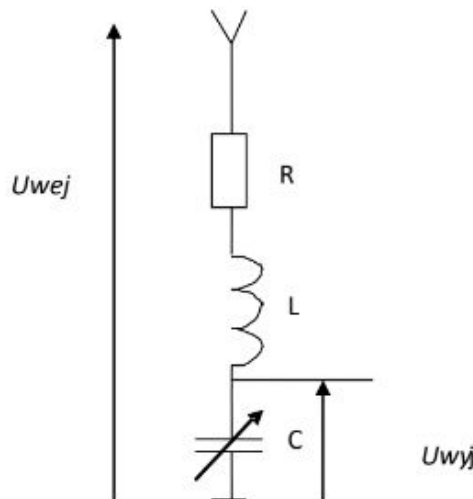
Dla tak podanych parametrów szeregowego układu rezonansowego policz amplitudę prądu płynącego w obwodzie ze wzoru (1) oraz oblicz maksymalną wartość prądu dla częstotliwości rezonansowej.

Częstotliwość rezonansowa układu dana jest wzorem:  $\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}$ , z której to zależności wynika wzór na częstotliwość rezonansową:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Oblicz częstotliwość rezonansową układu podanego na rysunku powyżej.

Odp.  $5.032 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 5.032 \text{ kHz}$ .



Dla układu szeregowego RLC gdy amplituda napięcia wynosi  $U_0$  amplituda prądu  $I_0$  dana jest wzorem:

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}} \quad (1)$$

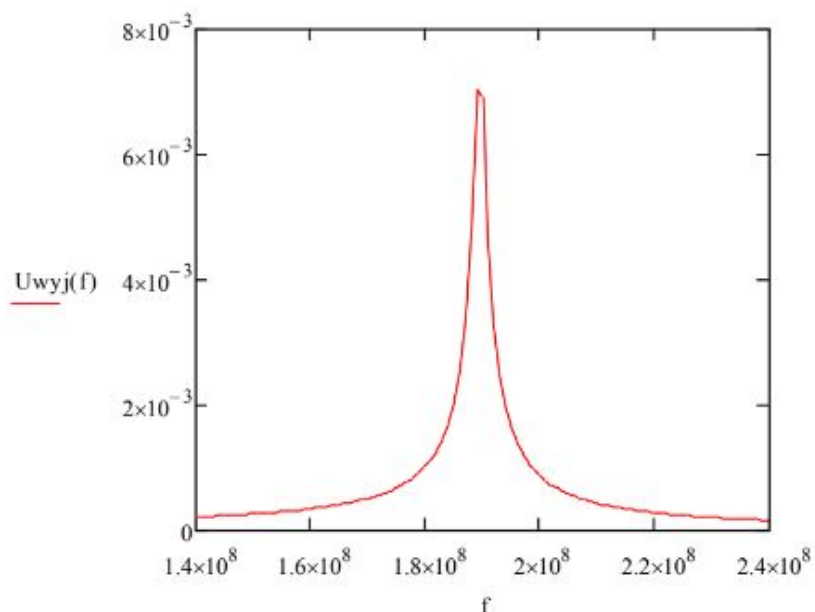
gdzie  $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$  jest impedancją szeregową dwójnika szeregowego R-L-C.



Amplituda napięcia wyjściowego  $U_0$  dana jest wzorem:

$$U_{wyj} = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - 1/\omega \cdot C)^2}} \cdot \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (2)$$

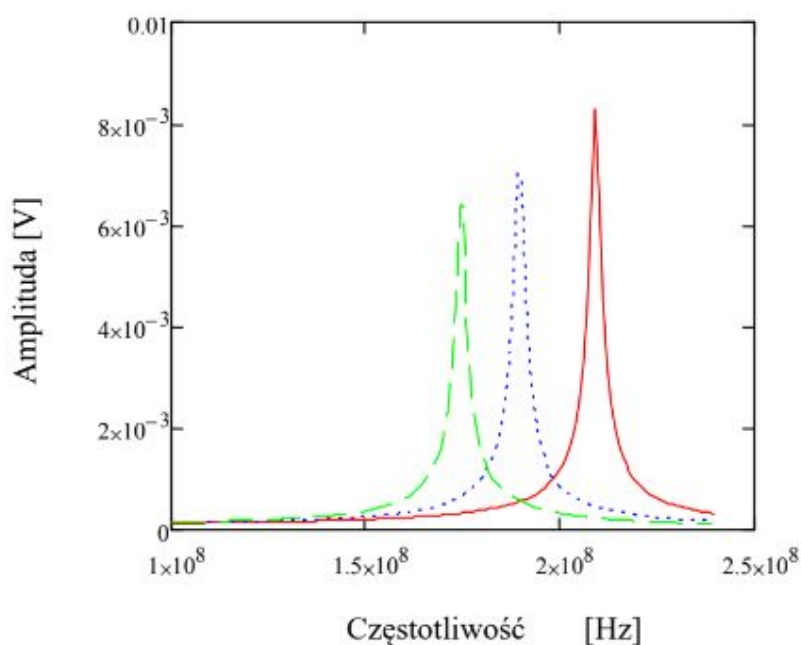
Dane przyjęte do obliczeń:  $U_{wej}=100 \cdot 10^{-6} \text{ V}=100 \text{ } \mu\text{V}$ ,  $L=1.26 \cdot 10^{-6} \text{ H}$ ,  $R=20 \text{ } \Omega$ ,  $C=0.56 \cdot 10^{-12} \text{ F}$ .



Krzywa rezonansowa szeregowego układu R-L-C.

Dla  $C=0.56 \cdot 10^{-12} \text{ F}$  Wzmocnienie napięciowe jest rzędu 70.

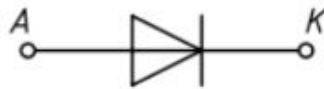
Przykład. Dla parametrów podanych wyżej policzyć ze wzoru częstotliwość rezonansową układu szeregowego oraz wzmocnienie napięciowe dla tej częstotliwości rezonansowej.



$U_{wej}=100 \cdot 10^{-6} \text{ V}$ ,  $C=0.66 \cdot 10^{-12} \text{ F}$ ,  $0.56 \cdot 10^{-12} \text{ F}$ ,  $0.46 \cdot 10^{-12} \text{ F}$

## 12. Budowa i zasada działania diody p-n. Charakterystyka I(V) diody. Rodzaje diod.

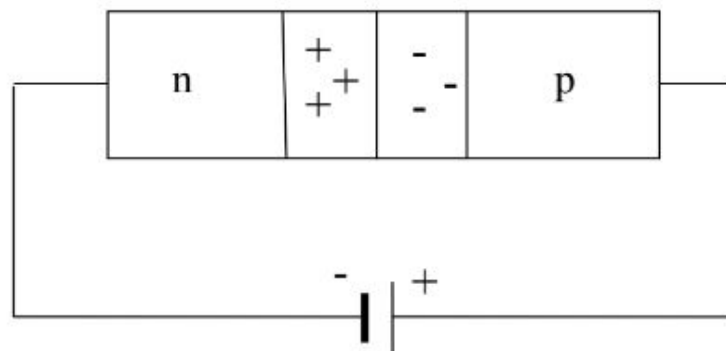
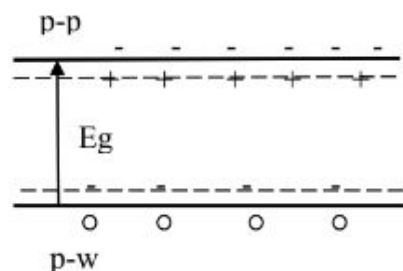
Dioda prostownicza powstaje przez połączenie półprzewodnika typu n i półprzewodnika typu p. Półprzewodnik typu n powstaje przez domieszkowanie półprzewodnika donorami. Półprzewodnik typu p powstaje przez domieszkowanie półprzewodnika akceptorami.



Rys. Symbol diody.

Półprzewodniki samoistne i domieszkowane typu n i typu p. Kryształ krzemu domieszkowany fosforem staje się półprzewodnikiem typu n, a domieszkowany borem staje się typu p. Donory dostarczają swobodne elektrony do pasma półprzewodnictwa. Akceptory dostarczają dziury do pasma walencyjnego. Zjonizowane atomy donorowe są naładowane dodatnio. Zjonizowane atomy akceptorowe są naładowane ujemnie.

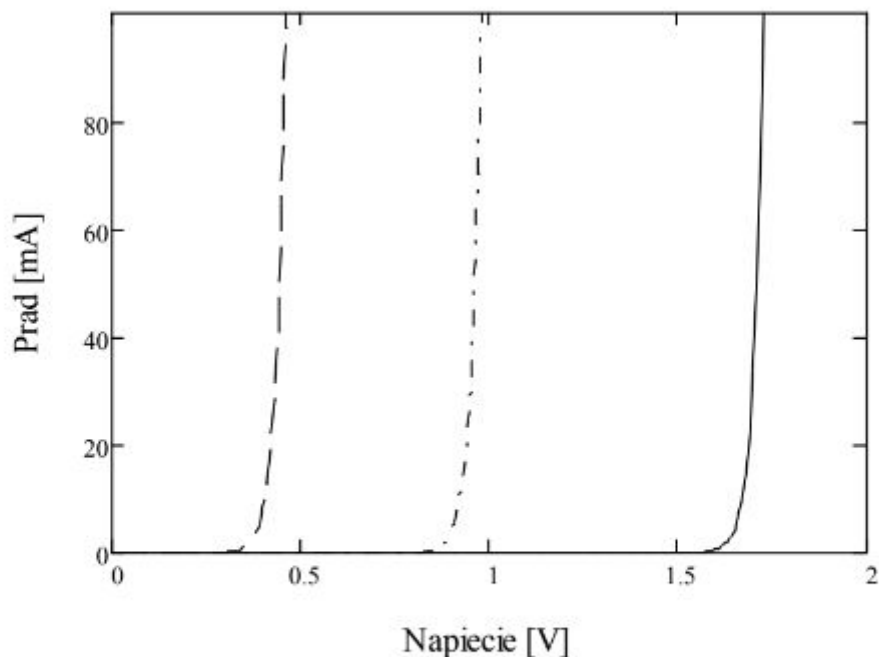
Struktura pasmowa półprzewodników. Poziomy donorowe i akceptorowe.



Prąd płynący przez diodę dany jest wzorem:

$$I = I_G \cdot \left( \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right)$$

O wartości prądu przewodzenia decyduje wartość  $I_G$ . Wartość ta zależy od wielkości przerwy energetycznej półprzewodnika.



$I_G = 10^{-28} \text{ A}$  (linia ciągła),  $I_G = 10^{-15} \text{ A}$  (linia kreska kropka),  $I_G = 10^{-6} \text{ A}$  (linia przerywana).

Dla diody krzemowej  $V_f = 0.65 \text{ V}$  i  $I_G = 5 \cdot 10^{-14} \text{ A}$ .

Diody można podzielić ze względu na funkcje na:

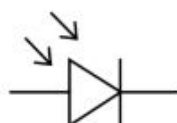
- a) diody uniwersalne krzemowe - małe napięcia i prądy.
- b) diody prostownicze - do prostowania prądu przemiennego w układach zasilania. Duże napięcia wsteczne i duże prądy dopuszczalne. Mała częstotliwość pracy.
- c) diody impulsowe. Krótki czas przełączania przy zmianie polaryzacji między kierunkiem zaporowym i przewodzenia.
- d) diody pojemnościowe - zmienna pojemność sterowana napięciem.



e) diody LED - emitujące promieniowanie w zakresie widzialnym i podczerwonym przy polaryzacji w kierunku przewodzenia.



f) fotodiody - przewodzące prąd w kierunku zaporowym w wyniku oświetlenia złącza p-n światłem.



f') fotoogniwo

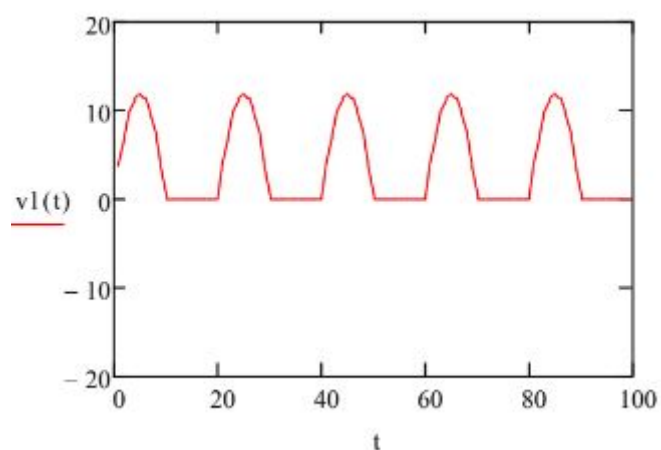
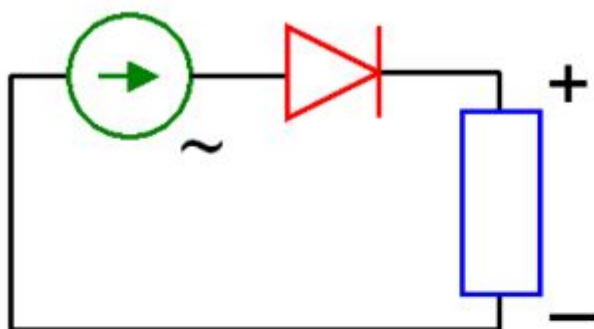


g) diody Zenera - mające określone napięcie przebicia w kierunku zaporowym, wykorzystywane w układach stabilizacji napięcia.

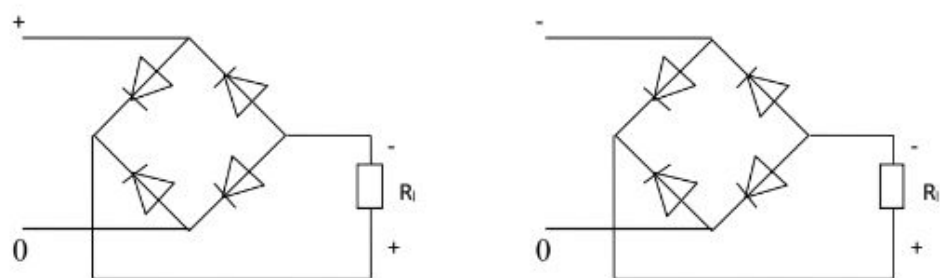


### 13. Zastosowanie diod w układach elektronicznych.

a) Prostownik jedno połówkowy.

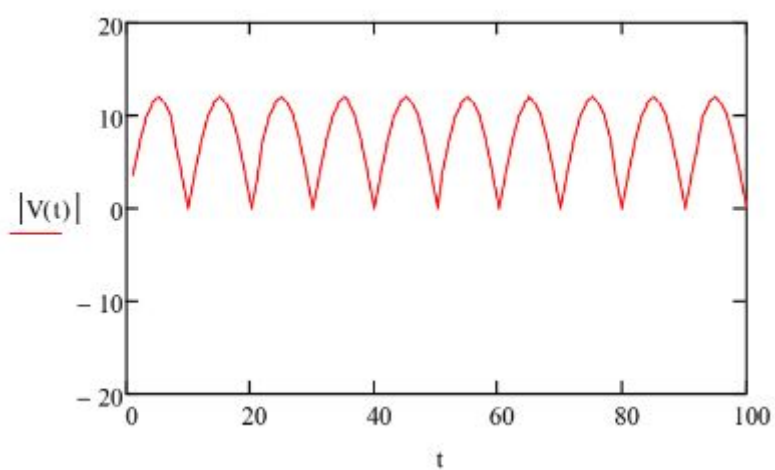
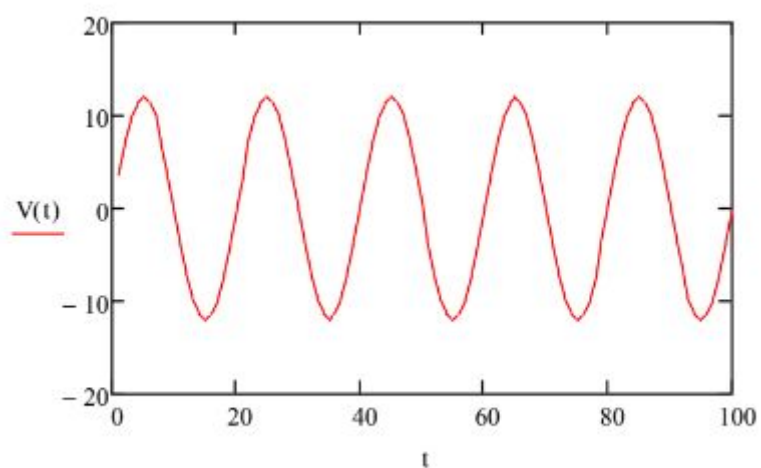


b) Prostownik dwupołkowy – mostek Graetza.



Pokazać kierunek przepływu prądu przez diody przy obu polaryzacjach napięcia zasilającego.

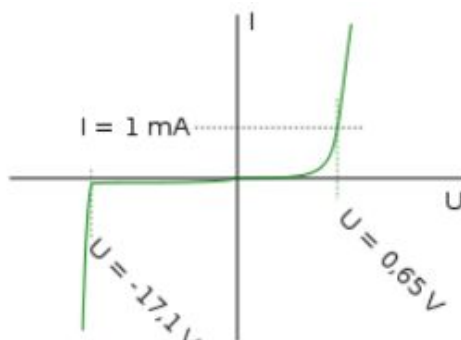
Przebieg napięcia wejściowego i wyjściowego przyjmuje postać:



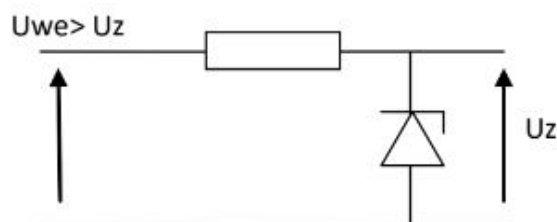
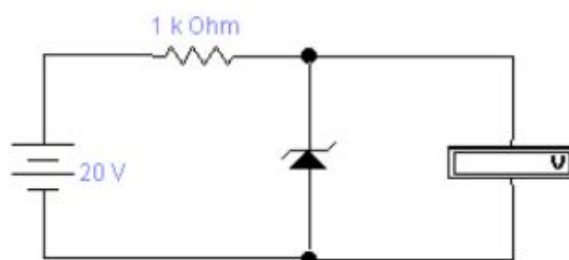
a) Stabilizator napięcia.



Symbol diody Zenera

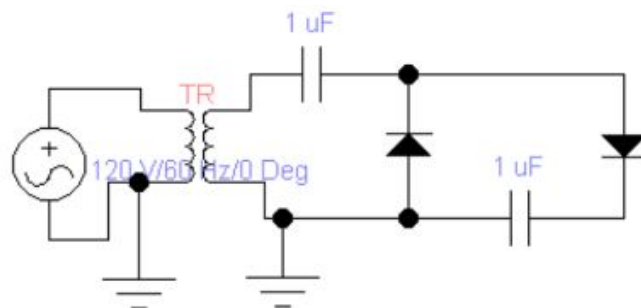


Charakterystyka I-V diody Zenera.



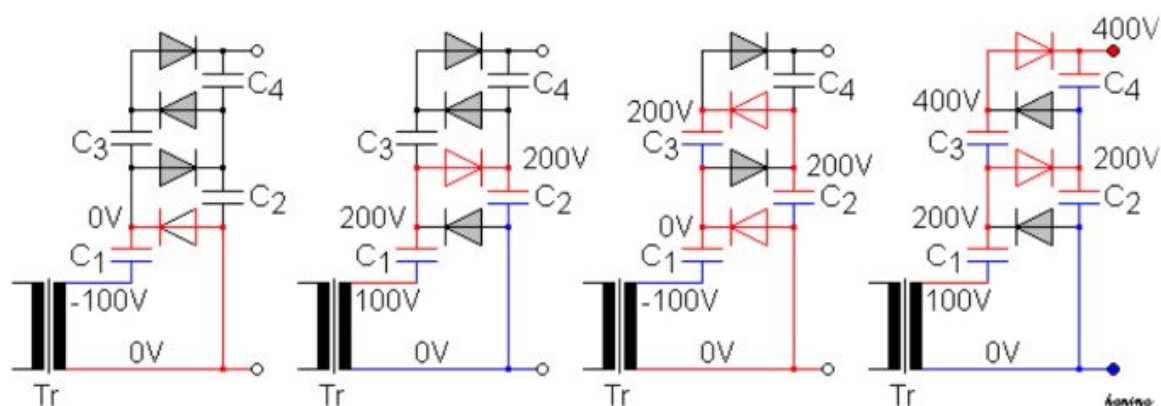
Dioda Zenera pracuje przy polaryzacji w kierunku zaporowym. W tym przypadku dla  $U=20\text{V}$  i dla  $U_z=17\text{V}$  przez diodę płynie prąd 3 mA i napięcie na diodzie wynosi 17V niezależnie od zmian napięcia źródła o ile napięcie będzie większe od 17V. Dioda stabilizuje napięcie układu za diodą.

b) Powielacz napięcia (podwajacz napięcia).

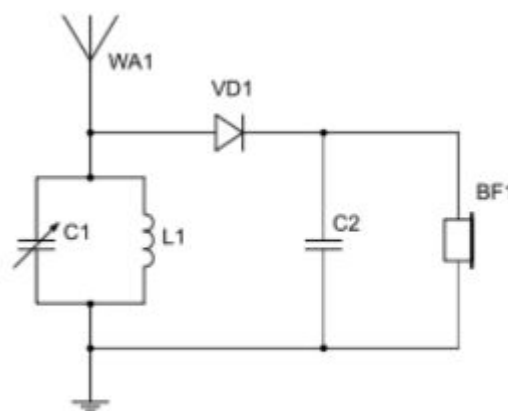


Pytanie: Między jakimi punktami obwodu napięcie będzie miało wartość stałą 240V?

Najczęściej spotykane powielacze mają budowę kaskady Villarda. Dołączając kolejne segmenty analogiczne do układu  $C_1-D_1-C_2-D_2$  można teoretycznie uzyskać napięcie wyjściowe będące dowolną wielokrotnością napięcia wejściowego. W praktyce spotyka się układy powielające od dwóch do dwudziestu razy.



c) Detektor amplitudy



Układ ten stosuje się w układach odbiorczych z modulacją amplitudy.

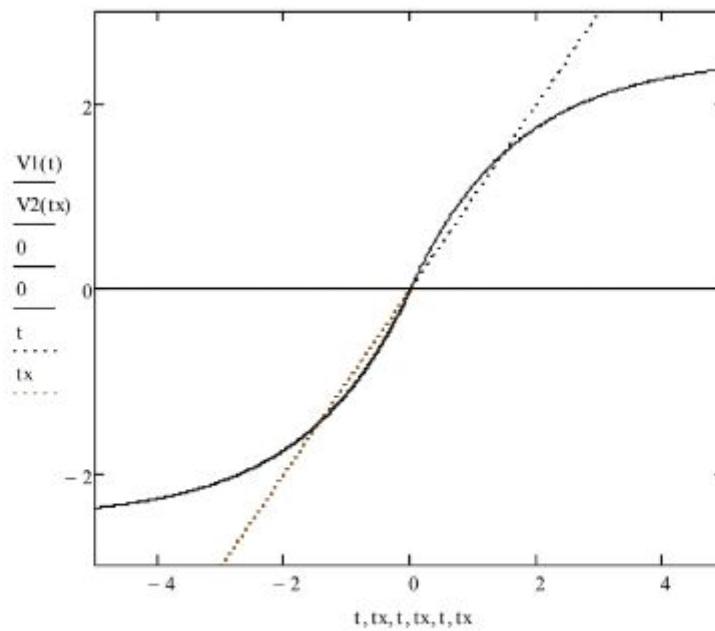
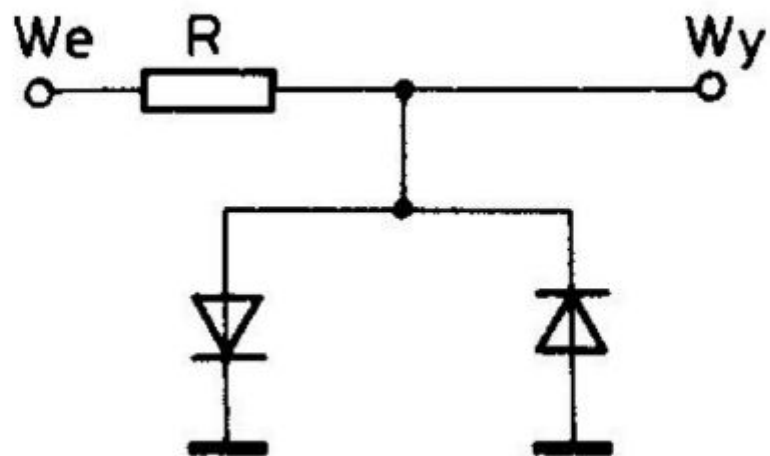
Sygnał wyjściowy na BF1 jest obwiednią wyprostowanego sygnału antenowego.

Zadanie: Podać przebiegi sygnałów na wejściu i na wyjściu układu detektora amplitudy.



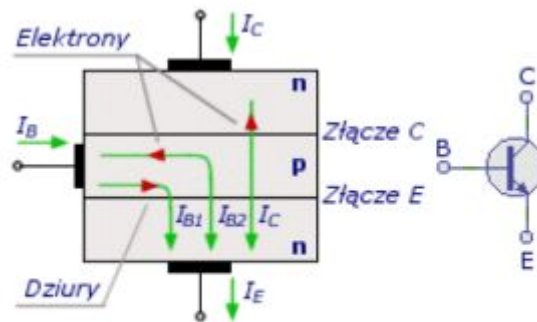
d) Ogranicznik napięcia dla napięć stałych i przemiennych.

Układ oraz charakterystyka wyjściowa.

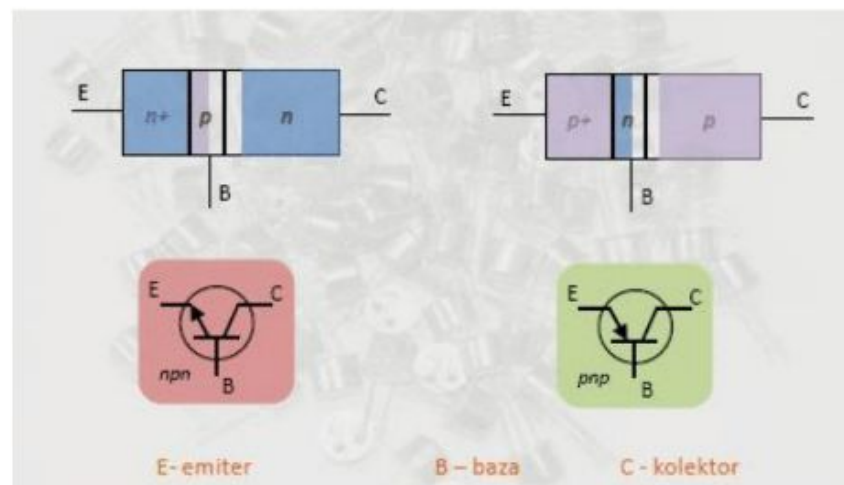


Maksymalnym napięciem wyjściowym jest napięcie przewodzenia diody  $U_F=2.5$  V.

## 14. Tranzystor bipolarny n-p-n. Budowa, zasada działania i podstawowe charakterystyki.



Rys. Budowa tranzystora n-p-n.



Budowa tranzystorów npn oraz pnp.

Polaryzacja tranzystorów npn i pnp.

NPN (C+, B+, E 0). PNP (C-, B -, E 0)

Jak wygląda rzeczywista struktura tranzystorowa?

(rysunek)

Zasada pracy tranzystora.

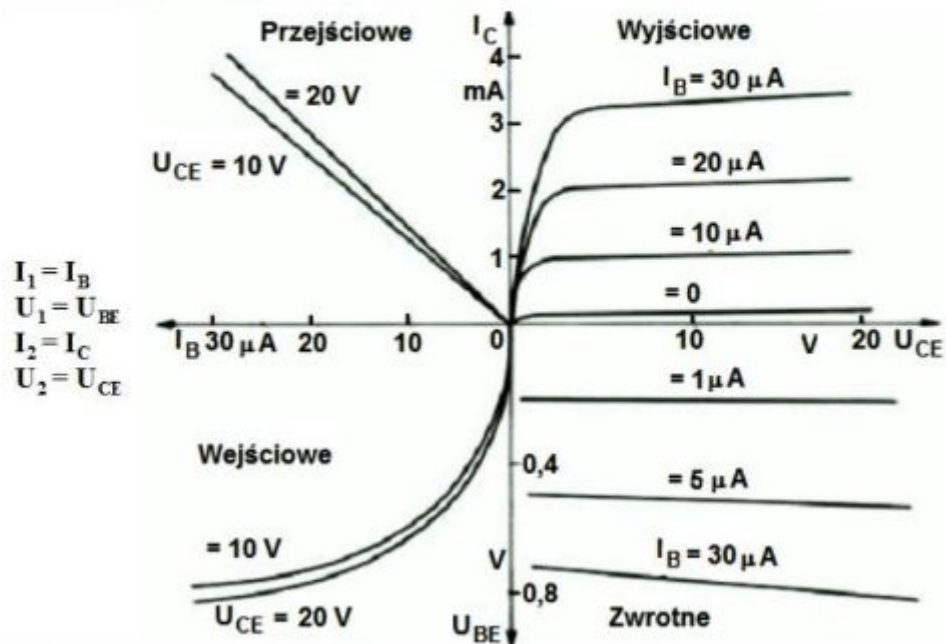
Podstawowym parametrem tranzystora jest wzmocnienie prądowe  $\beta$  związane z parametrem  $\alpha$ . Co to jest  $\alpha$ ?

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha \cdot I_E}{(1 - \alpha) \cdot I_E} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

Przykład. Jeżeli  $\alpha=0.95$  to ile wynosi wzmacnienie prądowe  $\beta$  ? Odp.  $\beta=19$ .

Jeżeli  $\beta=120$  to ile wynosi  $\alpha$ ? Odp.  $\alpha=0.9917$ .

Charakterystyki tranzystora bipolarnego.



Charakterystyki tranzystora bipolarnego.

### 15. Do budowy jakich układów wykorzystuje się tranzystory bipolarne? Układy pracy tranzystorów bipolarnych.

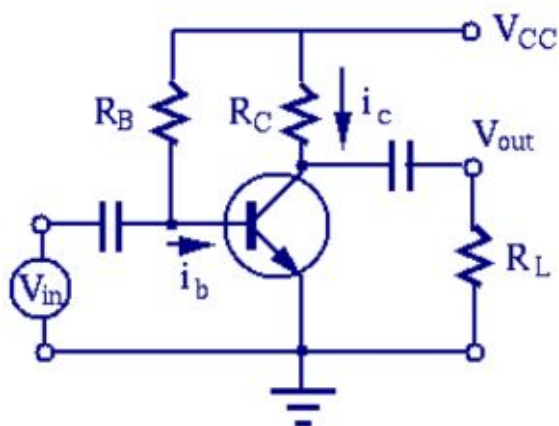
Układy pracy tranzystorów bipolarnych. Zależnie od doprowadzenia i wyprowadzenia sygnału rozróżniamy trzy sposoby włączenia tranzystora do układu:

- układ ze wspólnym emiterem *OE* (*WE*),
- układ ze wspólną bazą *OB* (*WB*),
- układ ze wspólnym kolektorem *OC* (*WC*).

Tranzystor pracujący w układzie *OE* charakteryzuje się:

- dużym wzmacnieniem prądowym ( $\beta = I_C/I_B$ ),
- dużym wzmacnieniem napięciowym,
- dużym wzmacnieniem mocy.
- Napięcie wyjściowe w układzie *OE* jest odwrócone w fazie o  $180^\circ$  w stosunku do napięcia wejściowego. Rezystancja wejściowa jest rzędu kilkuset  $\Omega$  a wyjściowa wynosi kilkadziesiąt  $k\Omega$ .

### Tranzystor w układzie OE.



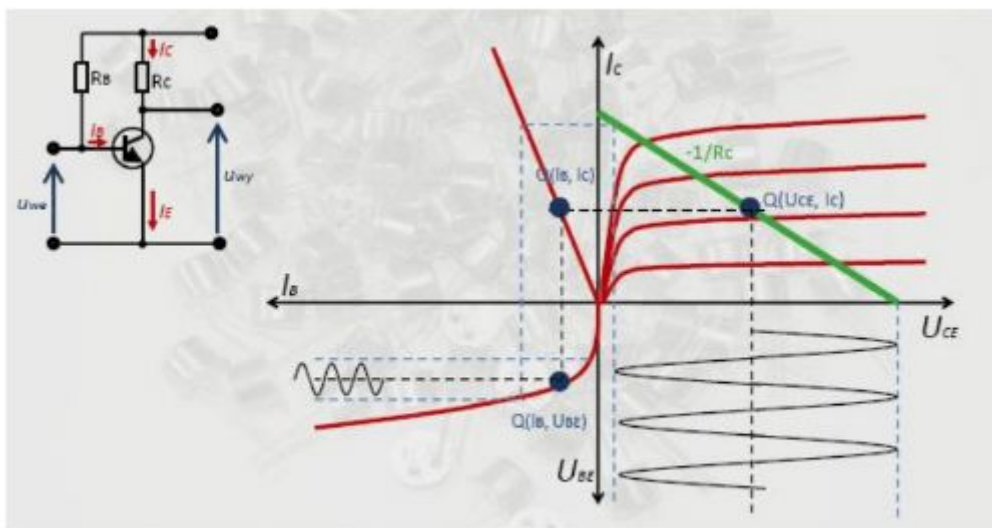
Jak policzyć wzmocnienie napięciowe takiego układu?

Transkonduktancja  $g_m = \frac{\partial I_C}{\partial U_{BE}} = \frac{I_C mA}{25mV}$ . Zilustrować na wykresie transkonduktancję!

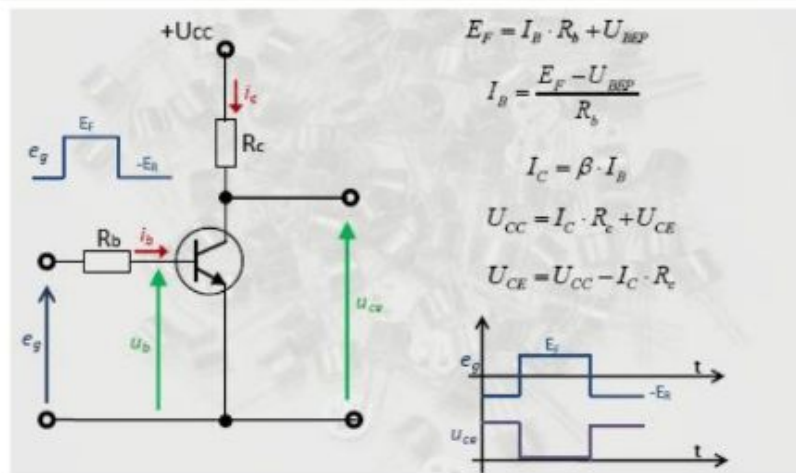
$$\text{Wzmocnienie napięciowe } k = g_m \cdot R_C \quad k_u = \frac{\beta \cdot (U_{cc} - 0.65) \cdot R_C}{25mV \cdot R_b}$$

Ponieważ:  $I_B = (V_{cc} - 0.65) / R_B$ ,  $I_C = \beta \cdot I_B$ . Napięcie stałe na kolektorze  $U_c = U_{cc} - I_C \cdot R_C$ .

Przykład: Policzyc punkt pracy oraz wzmozczenie napięciowe tego układu gdy:  $\beta=10$ ,

 $R_C = 5 \text{ k}\Omega$ ,  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ,  $R_B = 100 \text{ k}\Omega$ .  $I_C = ?$ 
$$\text{Odp. } k_u = 87, U_C = 2.175 \text{ V.}$$


### Charakterystyki prądowo napięciowe tranzystora w układzie OE.



Sposób obliczania napięcia  $U_{CE}$  w układzie klucza tranzystorowego.

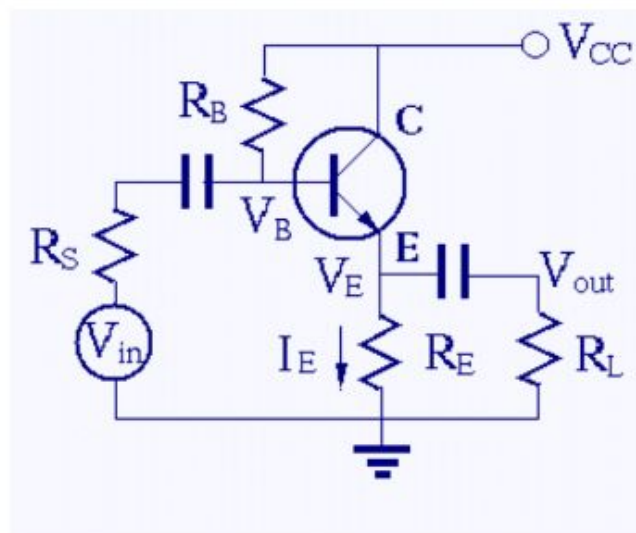
Tranzystor pracujący w układzie *OB* charakteryzuje się:

- małą rezystancją wejściową,
- bardzo dużą rezystancją wyjściową,
- wzmacnienie prądowe blisko jedności ( $\alpha = I_C / I_E$ ).

Tranzystor pracujący w układzie *OC* charakteryzuje się:

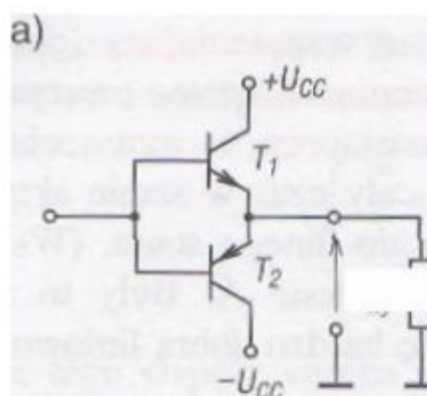
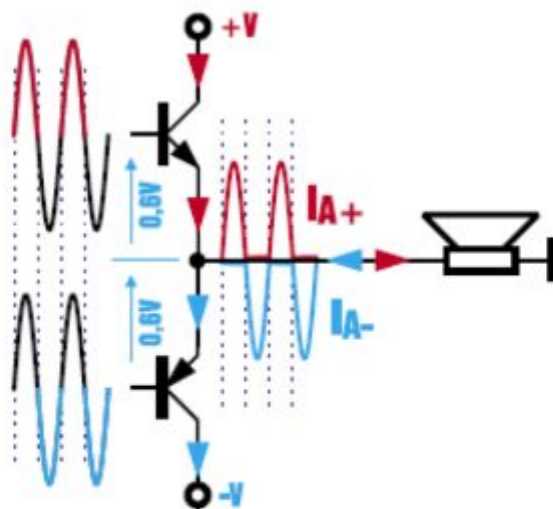
- dużą rezystancją wejściową – co ma istotne znaczenie we wzmacniaczach małej częstotliwości, mała rezystancja wyjściowa
- wzmacnieniem napięciowym równym jedności,
- dużym wzmacnieniem prądowym ( $\beta + 1 = I_E / I_B$ ).

Układ pracy OC (wtórnika napięcia).



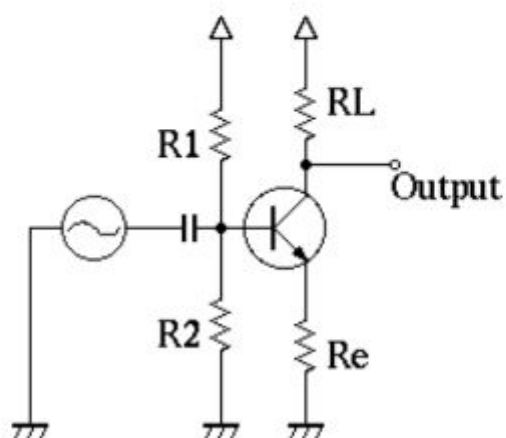
Układ taki ma wzmacnienie napięciowe  $k_u = 1$  ale małą rezystancję wyjściową.

Zastosowanie: w stopniach wyjściowych wzmacniaczy klasy b.



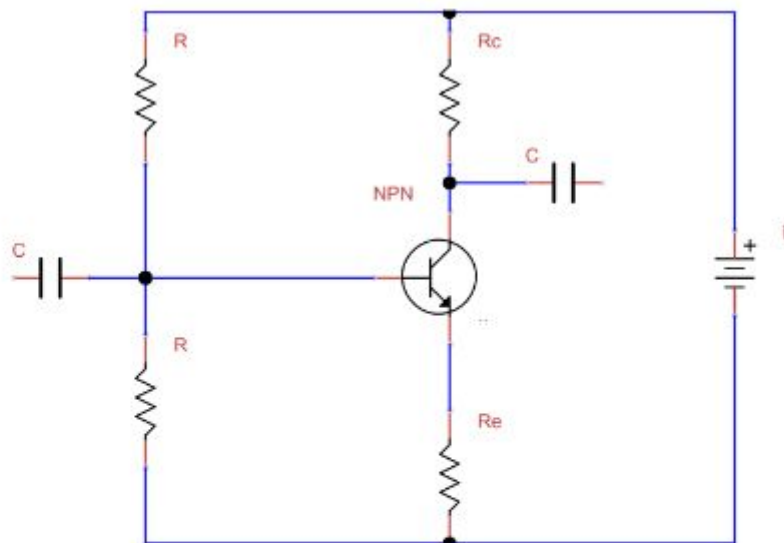
Wzmacniacze tranzystorowe.

Przykładowy schemat wzmacniacza napięciowego w układzie wspólnego emitera.



Jakie będzie wzmocnienie napięciowe tego wzmacniacza?

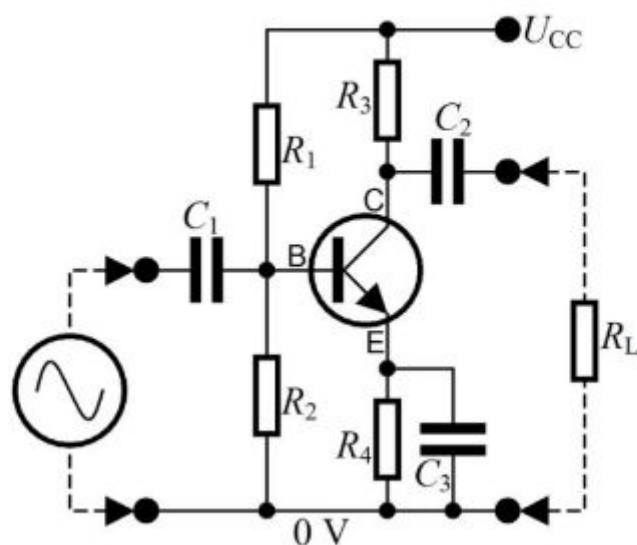




Wzmocnienie napięciowe  $k_u = \frac{R_c}{R_e}$

$r_d$  jest rezystancją dynamiczną złącza baza emiter  $r_d = \frac{25(mV)}{I_e(mA)}$

$$\Delta I_e = \frac{\Delta U_b}{R_e + r_d} \approx \frac{\Delta U_b}{R_e} \quad \Delta U_c = \Delta I_e \cdot R_c = \frac{\Delta U_b \cdot R_c}{R_e} \quad k_u = \frac{\Delta U_c}{\Delta U_b} = \frac{R_c}{R_e}$$



Jakie będzie wzmocnienie napięciowe tego wzmacniacza?

**Przykład.**

Obliczyć wzmocnienie napięciowe  $k_u$  oraz napięcie wyjściowe wzmacniacza tranzystorowego podanego poniżej.



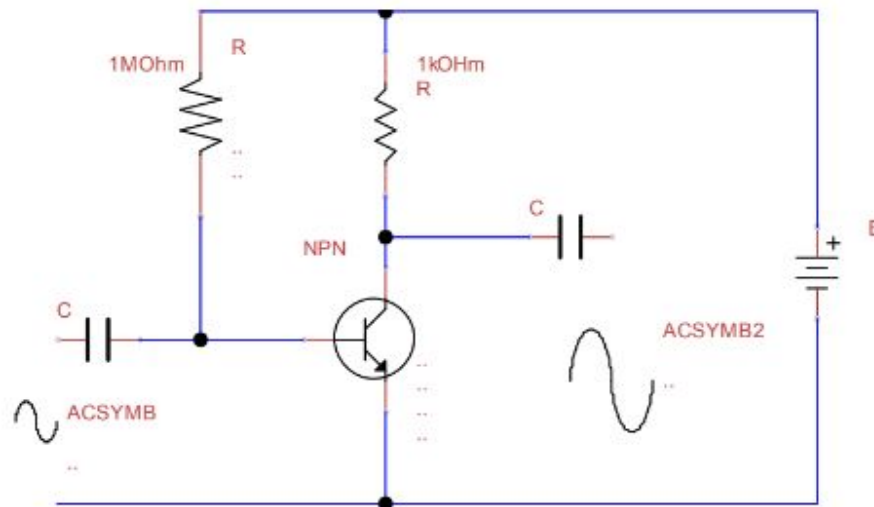
Dane.  $E=10V$ ,  $R_c=1k\Omega$ ,  $R_B=1M\Omega$ ,  $U_{wej}=1mV$ ,  $\beta=100$ ,  $g_m=I_c/V_T$ ,  $V_T=25mV$ .

Rozwiązanie.

$$I_B = (E - U_{BE}) / R_B = (10 - 0.65) / 1M\Omega \approx 10\mu A.$$

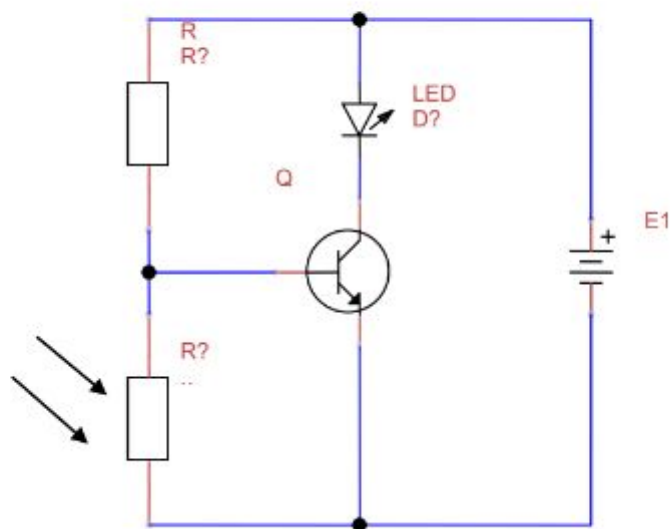
$$I_C = I_B \cdot \beta = 100 \cdot 10\mu A = 1mA. \quad g_m = I_C / V_T = 1mA / 25mV, \quad k_u = g_m \cdot R_c = (1mA \cdot 1k\Omega) / 25mV = 40.$$

Odp. Wzmocnienie napięciowe wynosi 40. Napięcie wyjściowe wynosi  $40 \cdot 1mV = 40mV$ .

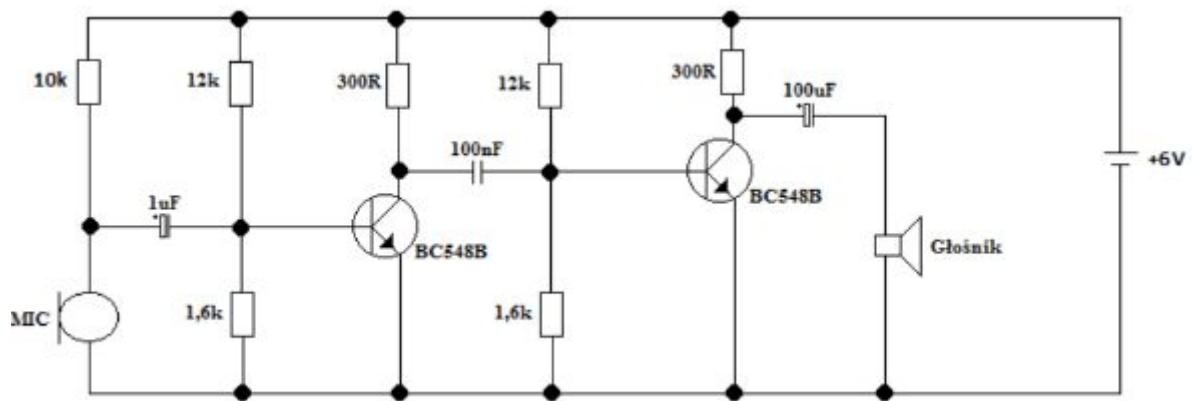


Przykładowe zastosowania tranzystorów.

Układy optoelektroniczne np. czujnik zmierzchowy. Jak działa ten układ?



## Prosty wzmacniacz akustyczny.

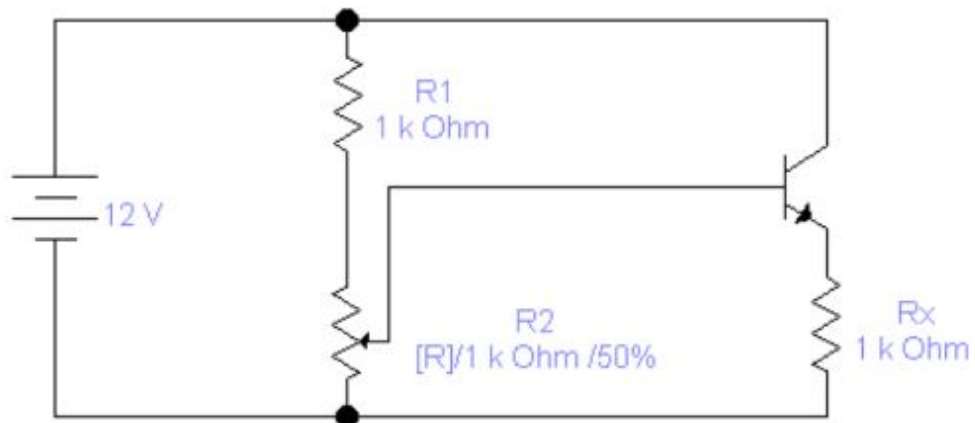
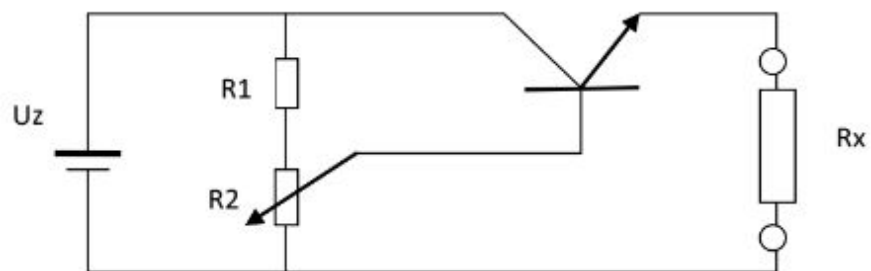


## 25. Zastosowania tranzystorów bipolarnych - inne.

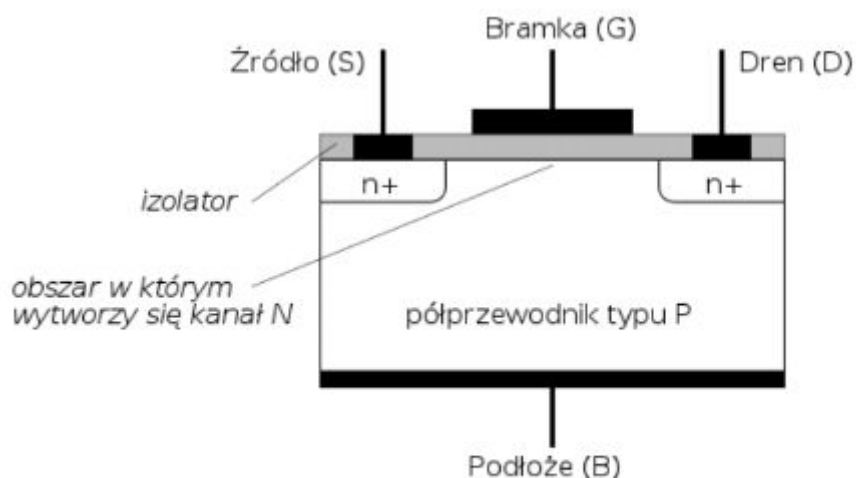
Generatory przebiegów prostokątnych, generatory przebiegów sinusoidalnych, wzmacniacze mocy, wzmacniacze napięcia, układy cyfrowe- bramki, przerzutniki, klucze elektroniczne, zasilacze prądowe i napięciowe.

## 16. Źródło napięciowe zbudowane na tranzystorze npn.

a) źródło napięciowe na tranzystorze npn.



## 17. Tranzystory MOSFET. Budowa, zasada działaniai podstawowe charakterystyki.

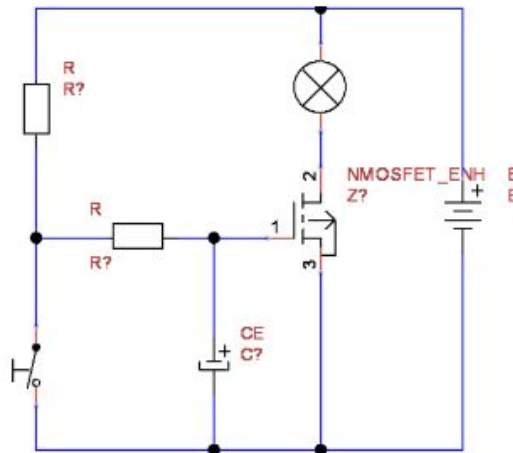


Schemat budowy tranzystora MOSFET.

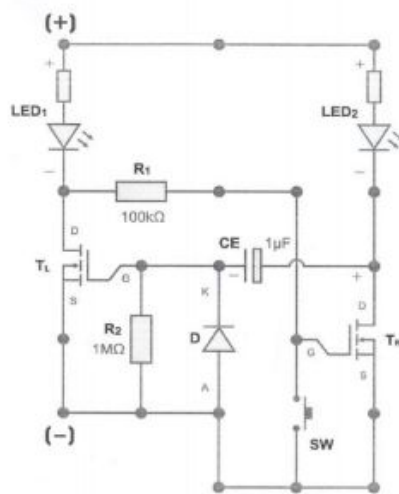
Charakterystyki przejściowe i wyjściowe tranzystorów MOSFET.

Rodzaj tranzystora MIS	Symbol graficzny	Charakterystyka przejściowa	Charakterystyka wyjściowa
Kanał zubożany typu N			
Kanał wzbogacany typu N			
Kanał zubożany typu P			
Kanał wzbogacany typu P			

## Przykłady zastosowań tranzystorów MOSFET.

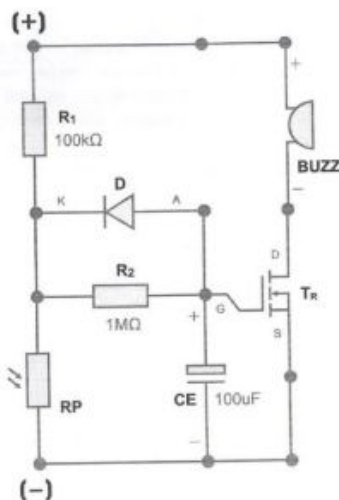


Układ opóźnionego włączania i wyłączania oświetlenia.



W stanie trwałym świeci LED2. Po włączeniu przycisku świeci LED1 przez ustalony czas.

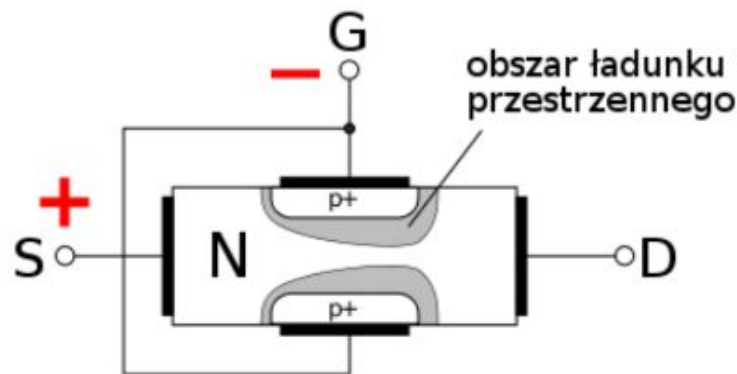
Zabawki elektroniczne np. Nocny dręczyciel.



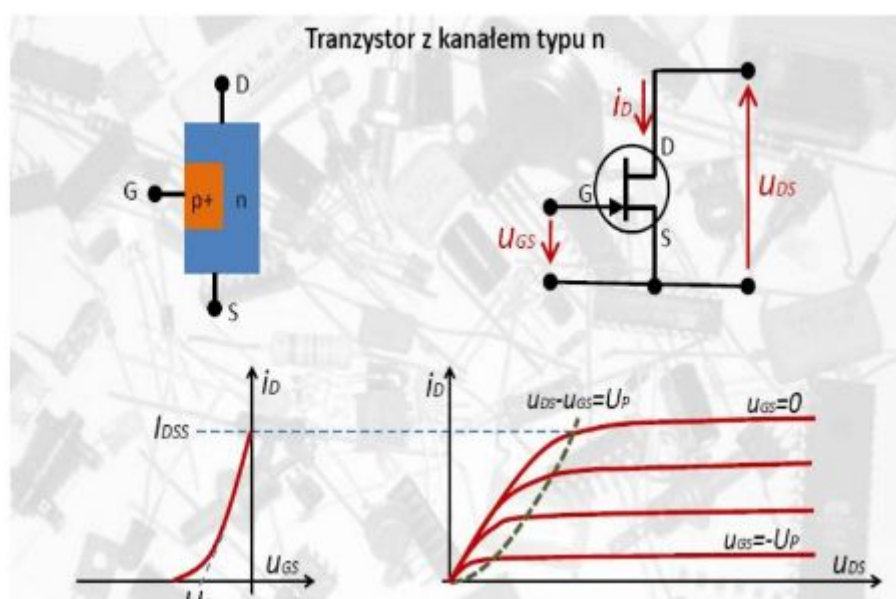
Po zgaszeniu światła po pewnym czasie zaczyna bzyceć bzyceć. Po włączeniu światła bzycecie ustaje natychmiast.

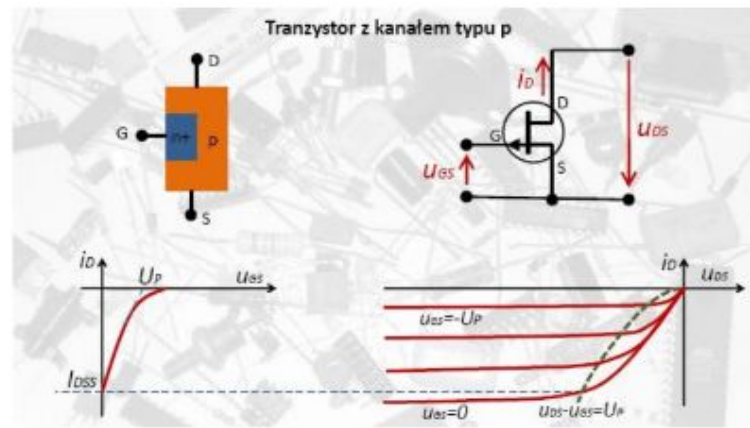
## 18. Tranzystor JFET. Budowa, zasada działania i podstawowe charakterystyki.

Rysunek schematyczny budowy tranzystora JFET.

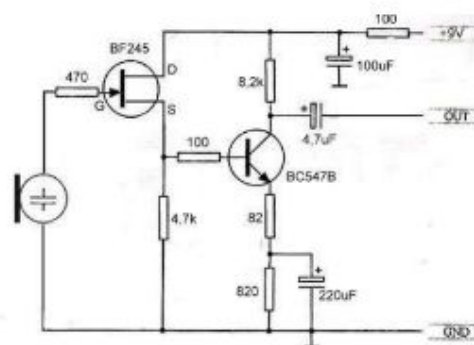


Tranzystor polowy złączowy, JFET (ang. *Junction Field-Effect Transistor*) – jest jednym z rodzajów tranzystorów polowych. Tranzystor taki składa się z warstwy półprzewodnika typu N (tranzystor z kanałem typu N) lub typu P (tranzystor z kanałem typu P) oraz wdyfundowanej w nią, silnie domieszkowanej warstwy półprzewodnika przeciwnego typu (odpowiednio p+ i n+). Tak więc w tranzystorze tworzone jest złącze p-n. Na zewnątrz obudowy wyprowadzone są trzy końcówki: **dren**, **źródło** oraz **bramka**. Tranzystor polaryzuje się tak, ażeby nośniki większościowe (dziury w tranzystorach typu P, elektrony w tranzystorach typu N) przepływały od źródła do drenu. Natomiast złącze bramka-źródło polaryzuje się zaporowo. Gdy napięcie bramka-źródło ( $U_{GS}$ ) jest równe zero, wówczas nośniki większościowe płyną bez przeszkód - prąd dla danego napięcia dren-źródło ( $U_{DS}$ ) osiąga wartość maksymalną oznaczaną symbolem  $I_{DSS}$ . Gdy natomiast napięcie bramka-źródło zacznie rosnąć (a dokładniej jego wartość bezwzględna), wówczas w złączu p-n, które jest spolaryzowane zaporowo pojawi się **obszar ładunku przestrzennego** (obszar zubożony). Obszar ten wnika w kanał, a że praktycznie nie ma w nim swobodnych nośników (charakteryzuje się bardzo dużą rezystancją), toteż czynny przekrój kanału zmaleje. Efektem tego jest zwiększenie rezystancji kanału, a więc ograniczenie prądu dren-źródło.



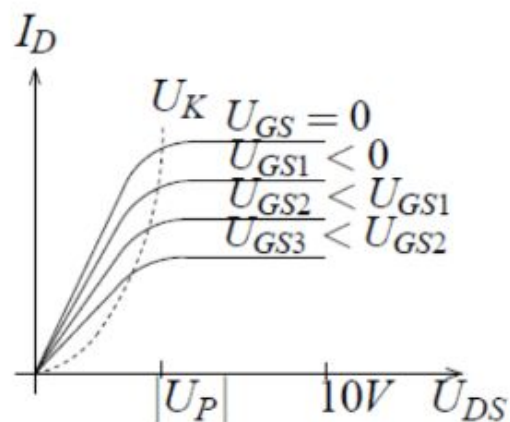


Przykład wykorzystania tranzystora JFET w układzie wzmacniacza mikrofonowego.



W przypadku podłączenia do wyjścia słuchawki wzmacniacz wyjściowy pracuje w klasie A.

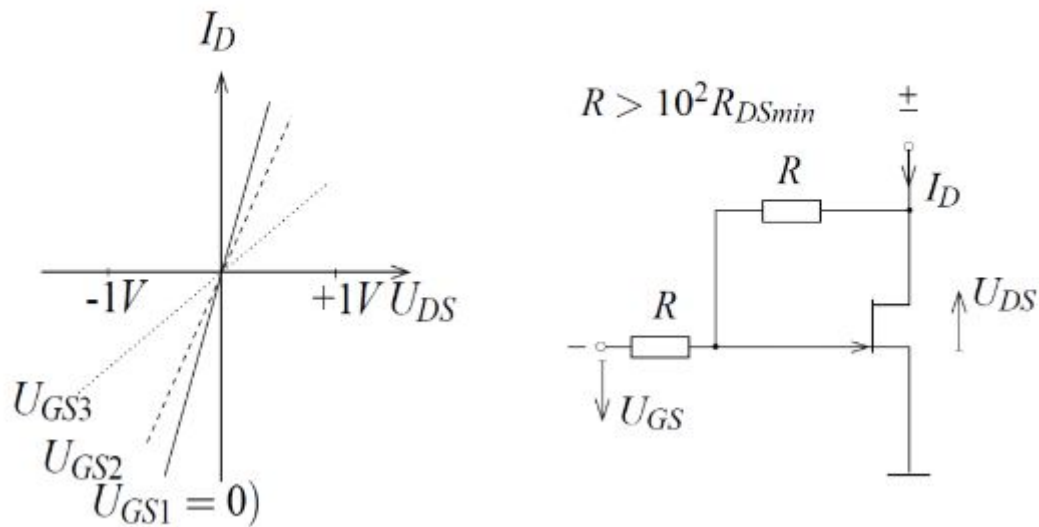
Inne zastosowania tranzystora JFET: jako regulowany rezystor i jako regulowany dzielnik napięcia.



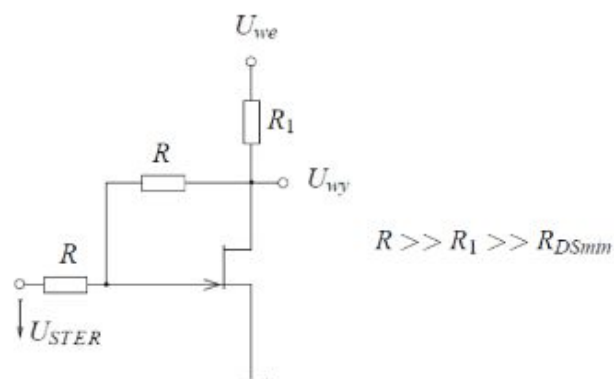
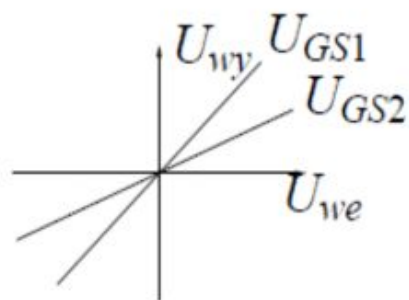
Charakterystyki wyjściowe tranzystora JFET



## Regulowany rezystor



## Regulowany dzielnik napięcia

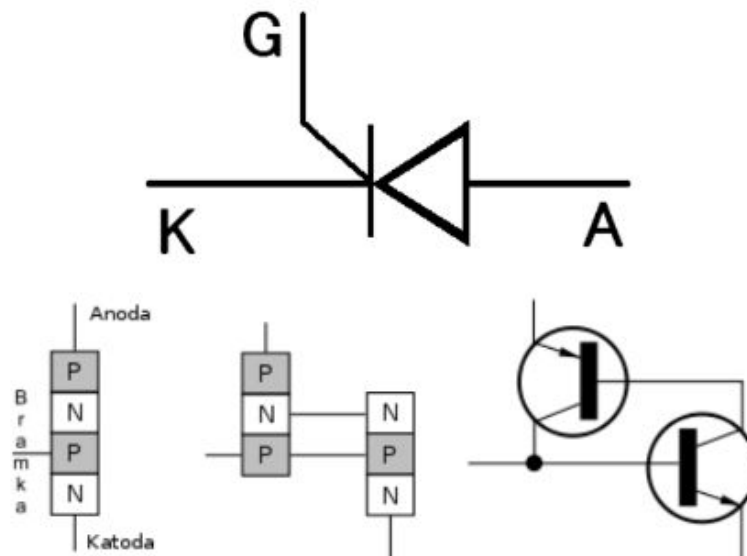


Wyjaśnienie działania dzielnika. Wielkość  $U_P$  jest kilkanaście razy większa niż  $U_{CESAT}$  tranzystorów bipolarnych i wynosi kilka volt.

Dla  $U_{DS} < U_P$  prąd drenu liniowo zmienia się z  $U_{DS}$ . Zachodzi relacja:  $I_D = A \cdot U_{DS}$  parametr  $A$  zależy od  $U_{GS}$ .  $I_D = A \cdot (U_{WE} - I_D \cdot R_1)$  wyznaczając z tego  $I_D$  otrzymujemy  $I_D = A \cdot U_{WE} / (1 + A \cdot R_1)$  stąd  $U_{WY} = U_{WE} - I_D \cdot R_1$  i stąd  $U_{WY} = U_{WE} \cdot (1 - (A \cdot R_1) / (1 + A \cdot R_1))$  stąd  $U_{WY} = C \cdot U_{WE}$  parametr  $C$  zależy od  $U_{GS}$ .

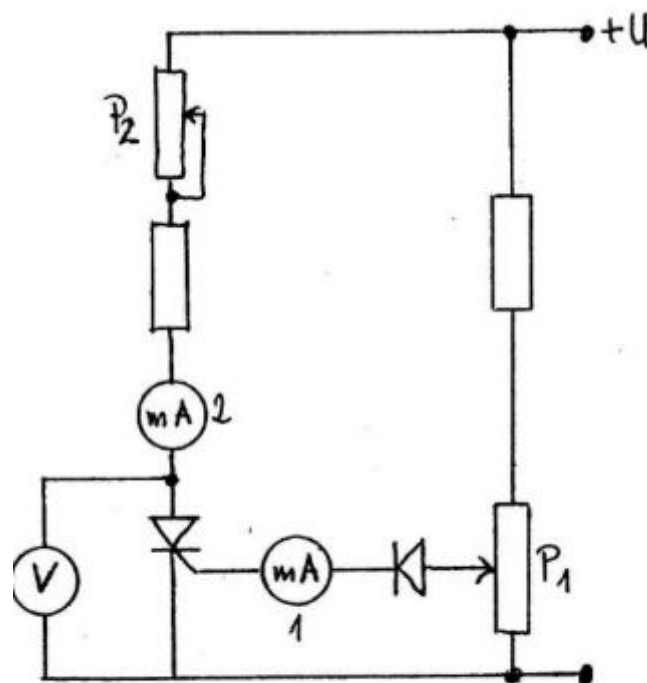


**19. Tyristor. Budowa i zasada działania. Wykorzystanie tyristora do sterowania mocą elektryczną.**



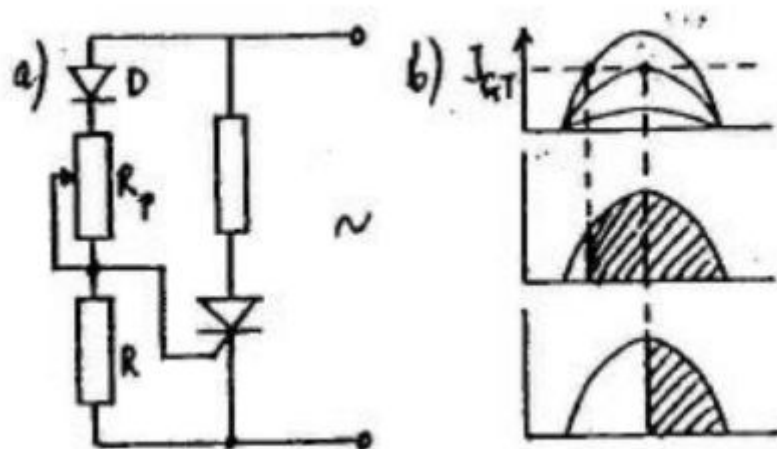
Zastosowanie: w układach sterowania np. oświetleniem ( w ściemniaczach) oraz w układach sterowania silnikami.

Zasada działania: tyristor jest w stanie zaporowym do czasu pojawienia się na bramce impulsu dodatniego. Po przyłożeniu tego impulsu tyristor wchodzi w stan przewodzenia i napięcie na nim wynosi 1.5 V. Stan przewodzenia utrzymuje się aż do czasu zmniejszenia napięcia anoda -katoda do zera.

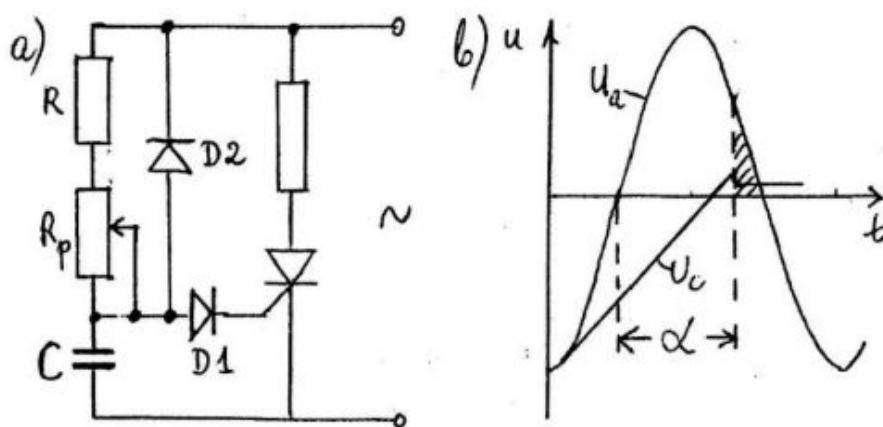


**Układ badania tyristora.**

## Układy sterowania tyrystorem.



**a) 50% sterowanie (połowa półokresu)**



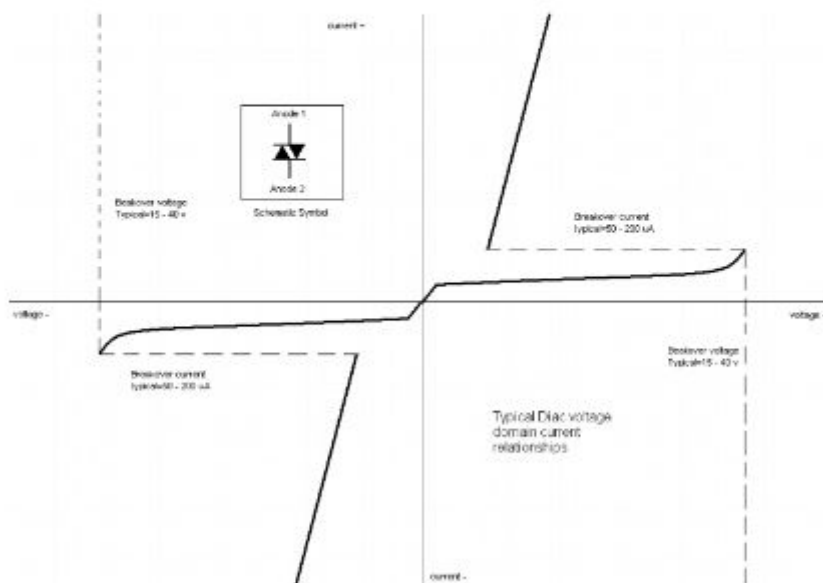
**b) 100% sterowanie (cały półokres)**

Sterowanie oświetleniem przy pomocy tyrystora działa tylko w tym półokresie gdy napięcie zasilające jest dodatnie lub ogólnie działa tylko w czasie jednego półokresu.

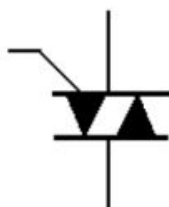
## 20. Diaki, triaki -zasada pracy i wykorzystanie.



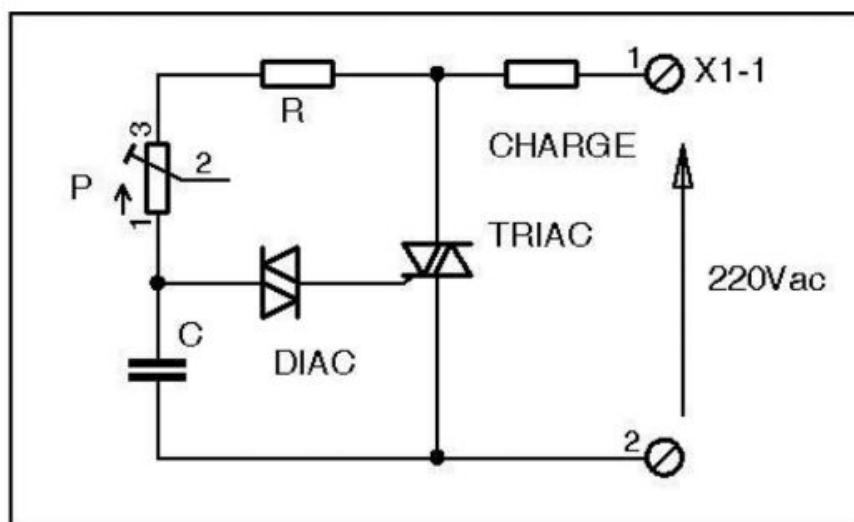
Diak



Charakterystyka prądowo napięciowa diaka



Triak



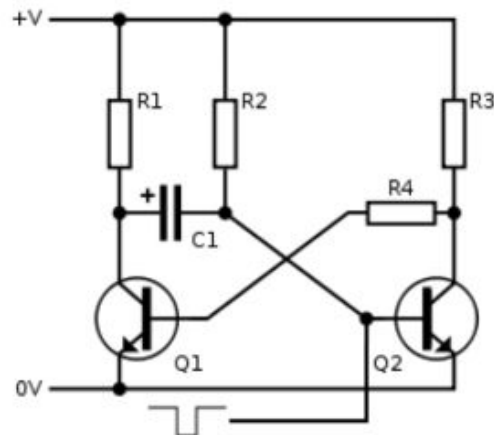
Układ sterowania oświetleniem przy pomocy triaka sterowanego za pomocą diaka.

Układ sterowania oświetleniem z wykorzystaniem triaka działa zarówno gdy napięcie zasilania jest dodatnie jak i gdy jest ujemne.

## 21.Przerzutniki: monostabilne, bistabilne, astabilne.

### a) Przerzutniki

#### Przerzutnik monostabilny.



Co to jest przerzutnik monostabilny?

Przerzutnik monostabilny jest to układ elektroniczny, w którym przez tranzystor Q1 płynie prąd przez ustalony czas  $\tau = R2 \cdot C1$  po czym prąd przestaje płynąć. W stanie ustalonym przez tranzystor Q2 płynie prąd (napięcie na bazie  $U_b > 0.65V$  i na kolektorze Q2 napięcie jest bliskie zero, i tranzystor Q1 jest zamknięty. Zmiana stanu następuje po podaniu krótkiego impulsu zerowego '0' na bazę tranzystora Q2. Po otwarciu tranzystora Q1 zaczyna się ładować kondensator C1. Po uzyskaniu na kondensatorze napięcia Q1 otwiera się tranzystor Q2 i zamyka Q1.

Zastosowanie.

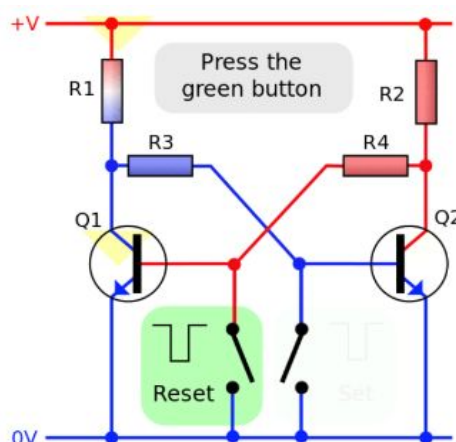
Układ przerzutnika monostabilnego może być zastosowany do czasowego włączania przyciskiem światła na klatce schodowej. Żarówka zastępuje rezystor R1. Po określonym czasie światło zgaśnie samoczynnie.

#### Przerzutnik dwustabilny.

Co to jest przerzutnik dwustabilny?

Przerzutnikiem dwustabilnym nazywamy układ elektroniczny, który ma dwa stany stabilne. W jednym stanie stabilnym otwarty jest tranzystor Q1, a w drugim otwarty jest tranzystor Q2. Przejście z jednego stanu stabilnego w drugi następuje po wciśnięciu na krótką chwilę przycisku Reset1 lub Reset2.

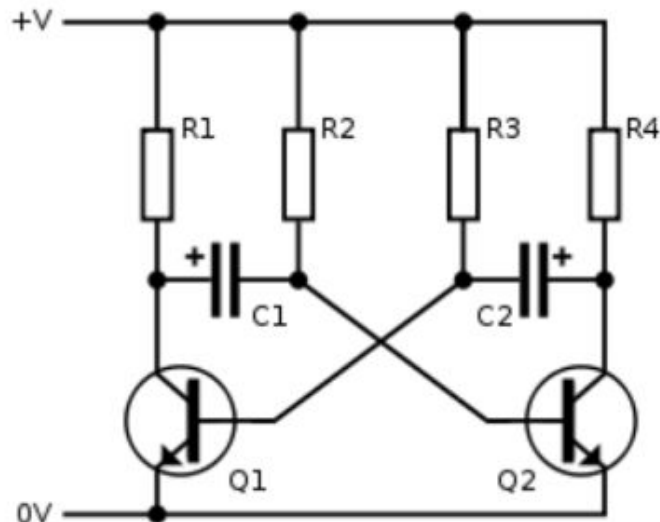
Zastosowanie?



## Przerzutnik astabilny.

Co to jest przerzutnik astabilny?

Przerzutnik astabilny jest to układ elektroniczny, który nie ma żadnego stanu stabilnego. Tranzystory Q1 i Q2 naprzemiennie otwierają się, trwają w tym stanie przez określony czas np.  $R2 \cdot C1$  lub  $R3 \cdot C2$ , a następnie zamykają się. Ich działanie stanowi podstawę budowy generatorów sygnału prostokątnego.



Obliczanie częstotliwości drgań przerzutnika astabilnego.

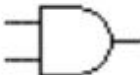



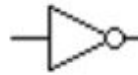

$$U_0 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{R \cdot C}\right)\right) = 0.65 \quad \exp\left(-\frac{t}{R \cdot C}\right) = 1 - \frac{0.65}{U_0}$$
$$t = -R \cdot C \cdot \ln\left(1 - \frac{0.65}{U_0}\right) \quad T = 2 \cdot t = -2 \cdot R \cdot C \cdot \ln\left(1 - \frac{0.65}{U_0}\right) \quad f = \frac{1}{T}$$

Zadanie.

Obliczyć okres drgań przerzutnika powyżej dla nast. parametrów:  $R=1\text{kHz}$ ,  $C=1\mu\text{F}$ ,  $U_0=5\text{V}$ .

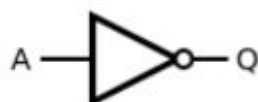
Odp.  $T=0.28\text{ ms}$ ,  $f=3.59\text{ kHz}$ .

## 22. Bramki logiczne i ich realizacje elektroniczne.

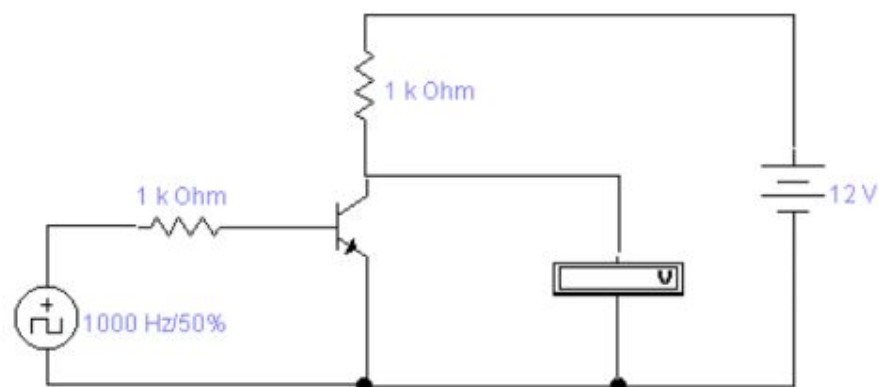
																																																																																						
<b>AND</b>	<b>OR</b>	<b>NAND</b>	<b>NOR</b>	<b>NOT</b>	<b>XOR</b>																																																																																	
<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	Q	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Q	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	<table><tr><th>A</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	Q	0	1	1	0	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	Q																																																																																				
0	0	0																																																																																				
0	1	0																																																																																				
1	0	0																																																																																				
1	1	1																																																																																				
A	B	Q																																																																																				
0	0	0																																																																																				
0	1	1																																																																																				
1	0	1																																																																																				
1	1	1																																																																																				
A	B	Q																																																																																				
0	0	1																																																																																				
0	1	1																																																																																				
1	0	1																																																																																				
1	1	0																																																																																				
A	B	Q																																																																																				
0	0	1																																																																																				
0	1	0																																																																																				
1	0	0																																																																																				
1	1	0																																																																																				
A	Q																																																																																					
0	1																																																																																					
1	0																																																																																					
A	B	Q																																																																																				
0	0	0																																																																																				
0	1	1																																																																																				
1	0	1																																																																																				
1	1	0																																																																																				

Symbole bramek logicznych i ich tablice prawdy.

## 1. Inwerter NOT. Wzmacniacz wyjściowy (bufor).



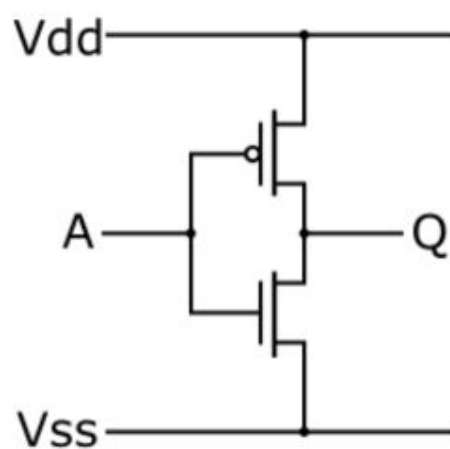
Symbol inwertera.



Tablica prawdy dla inwertera i bufora.

A	Q
H	L (H)
L	H (L)

Realizacja inwertera w technologii CMOS.



Pytanie. Jak działa ten układ inwertera? Co się stanie gdy zamienimy tranzystory miejscami?

## 2.Bramka NAND.



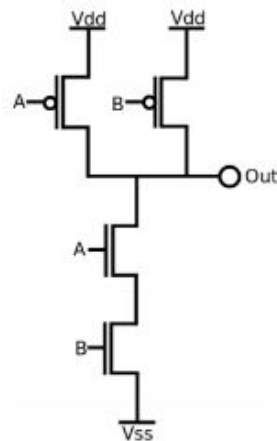
Symbol bramki NAND



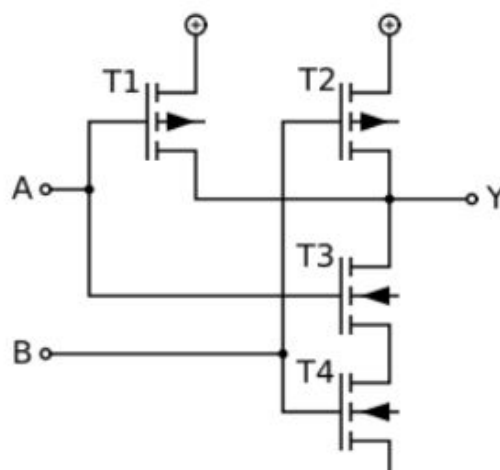


Zasada działania. Jeżeli na wejściach A i B są poziomy wysokie i jednocześnie złącze C-B pierwszego tranzystora T1 jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia to przez jego kolektor i bazę tranzystora T2 płynie prąd i stan wyjściowy Q jest 0. Jeżeli na wejściu A lub B pojawi się stan niski to cały prąd popłynie w obwodzie B-E i nie popłynie prąd w kolektorze tranzystora T1 tranzystor T2 będzie zatkany i poziom Q wysoki.

Realizacja bramki NAND w technologii CMOS.



Ten sam układ NAND z narysowanymi połączeniami.



### 3. Bramka AND.

Tablica prawdy bramki AND.

Stan wejścia 1 (A1)	Stan wejścia 2 (A2)	Stan wyjścia Q
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

**Realizacja tranzystorowa CMOS:** bramka NAND + Inverter.

#### 4.Bramka NOR

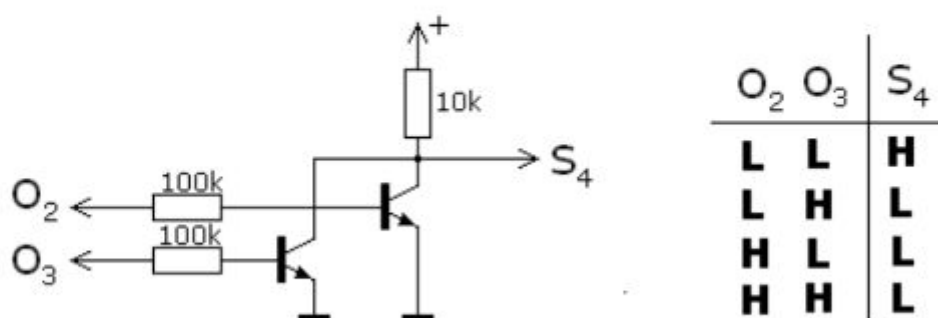


Symbol bramki NOR

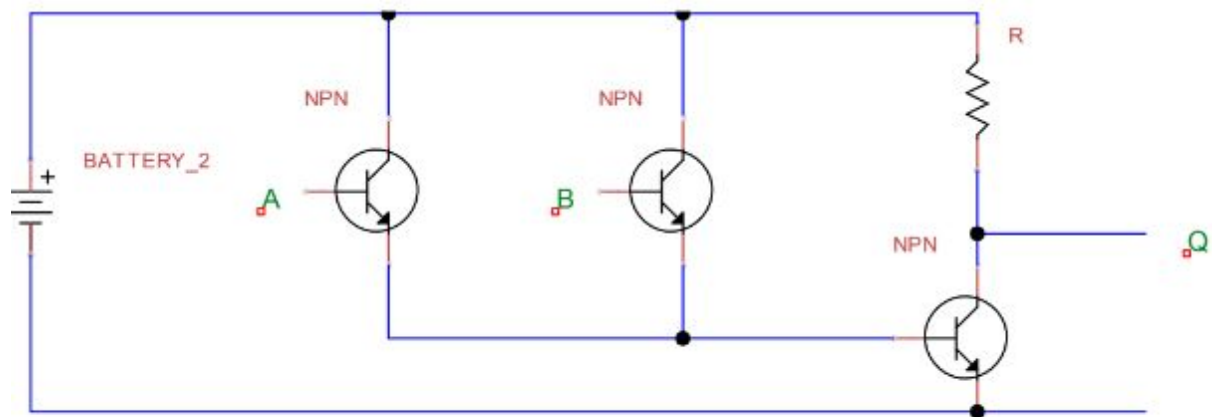
Tablica prawdy dla bramki NOR.

Stan wejścia 1	Stan wejścia 2	Stan wyjścia Q
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	L

Realizacja tranzystorowa bramki NOR



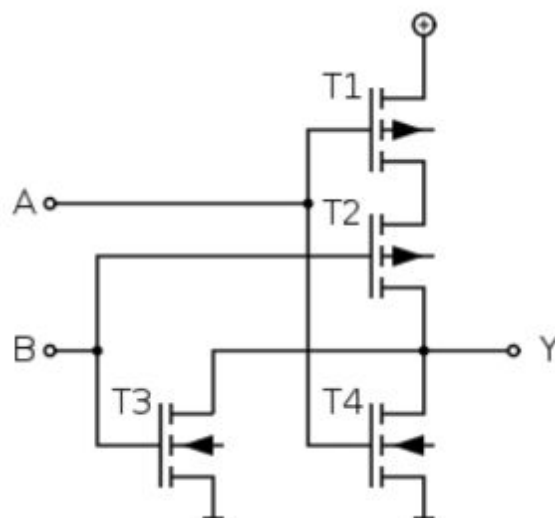
Bramka NOR inna realizacja tranzystorowa.



Tablica prawdy bramki NOR

A	B	Q
0(L)	0(L)	1(H)
0(L)	1(H)	0(L)
1(H)	0(L)	0(L)
1	1	0(L)

Realizacja bramki NOR w technologii CMOS



## 5. Bramka OR

Tablica prawdy bramki OR.

Stan wejścia 1	Stan wejścia 2	Stan wyjścia Q
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H

Realizacja tranzystorowa bramki OR - bramka NOR + Inverter.

## 6. Bramka identyczności logicznej (Logic Identity Gate)

Na wyjściu układu LIG pojawia się poziom H (1) gdy na obu wejściach występuje ten sam poziom H lub L.

Stan wejścia 1	Stan wejścia 2	Stan wyjścia Q
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	H

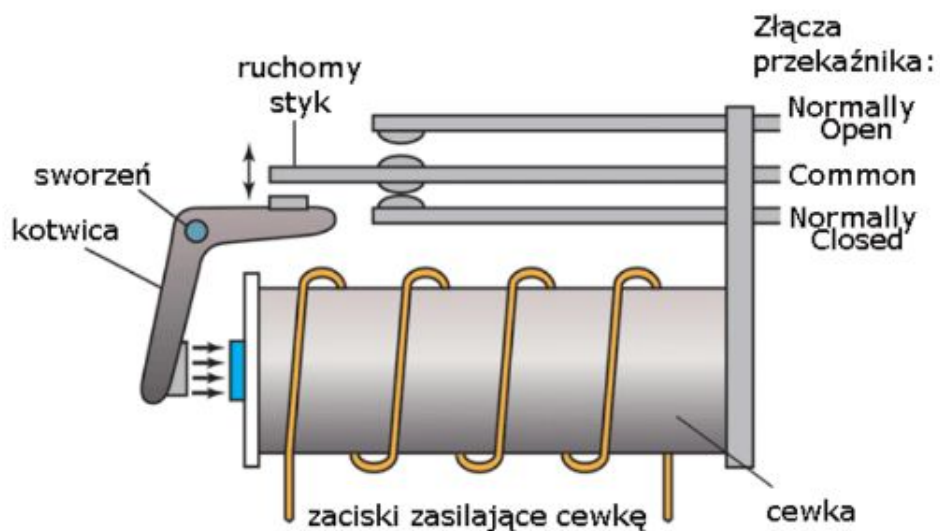
### Podsumowanie.

Przykładowe realizacje wybranych układów logicznych diodowe D lub tranzystorowe T omówione na wykładzie.

Bramka logiczna	Realizacja diodowa	Realizacja tranzystorowa	Realizacja CMOS
Inwerter	-	T	CMOS
AND	D	-	
NOR	D	T	CMOS
NAND	-	T	CMOS
OR	D	-	

### 23.Przełączniki elektromagnetyczne i ich zastosowania w technice cyfrowej

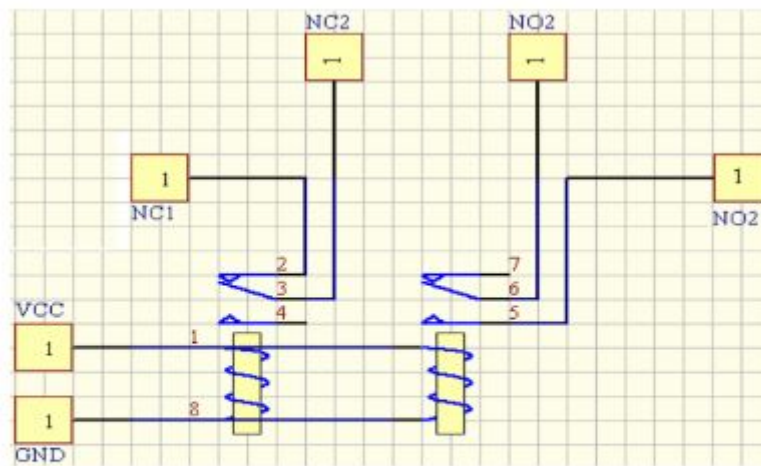
#### BUDOWA PRZEKAŹNIKA ELEKTROMAGNETYCZNEGO



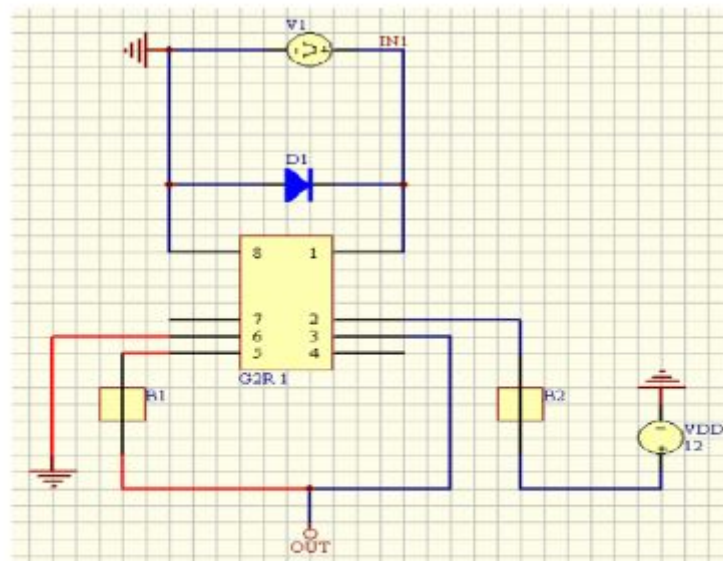
	8	1	
	7	2	
	6	3	
	5	4	

#### Oznaczenia wyprowadzeń przełącznika elektromagnetycznego

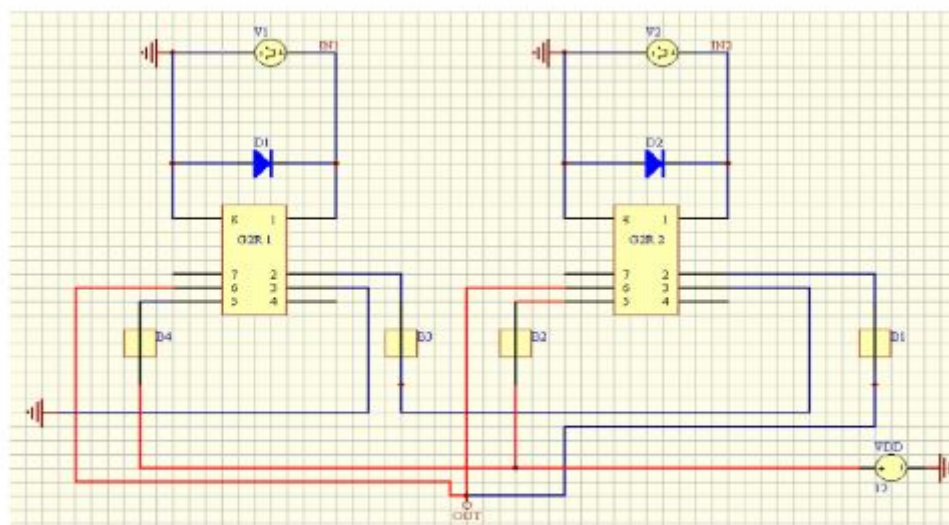
1,8 wyprowadzenia zasilania cewki przełącznika, wyprowadzenia 2,3 oraz 7,6 NC (normalnie zwarte), wyprowadzenia 5,6 i 3,4 NO (normalnie otwarte).



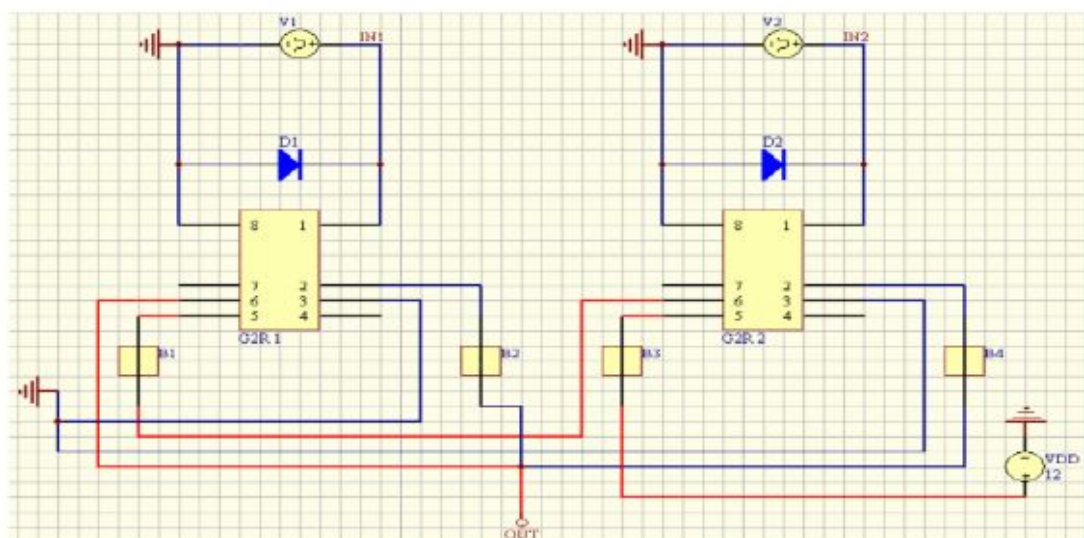
Schemat ideowy modułu przekaźnikowego



Realizacja bramki NOT na przekaźniku



Realizacja bramki OR na modułach przekaźnikowych



Realizacja bramko AND na modułach przekaźnikowych

Możliwa jest również realizacja bramek NOR i NAND na modułach przekaźnikowych.