

---

# **PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI**

## **część 5**

# **ELEMENTY ELEKTRONICZNE**

*Elementy bierne*

## Symbole zalecane

1 a lub b	2 lub	3 a b	4 a b	5 a b	6 a b	7 a b	8 lub	9 lub	
10 lub	11 lub	12 lub	13 lub	14 lub	15 a b	16 lub	17 a b c	18 a b	19 a b c
20 a b c d	21 a b c d x y	22 a b	23 a b	24 a b c	25 a b	26 a b	27 a b c		

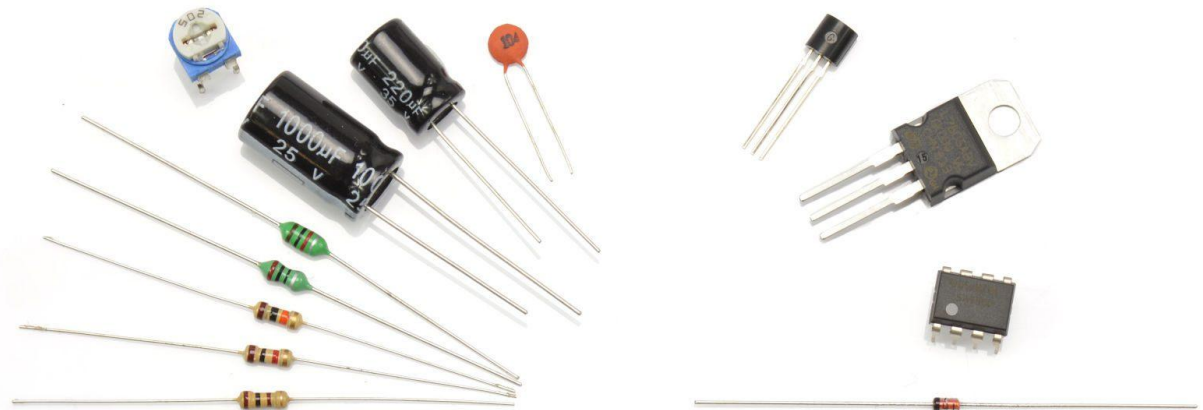
## Symbole spotykane

28 a b c log	29 a b c	30 a b c d e f g h i j k	31 a b c d e f g h RES
--------------------------	-------------------	---	---

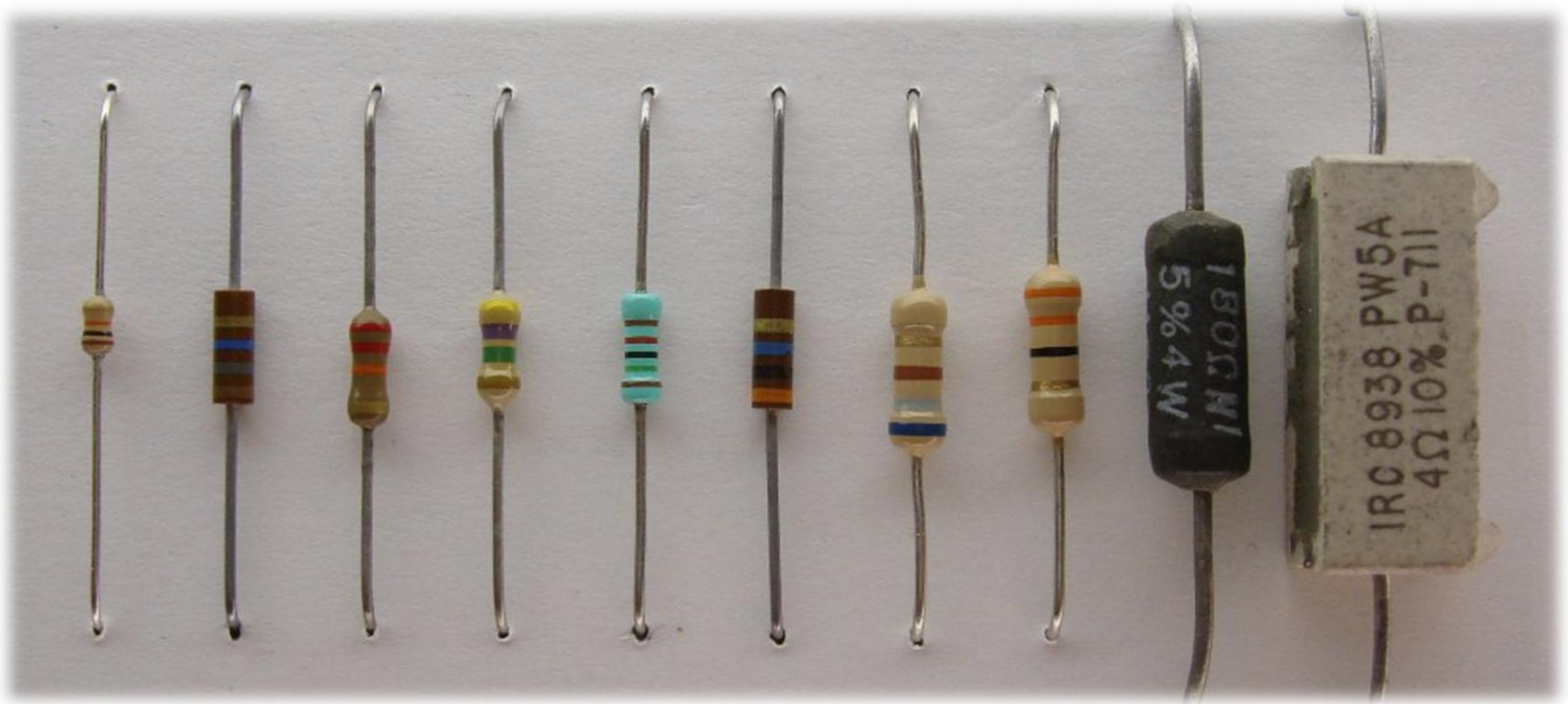
## PODZIAŁ ELEMENTÓW BIERNYCH

W układach elektronicznych stosujemy następujące elementy bierne:

- a) rezystory – rezystancja [ $\Omega$ ]
- b) kondensatory – pojemność [F]
- c) cewki – indukcyjność [H]
- d) bezpieczniki – prąd zadziałania [A]
- e) przekaźniki

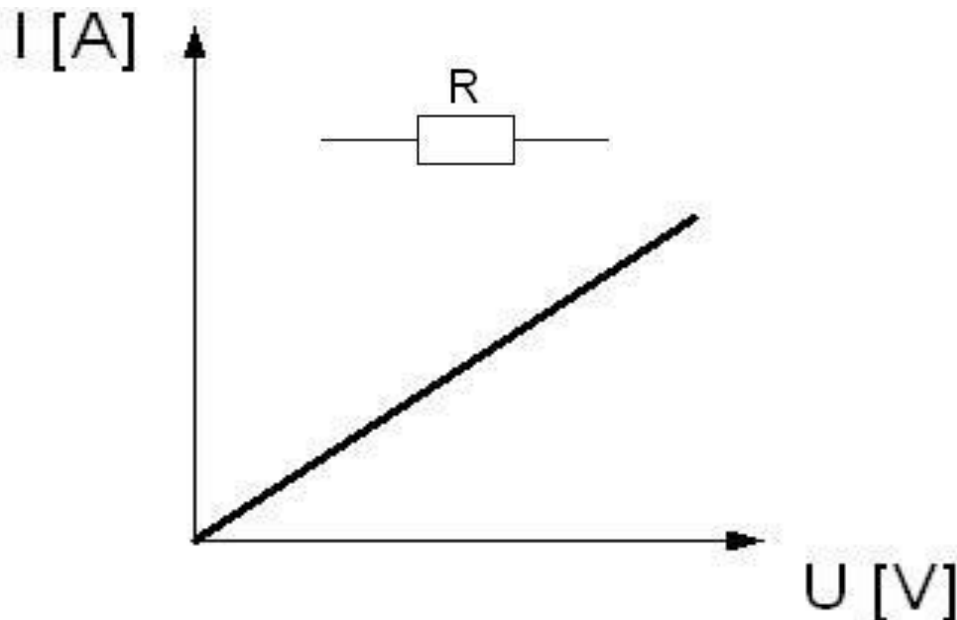


# REZYSTORY



## REZYSTORY LINIOWE

Rezystor liniowy jest elementem opisanym następującą charakterystyką prądowo - napięciową

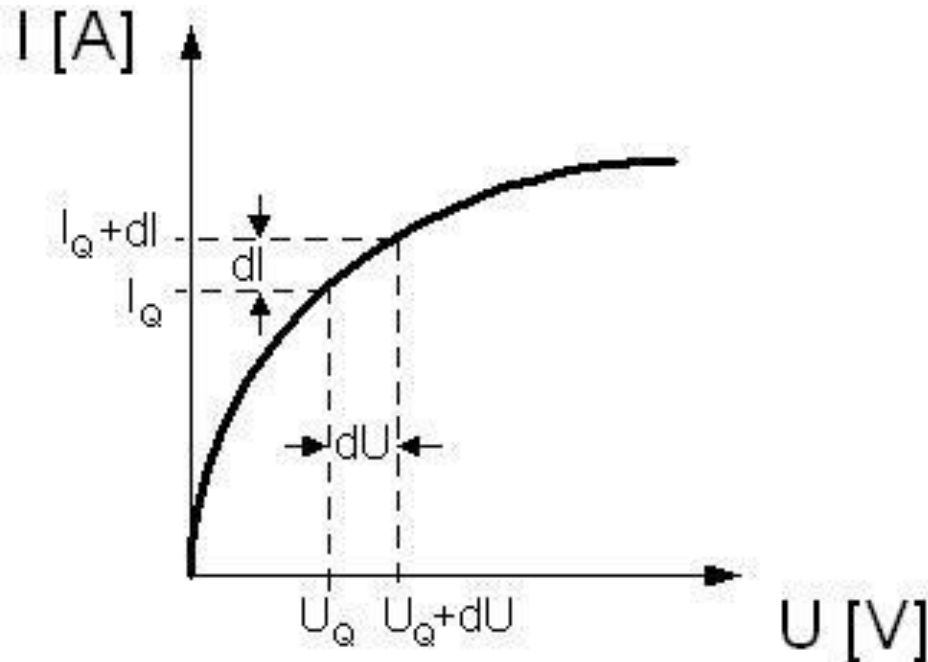


Odwrotność rezystancji – **konduktancja**  $G = \frac{1}{R} [S]$

## REZYSTORY NIELINIOWE

W przypadku rezystora nieliniowego jego charakterystyka wygląda następująco:

Definiujemy rezystancje:



- statyczną:

$$R_{stat} = \frac{U_Q}{I_Q}$$

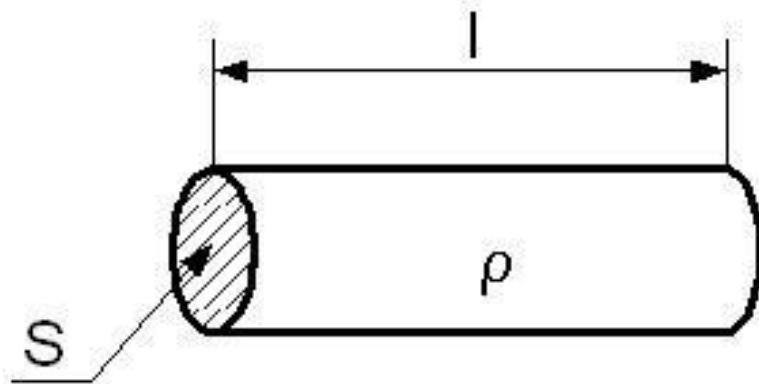
- dynamiczną:

$$r_{dyn} = \frac{(U_Q + dU) - U_Q}{(I_Q + dI) - I_Q} = \frac{dU}{dI}$$

- 
- a) rezystory nieliniowe są elementami półprzewodnikowymi lub układami elektronicznymi
  - b) wartości rezystancji dynamiczne i statycznej mogą być różne
  - c) w większości przypadków wykorzystujemy fakt, że rezystancja dynamiczna jest większa od statycznej
  - d) rezystancja dynamiczna może przyjmować wartości ujemne

## REZYSTORY - REZYSTANCJA

Element rezystancyjny:



Rezystancja:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

gdzie:

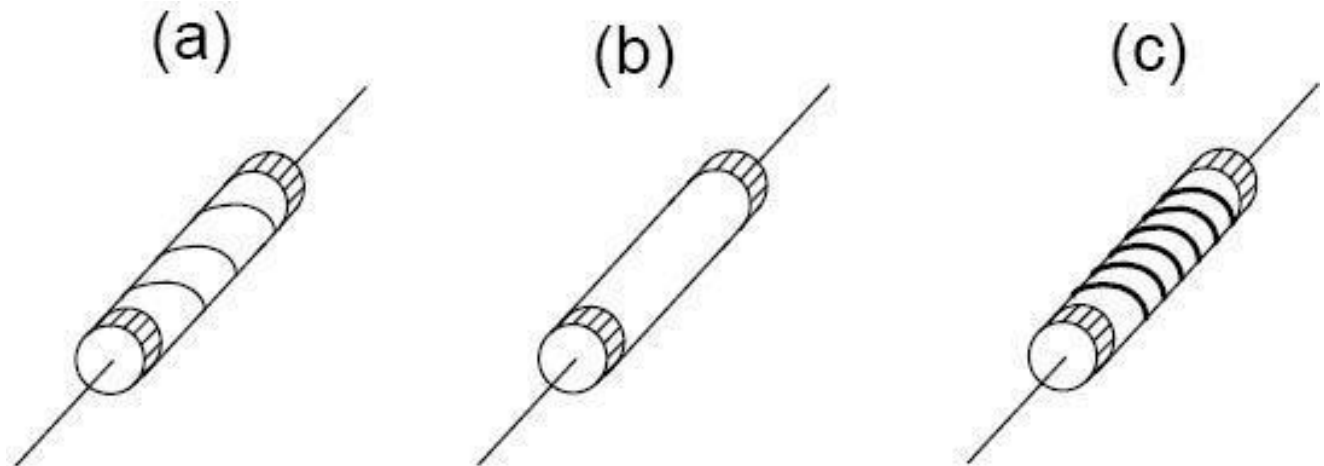
$\rho$  - rezystywność właściwa materiału

$l$  - długość materiału

$S$  – powierzchnia przekroju poprzecznego przewodnika

## REZYSTORY - RODZAJE

Rezystory przewlekane:



Budowa rezystorów przewlekanych:

- a) warstwowy,
- b) objętościowy,
- c) drutowy

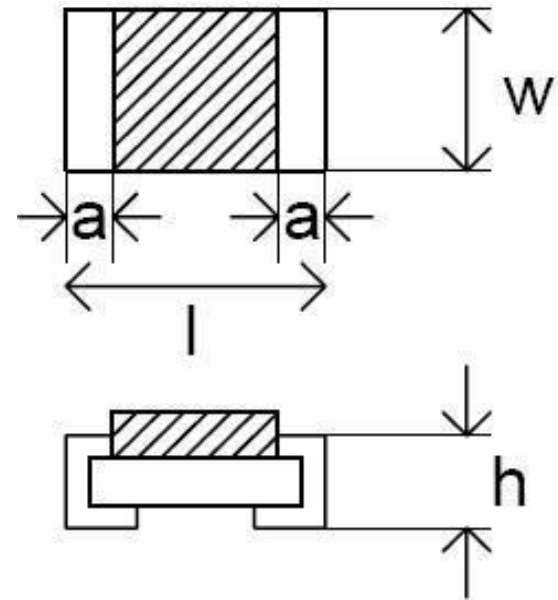
## REZYSTORY - RODZAJE

### Wymiary rezystorów warstwowych

moc	$\Phi$ [mm]	l [mm]
0,125 W	2,3	6,0
0,5 W	4,2	10,8
1 W	6,6	13

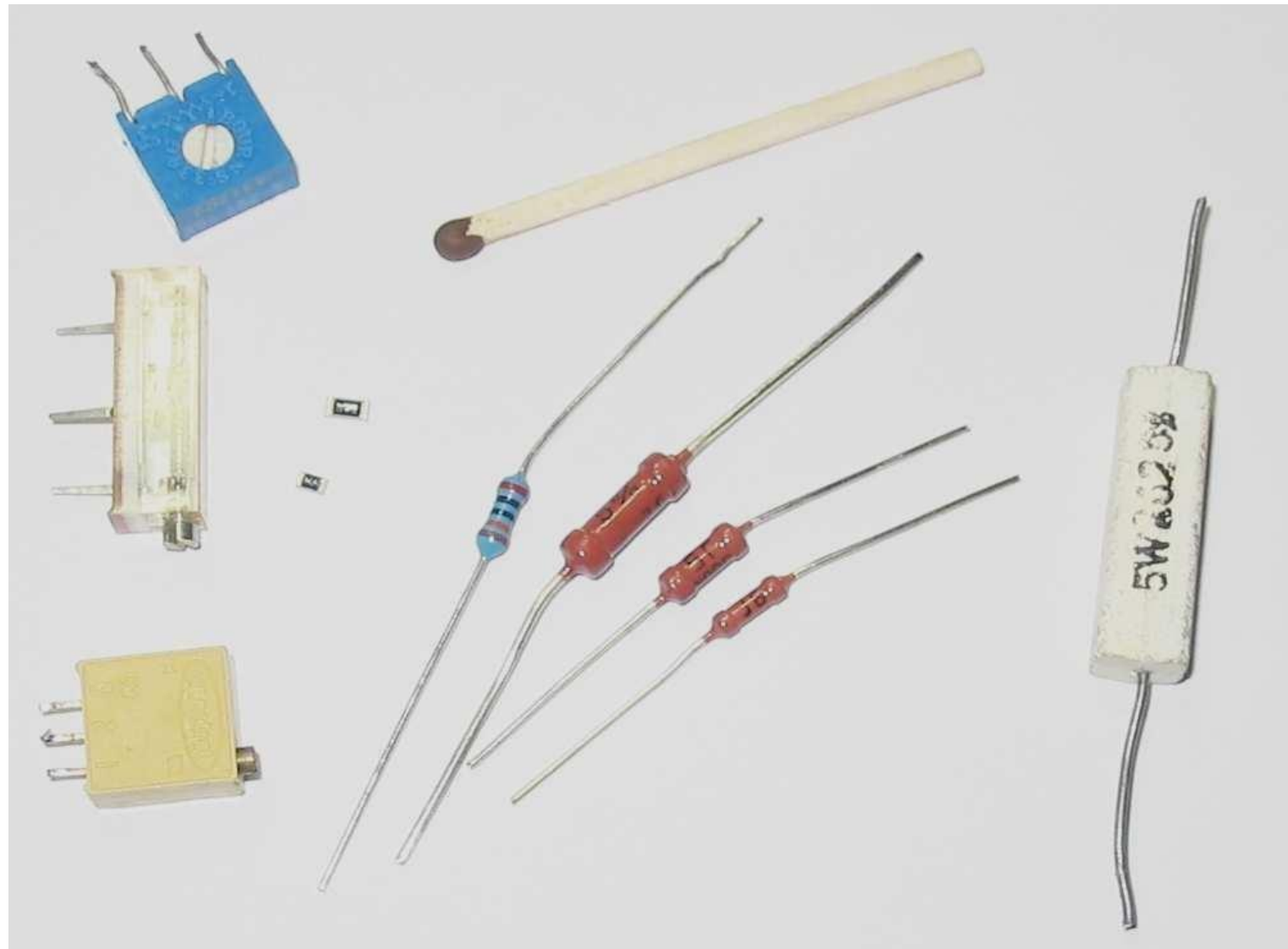
**Ważny parametr rezystorów – MOC !!!**

## Rezystory powierzchniowe



### Wymiary rezystorów do montażu powierzchniowego

typ	wymiary			
	l [mm]	w [mm]	h [mm]	a [mm]
0603 (100mW)	1,6	0,8	0,5	0,3
0805 (125mW)	2,0	1,25	0,45	0,4
1206 (250mW)	3,1	1,55	0,55	0,45



## REZYSTORY - OZNACZENIA

Oznaczenia rezystorów:

- a) **bezpośrednie** zapisanie wartości na obudowie rezystora, występuje w przypadku rezystorów przewlekanych
- np. wartość  $0.47\Omega$  zapisujemy 0.47 lub R47 lub 0E47
  - np. wartość  $4.7\Omega$  zapisujemy 4R7
  - np. wartość  $470\Omega$  zapisujemy 470 lub 470R lub k47
  - np. wartość  $4.7\text{ k}\Omega$  zapisuje się 4.7k lub 4k7
  - np. wartość  $4.7\text{ M}\Omega$  zapisujemy 4M7 lub 4.7M

b) **zakodowanie** wartości poprzez podanie dwóch pierwszych cyfr i potęgi liczby dziesięć

- np. wartość  $47 \Omega$  zapisujemy 470 co oznacza  $47 \cdot 10^0$
- np. wartość  $470 \Omega$  zapisujemy 471 co oznacza  $47 \cdot 10^1$
- np. wartość  $4.7 \text{ k}\Omega$  zapisujemy 472 co oznacza  $47 \cdot 10^2$
- np. wartość  $4.7 \text{ M}\Omega$  zapisujemy 475 co oznacza  $47 \cdot 10^5$

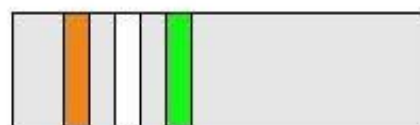
c) **kod paskowy** – zakodowanie wartości za pomocą czterech, pięciu lub sześciu kolorowych pasków

kolor	cyfra znacząca	współczynnik krotności	tolerancja [%]
czarny	0	1	–
brązowy	1	10	+/- 1 %
czerwony	2	10 <sup>2</sup>	+/- 2 %
pomarańczowy	3	10 <sup>3</sup>	–
żółty	4	10 <sup>4</sup>	–
zielony	5	10 <sup>5</sup>	+/- 0,5 %
niebieski	6	10 <sup>6</sup>	+/- 0,25 %
fioletowy	7	10 <sup>7</sup>	+/- 0,1 %
szary	8	10 <sup>8</sup>	–
biały	9	10 <sup>9</sup>	–
srebrny	–	10 <sup>-2</sup>	+/- 10 %
złoty	–	10 <sup>-1</sup>	+/- 5 %
brak	–	–	+/- 20 %

### 3 paski

(pierwszy pasek blisko końca rezystora)

3.9M $\Omega$  20%

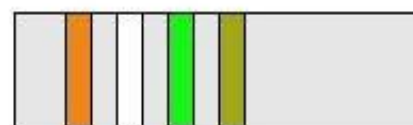


pomarańczowy 3  
 biały 9  
 zielony \*10<sup>5</sup>  
 brak paska 20%

### 4 paski

(pierwszy pasek blisko końca rezystora)

3.9M $\Omega$  5%

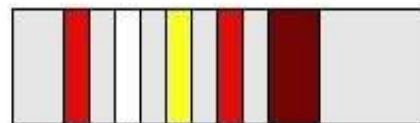


pomarańczowy 3  
 biały 9  
 zielony \*10<sup>5</sup>  
 złoty 5%

### 5 pasków

(ostatni pasek wyraźnie szerszy)

29.4k $\Omega$  1%



czerwony 2  
 biały 9  
 żółty 4  
 czerwony \*10<sup>2</sup>  
 brązowy 1%

### 6 pasków

(ostatni pasek wyraźnie szerszy)

6.81k $\Omega$  0.5% 50 ppm/k



niebieski 6  
 szary 8  
 czarny 1  
 brązowy \*10  
 zielony 0.5%  
 czerwony 50 ppm/k



Kolor	Pierwszy	DRUGI	TRZECI	MNOŻNIK	TOLERANCJA
Czarny	0	0	0	1 $\Omega$	
Brązowy	1	1	1	10 $\Omega$	$\pm$ 1% (F)
Czerwony	2	2	2	100 $\Omega$	$\pm$ 2% (G)
Pomarań.	3	3	3	1K $\Omega$	
Żółty	4	4	4	10K $\Omega$	
Zielony	5	5	5	100K $\Omega$	$\pm$ 0.5% (D)
Niebieski	6	6	6	1M $\Omega$	$\pm$ 0.25% (C)
Fioletowy	7	7	7	10M $\Omega$	$\pm$ 0.10% (B)
Szary	8	8	8		$\pm$ 0.05%
Biały	9	9	9		
Złoty				0.1 $\Omega$	$\pm$ 5% (J)
Srebrny				0.01 $\Omega$	$\pm$ 10% (K)



## REZYSTORY - TOLERANCJA

Wartości rezystorów są rozłożone w szeregi, mówiące o tolerancji czyli granicy przedziału w jakiej znajduje się rzeczywista wartość rezystancji.

$$\text{tolerancja} = \left| \frac{R - R_{z\text{nam}}}{R_{z\text{nam}}} \right|_{\text{max}} \cdot 100\%$$

Wartości rezystancji tworzą szereg geometryczny:

np. dla szeregu E6 iloraz wynosi  $\sqrt[6]{10} \cong 1.5$

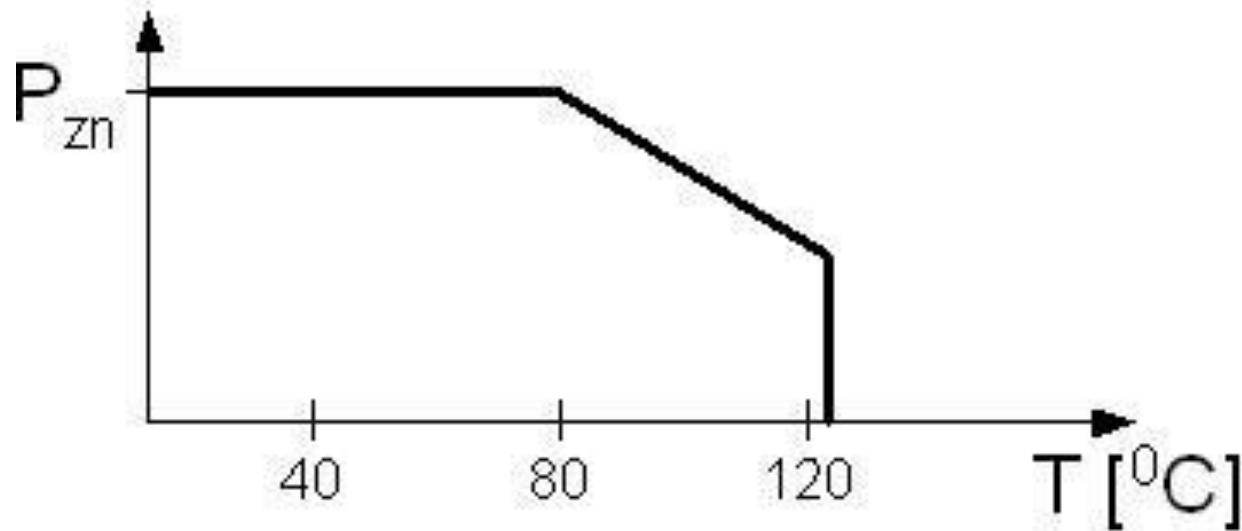
dla szeregu E12 iloraz wynosi  $\sqrt[12]{10} = 1.2$

Mamy następujące szeregi:

- a) - E6 -  $\pm 20\%$
- b) - E12 -  $\pm 10\%$
- c) - E24 -  $\pm 5\%$
- d) - E48 -  $\pm 2\%$
- e) - E96 -  $\pm 1\%$
- f) - E192 -  $\pm 0.5\%$

## REZYSTORY - MOC

Moc znamionowa  $P_{zn}$  jest to największa moc tracona na rezystorze w temperaturze  $+40^{\circ}\text{C}$  lub  $+70^{\circ}\text{C}$ .



Przebieg dopuszczalnej mocy znamionowej w funkcji temperatury dla rezystora

Typowe wartości mocy rezystorów to:  
0.125W, 0.25W, 0.5W, 1W i 2W

Spotyka się także wartości:

0.05W, 0.1W, 0.2W, ..., 3W, 5W, 6W, 8W, 10W, 12W, 15W,  
20W, 25W, 50W i większe.

Zmianę rezystancji wywołaną zmianą temperatury określa współczynnik **TWR**.

Zmiana ta jest podawana w % / °C lub w ppm / °C (ppm – parts per million; 1 ppm = 1\*10<sup>-6</sup>)

Typowe wartości współczynnika TWR mieszczą się w granicach:

od  $\pm 1000\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$  czyli  $\pm 0.1\ \%/^{\circ}\text{C}$

do  $\pm 50\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$  czyli  $\pm 0.005\%/^{\circ}\text{C}$  Zmiana rezystancji:

$$R(T) = R(T_0)[1 + TWR(T - T_0)]$$

gdzie  $T_0$  wynosi 20°C

## REZYSTORY – STABILNOŚĆ CZASOWA REZYSTANCJI

Rezystory zmieniają swoje parametry w czasie – współczynnik **CWR**:

$$CWR = \frac{R(t = 100h) - R(t = 0)}{R(t = 0)}$$

Typowa wartość CWR wynosi 1%/1000h.

Znając CWR wartość rezystancji można wyznaczyć z zależności:

$$\left. \frac{\Delta R}{R} \right|_t = CWR \sqrt{\frac{t}{1000}}$$

- **Napięciem granicznym** rezystora nazywamy wartość napięcia stałego (lub amplitudy zmiennego) jaką można przyłożyć do końcówek rezystora nie powodując jego uszkodzenia lub powstania nieodwracalnych zmian jego parametrów.
- **Rezystancją krytyczną** nazywamy rezystancję, przy której napięcie maksymalne wywołuje wydzielanie się dopuszczalnej mocy znamionowej na rezystorze. Po przekroczeniu tej rezystancji napięcie maksymalne wyznaczamy ze wzoru:

$$U_{\max} = \sqrt{P_{zn} R}$$

## SZUMY REZYSTORÓW

**Szumy** to szerokopasmowy sygnał niepożądany, który nakłada się na sygnał użyteczny, nawet stałoprądowy.

Szumy powstają we wszystkich biernych elementach wzmacniacza, głównie jednak w rezystorach. Ich poziom zależy od rezystancji, temperatury, przyłożonego napięcia, a także od rodzaju rezystora.

**Szum termiczny** – związany z ziarnistym charakterem przepływu prądu, nie wszystkie elektrony w rezystorze poruszają się zgodnie z kierunkiem przepływu prądu.

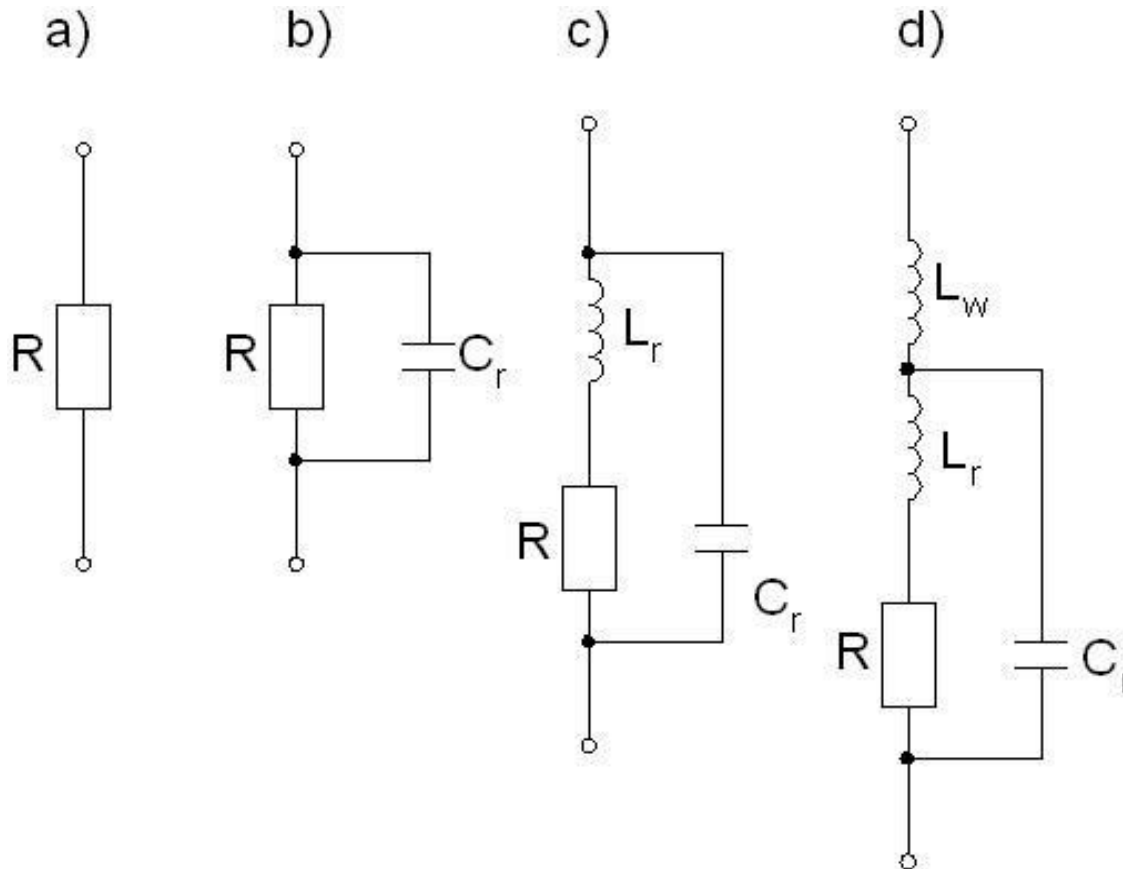
**Szumy prądowe** (strukturalne) wynikają z niejednorodności i zanieczyszczeń materiału z jakiego wykonany jest rezystor. Wartość ich jest podawana wprost przez producenta.

Można je oszacować z zależności:

$$i_{sz} = \sqrt{A \frac{\Delta f}{f}}$$

gdzie A jest stałą materiałową podawaną przez producenta rezystora.

# REZYSTORY – PARAMETRY PASOŻYTNICZE

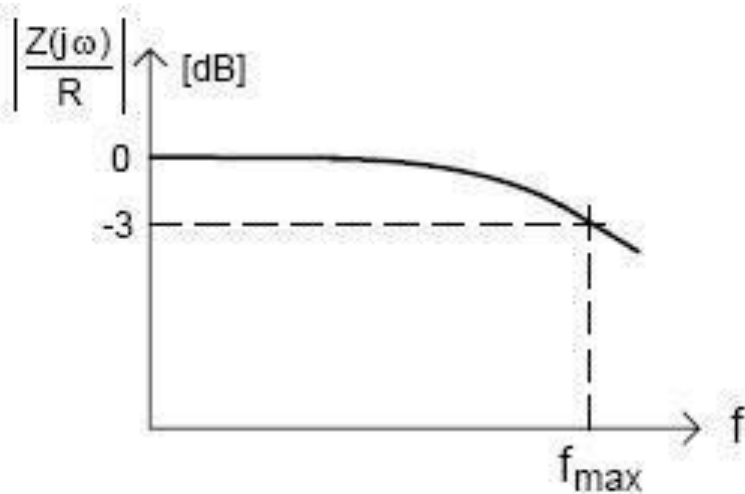


$C_r$  – pojemność własna

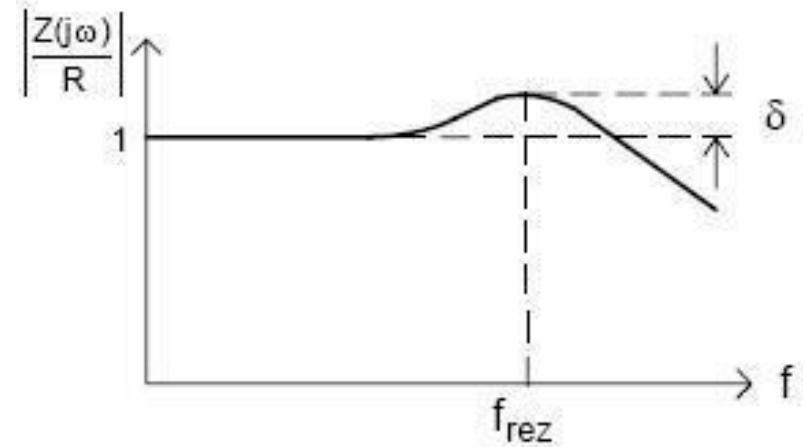
$L_r$  – indukcyjność rezystora

$L_w$  – indukcyjność doprowadzeń

Modele zastępcze rezystora



Przebieg modułu impedancji  
 dla modelu z rys. b



Przebieg modułu impedancji  
 dla modelu z rys. c i d

**Dla w. cz. najlepiej stosować  
 SMD!**

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \quad Q = \frac{\omega L_r}{R}$$

Typ	Budowa	Indukcyjność własna	Pojemność własna [pF]	Zakres częstotliwości pracy
węglowy kompozytowy	wątek/rurka węglowa z przylutowanymi wyprowadź.	mała	ok. 0.1 – 0.2	m. cz. i śr. cz.
węglowy warstwowy	spiralnie nacięta ceramiczna rurka z naparowaną warstwą węgla	mała	ok. 0.2	m. cz. i śr. cz.
metalowy warstwowy	spiralnie nacięta ceramiczna rurka z naparowaną warstwą metalu	mała	poniżej 0.2	dobrze w zastosowania ch w. cz.
Grubowarstwowy (cermentowy)	ceramiczny korpus pokryty warstwą zmieszanych tlenków metali i szkła/ceramiki	mała	ok. 0.1 – 0.3	dobrze w zastosowania ch w. cz.
Cienkowarstwowy	cienka warstwa metalu naparowana na szklany/ceramiczny korpus	średnia	powyżej 0.3	m. cz. i śr. cz.
tlenkowy	korpus pokryty spiralnie warstwą tlenku metalu	średnia	ok. 0.4	m. cz. i śr. cz.
drutowy	wysokorezystywny drut nawinięty na szklany/ceramiczny korpus	duża	ok. 0.2 - 10	m. cz. i śr. cz.

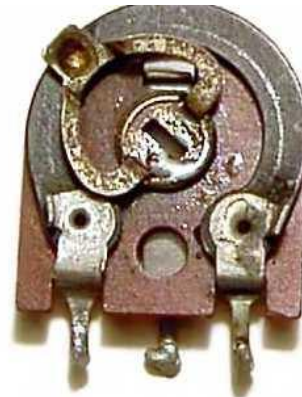
Typ	TWR [ppm/K]	Zależność rezystancji od napięcia [ppm/V]	Szумы własne	Odporność na przebieżenia	uwagi
węglowy kompozytowy	-200 do -2000	200 do 500	duże	duża	stosowane w ukł. przełącz., gasikowych, przetw. imp. duży CWR
węglowy warstwowy	-200 do -1000	poniżej 100	duże	mała	duży CWR
metalowy warstwowy	5 do 100	ok. 1	małe	b. mała	mały CWR nie stosować do pracy impulsowej
grubowarst- wowy (cermentowy)	-2000 do 500	ok. 30	duże	duża	mały CWR, stosowane w pracy impulsowe, wykonanie SMD
cienkowarst- wowy	poniżej 1	ok. 0.05	b. małe	mała	mały CWR, stosowane w precyzyjnych ukł. pomiarowych
tlenkowy	± 200	10	małe	duża	odporne na wysoką temperaturę
drutowy	-50 do 1000 precyzyjne: 1 do 100	1	b. małe	mała	zastosowania precyzyjne, CWR zależny od temp. pracy

## POTENCJOMETRY - PODZIAŁ

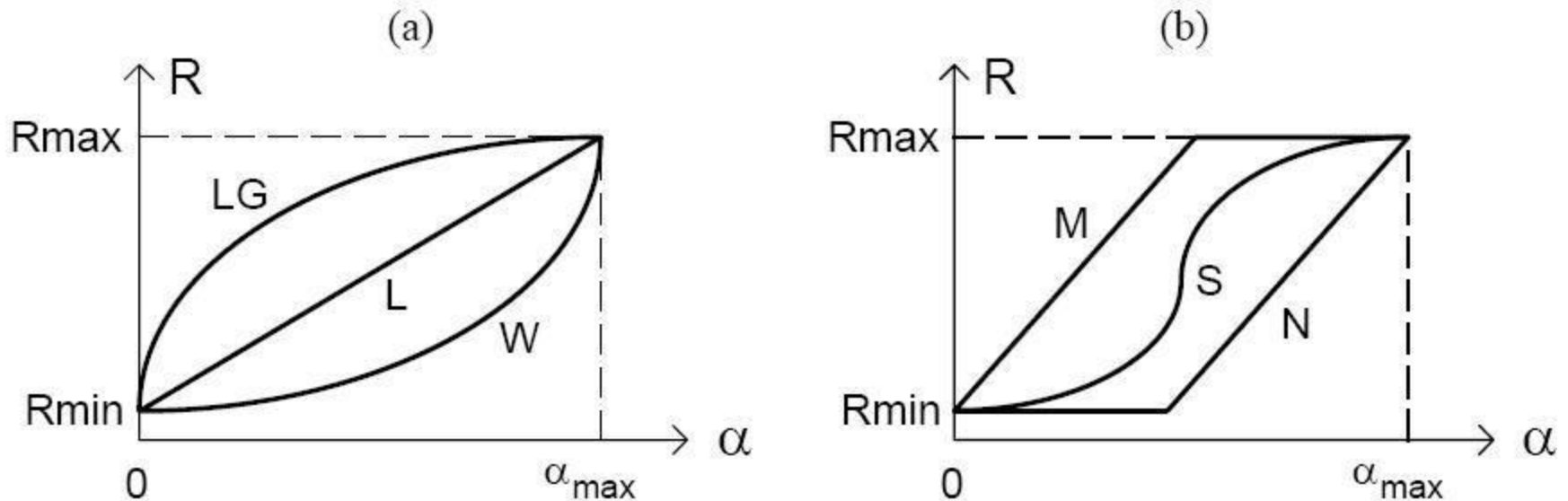
Potencjometry dzielimy na:

- tablicowe (obrotowe, suwakowe)
- precyzyjne (jedno lub wieloobrotowe)
- dostrojcze (trymery)
- tłumiki

Parametry - takie jak rezystorów.

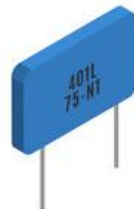
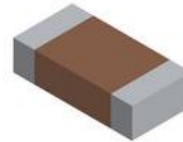


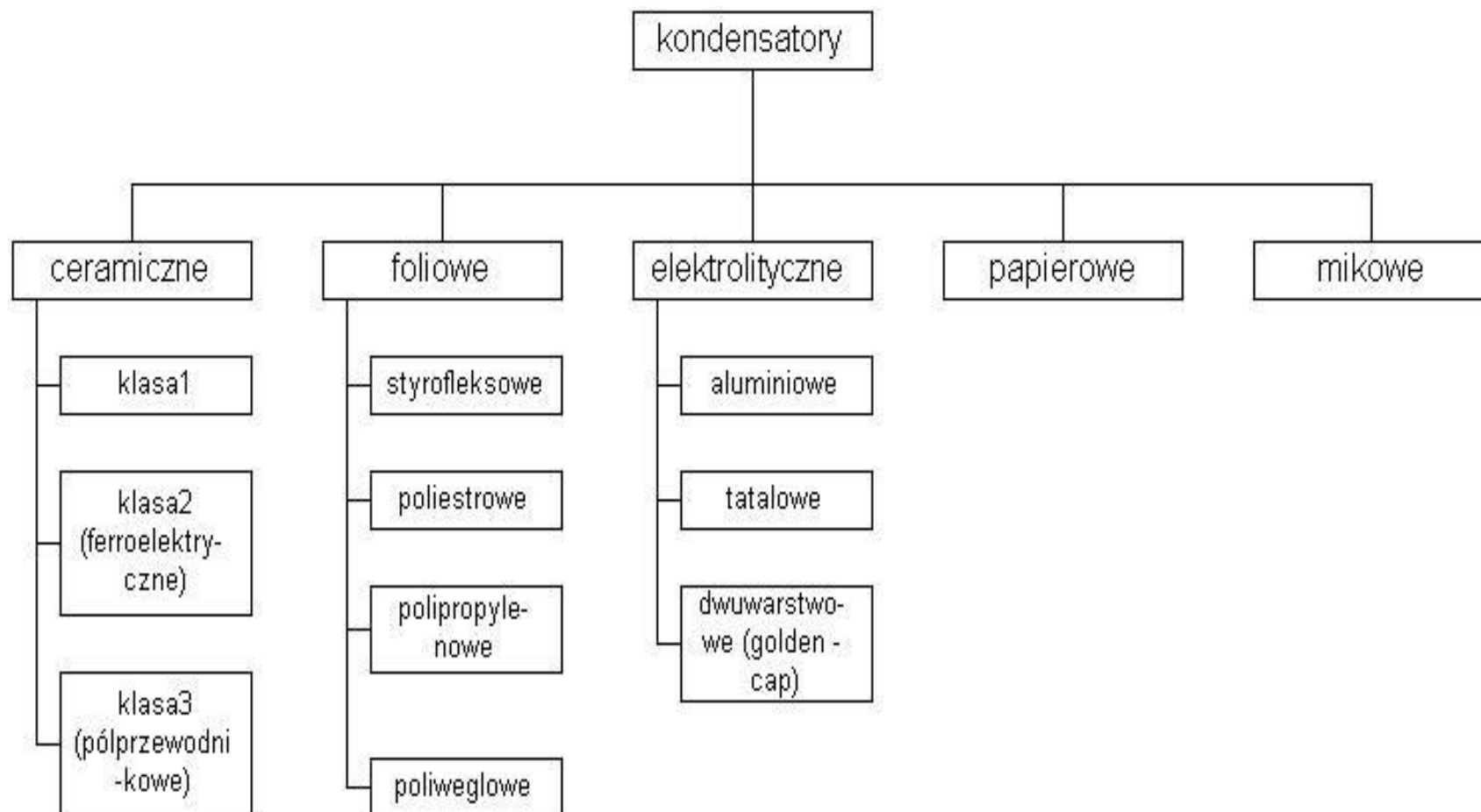
## POTENCJOMETRY - CHARAKTERYSTYKI



Charakterystyki rezystorów zmiennych:

(LG) logarytmiczna, (L) liniowa, (W) wykładnicza, (M) typu M, (S) typu S, (N) typu N. ( $\alpha$  - kąt obrotu)



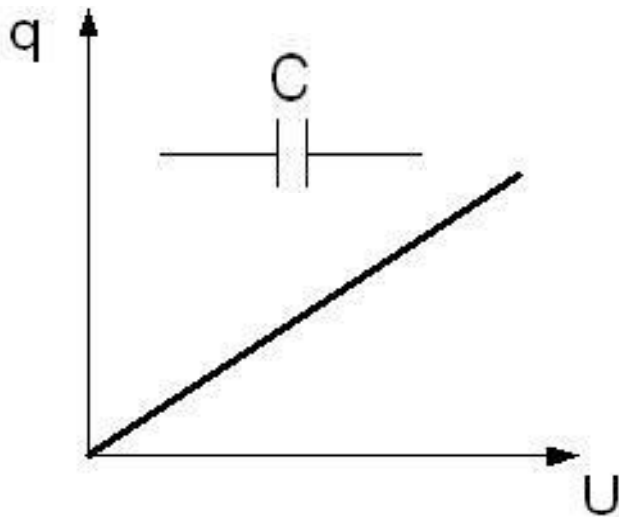


## KONDENSATORY - DEFINICJE

Kondensator - element gromadzący ładunek elektryczny.

Zależność pomiędzy  
ładunkiem i napięciem:

$$q = Cu$$



Charakterystyka kondensatora  
liniowego

Energia:

$$W = \frac{U^2 C}{2}$$

Naładowanie lub rozładowanie kondensatora trwa przez określony czas:

$$\tau = RC$$

gdzie: R jest rezystancją przez jaką ładujemy lub rozładujemy kondensator, a  $\tau$  [s] podaje czas po jakim napięcie na kondensatorze osiągnie 63.2% wartości maksymalnej ( $1-e^{-1}$ ). Pełne naładowanie następuje po czasie ok.  $5\tau$ .

W obwodach prądu zmiennego kondensator jest scharakteryzowany przez **reaktancję pojemnościową**:

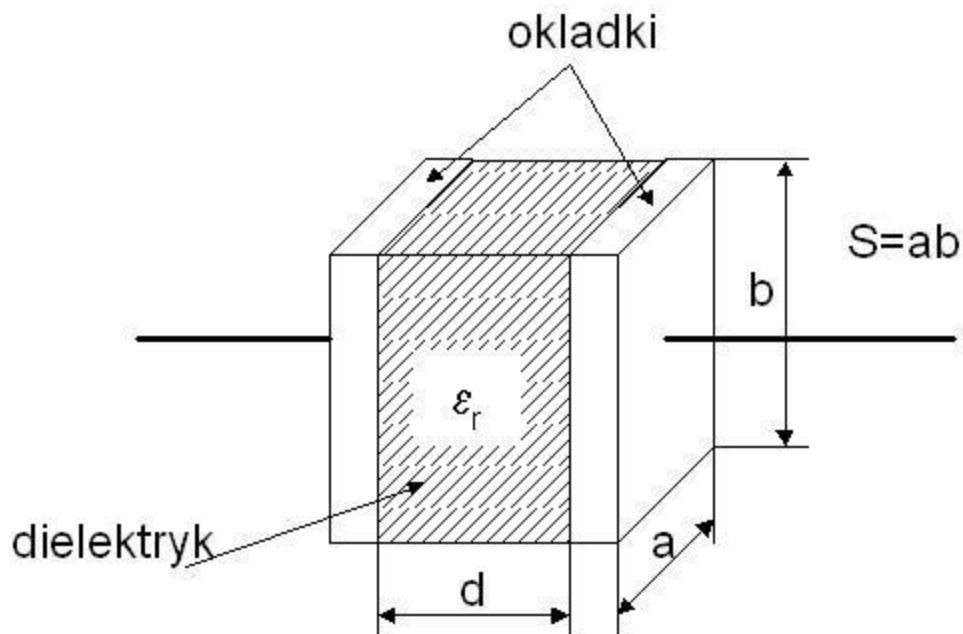
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C}$$

Prądy i napięcia na kondensatorze opisuje prawo Ohma:

$$i(\omega) = \frac{u(\omega)}{X_C(\omega)}$$

- Istnieją także kondensatory nieliniowe, których pojemność zmienia się w zależności od przyłożonego dodatkowego napięcia.
- Energia w kondensatorze jest gromadzona w postaci pola elektrycznego. Część energii zamieniana jest w ciepło powodując nagrzewanie się elementu.
- Przy projektowaniu układów elektronicznych z wykorzystaniem kondensatorów należy wyznaczyć wartość pojemności kondensatora oraz warunki jego pracy.

## KONDENSATORY PŁASKI



Pojemność:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$$

## KONDENSATORY - PARAMETRY

Pojemność znamionowa i tolerancja – wartości pojemności są rozłożone, podobnie jak w przypadku rezystancji, w szeregi. Producent podaje informację o wartości kondensatora i jego tolerancji.

Są różne sposoby oznaczania kondensatorów:

- na obudowie podawana jest liczbowo wartość pojemności, tolerancja zakodowana literowo i zakodowana kolorową kropką/paskiem wartość temperaturowego współczynnika pojemności

Wartości są ułożone w szeregach: E6 (20%), E12 (10%), E24 (5%).

## Występujące wartości tolerancji i ich kodowanie

<b>Tolerancja</b>	<b>Kod</b>	<b>Tolerancja</b>	<b>Kod</b>
$\pm 0.005$	E	$\pm 2.5$	H
$\pm 0.01$	L	$\pm 5$	J
$\pm 0.02$	P	$\pm 10$	K
$\pm 0.05$	W	$\pm 20$	M
$\pm 0.1$	B	$\pm 30$	N
$\pm 0.25$	C	-10....+30	Q
$\pm 0.5$	D	-10....+50	T
$\pm 1$	F	-20....+50	S
$\pm 2$	G	-20....+80	Z

- innym sposobem kodowania wartości pojemności jest podanie dwóch cyfr wartości pojemności w pF i wykładnika potęgi dziesiątki:

$$470 = 47 \cdot 10^0 = 470 \text{ pF}$$

$$561 = 56 \cdot 10^1 = 560 \text{ pF}$$

$$822 = 82 \cdot 10^2 = 8200 \text{ pF} = 8.2 \text{ nF}$$

$$334 = 33 \cdot 10^4 = 330000 \text{ pF} = 330 \text{ nF}$$

$$475 = 47 \cdot 10^5 = 4700000 \text{ pF} = 4.7 \mu\text{F}$$

- kolejnym sposobem jest kodowanie wartości pojemności za pomocą wielobarwnego kodu kropkowego lub paskowego.

Sposób kodowania:

**1kropka/pasek** (z wyraźnym odstępem od pozostałych) – oznacza wartość temperaturowego współczynnika pojemności

**2kropka/pasek** – pierwsza cyfra wartości pojemności

**3kropka/pasek** – druga cyfra wartości pojemności

**4kropka/pasek** – mnożnik

**5kropka/pasek** – tolerancja; dla  $C < 10\text{pF}$  podawana w  $[\pm\text{pF}]$ ; dla  $C > 10\text{pF}$  podawana w  $[\%]$

Przyporządkowanie odp. cyfr kolorom, w kodowaniu wartości pojemności (2 i 3 kropka/pasek), jest takie same jak dla rezystorów

## Kodowanie mnożnika kolorami

<b>KOLOR</b>	<b>MNOŻNIK</b>
srebrny	0.01
złoty	0.1
czarny	1
brązowy	10
czerwony	100
pomarańczowy	1000

## Kodowanie tolerancji kolorami

KOLOR	TOLERANCJA	
	$C < 10 \text{ pF}$ [ $\pm \text{pF}$ ]	$C > 10 \text{ pF}$ [%]
srebrny	-	10
złoty	-	5
czerwony	2	2
niebieski	0.25	-
biały	1	-
granatowy	0.5	20

**Dopuszczalne napięcie znamionowe** – jest to chwilowa wartość sumy napięcia stałego i amplitudy napięcia zmiennego jaką można przyłożyć do końcówek kondensatora nie powodując jego uszkodzenia (przebicia warstwy dielektryka). Wartość napięcia znamionowego zależy od typu dielektryka.

Wartość napięcia znamionowego podaje się wprost na obudowie kondensatora lub koduje za pomocą litery.

## Kodowanie wartości napięcia znamionowego

<b>NAPIĘCIE ZNAMIONOWE [V]</b>	<b>LITERA</b>
25	m
40 (50)	l
63	a
100	b
160	c
250	d
400	e
630	f
1000	h
1600	i
500	nie oznacza się

## Temperaturowy współczynnik pojemności TWC:

$$TWC = \frac{1}{C} \frac{\delta C}{\delta T}$$

TWC podaje się w [%/K] lub [ppm/K].

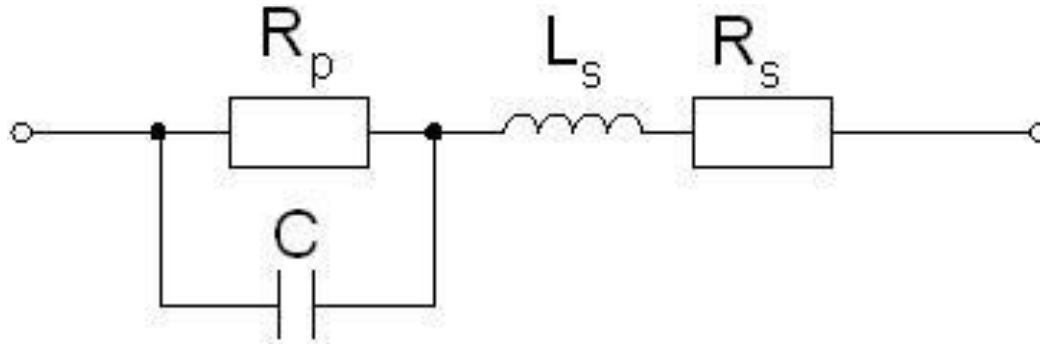
Pojemność kondensatora jest liniową funkcją temperatury i można ją wyznaczyć z zależności:

$$C(T) = C(T_0) [1 + TWC(T - T_0)]$$

gdzie:  $T_0$  wynosi 20 °C

Istnieją różne sposoby oznaczania TWC.

Oznaczenie tworzywa lub TWC w [ppm/K]	Litera kodu	Barwa kropki/paska
P100 (+100)	A	granatowy
P33 (+33)	B	różowy
NP0 (0)	C	czarny
N33 (-33)	H	brązowy
N47 (-47)	N	Brak
N75 (-75)	L	czerwony
N150 (-150)	P	pomarańczowy
N220 (-220)	R	żółty
N330 (-330)	S	zielony
N470 (-470)	T	niebieski
N750 (-750)	U	fioletowy
N1500 (-1500)	W	pomarańcz. - pomarańcz
N2200 (-2200)	K	żółto – pomarańcz.
N3300 (-3300)	D	zielono - pomarańcz
N4700 (-4700)	E	niebiesko – pomarańcz.
N5600 (-5600)	F	czarno – pomarańcz.
+140...-870	SL	szary
+250...-1750	UM	biały



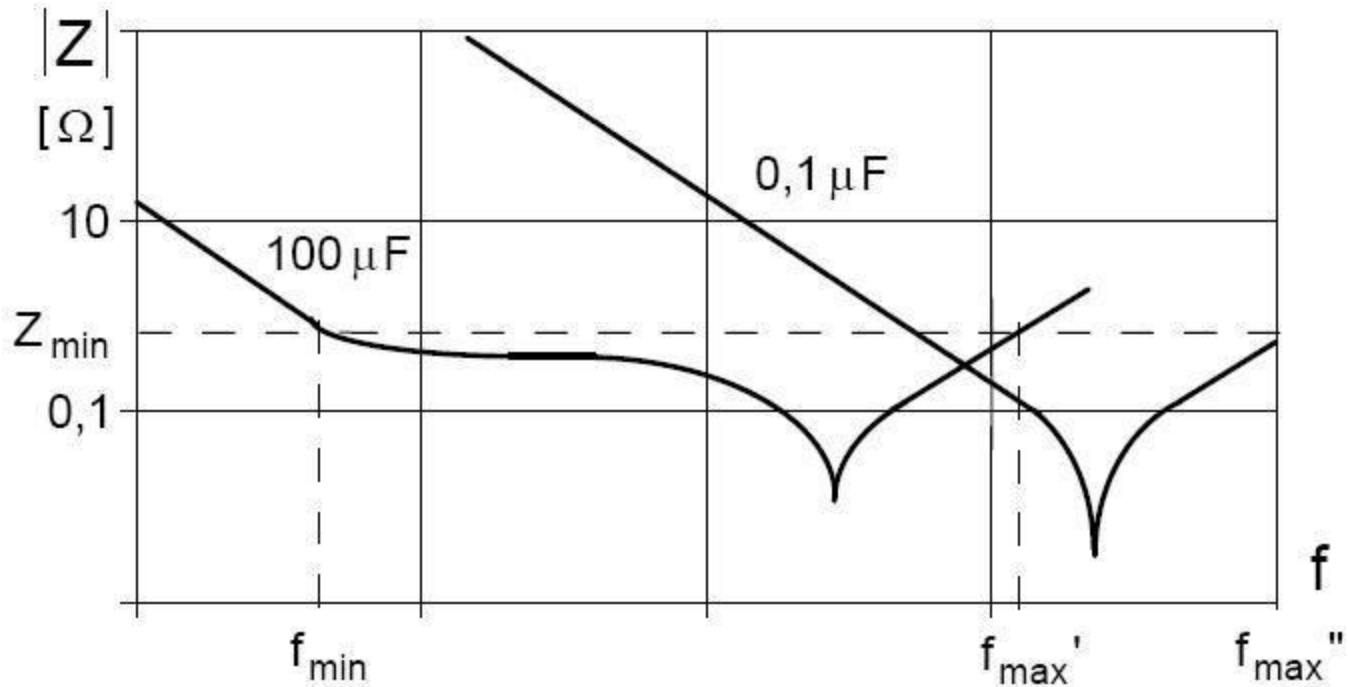
Schemat zastępczy kondensatora:

$R_s$  – rezystancja szeregową doprowadzeń, elektrod, elektrolitu jak również strat w dielektryku,

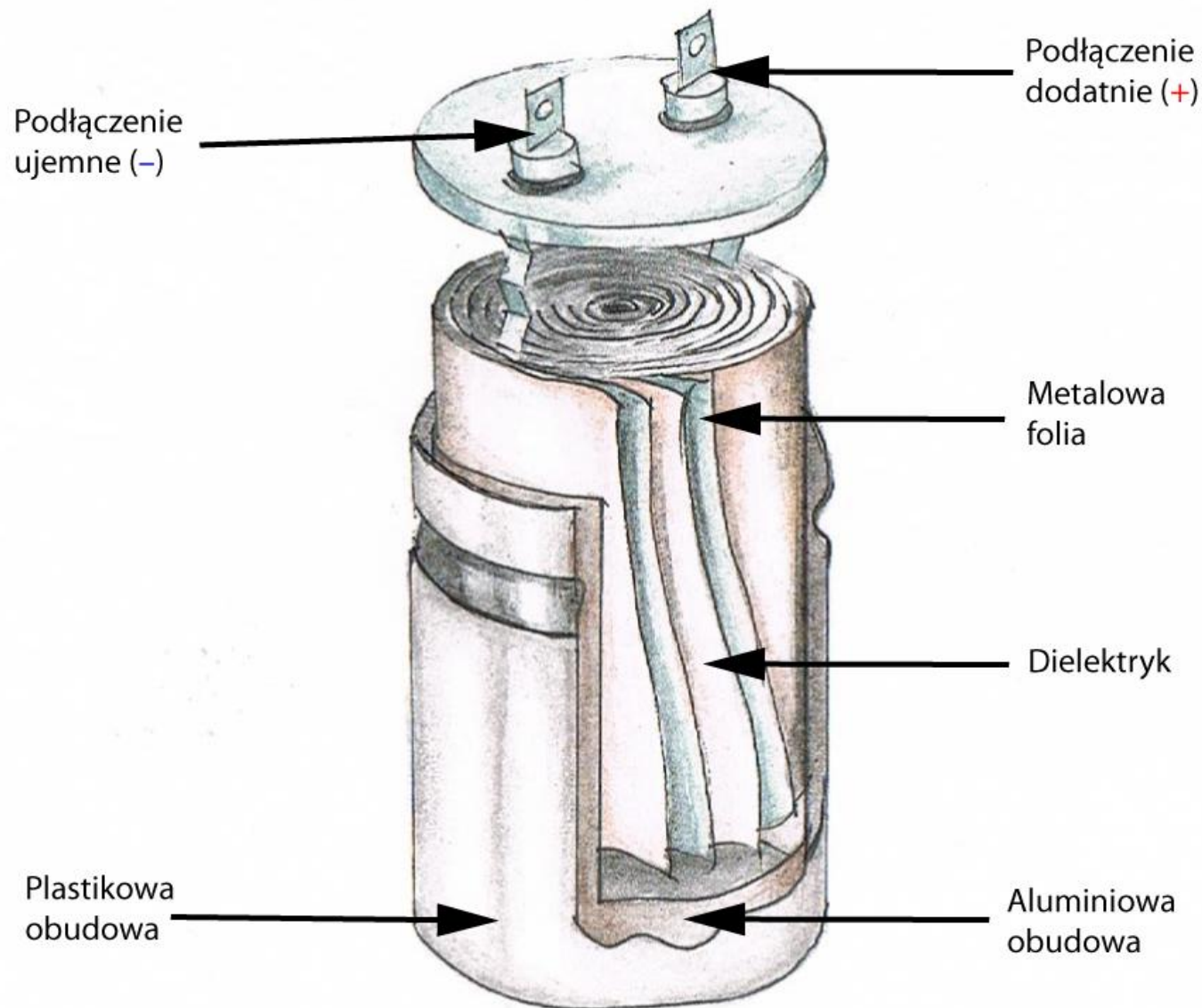
$R_p$  – rezystancja izolacji (upływu),

$L_s$  – indukcyjność doprowadzeń i elektrod,

$C$  – pojemność



Przykładowe przebiegi impedancji kondensatorów:  
elektrolitycznego i ceramicznego



# Capacitor Types

Paper



Polystyrene



Bipolar



Electrolytic



Polycarbonate



Polyester



Mylar



Silver Mica



Ceramic



Tantalum Electrolyte



Feed Through

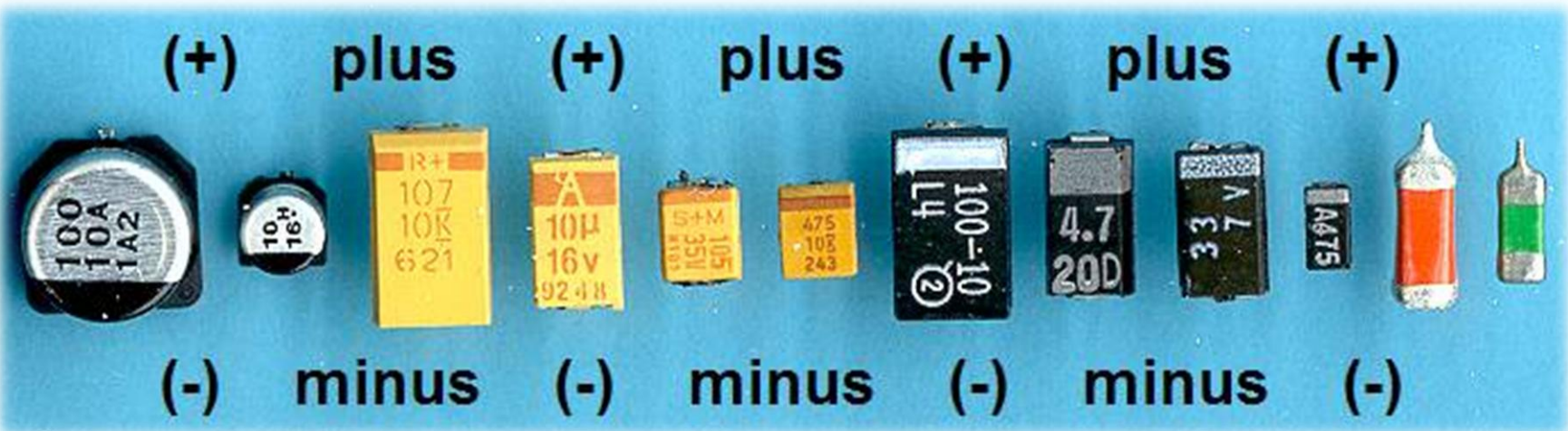
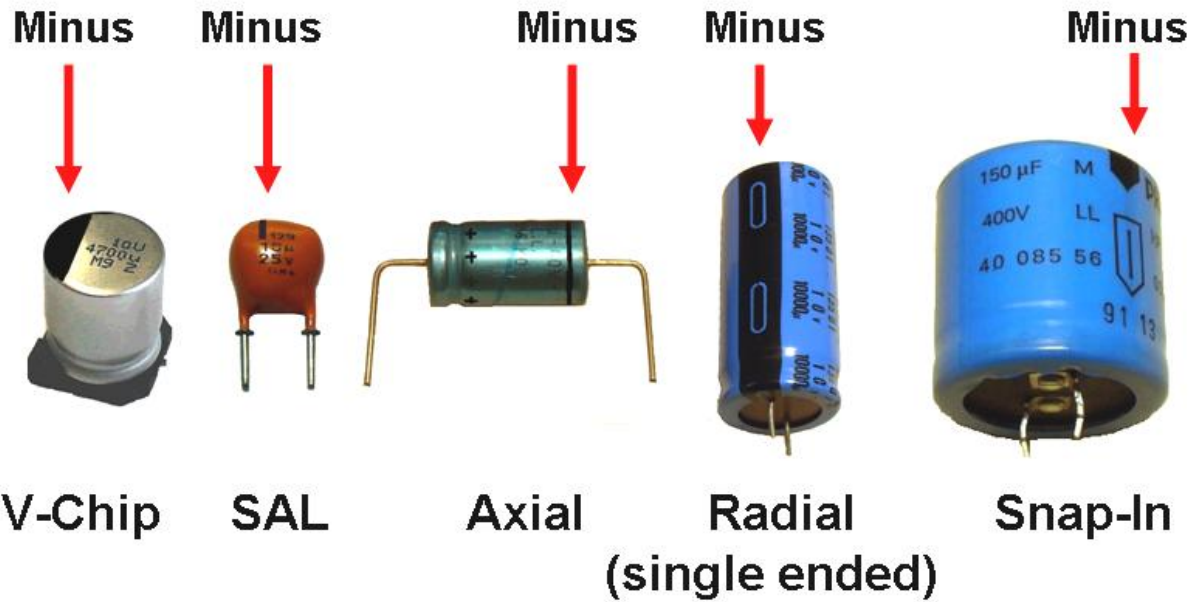


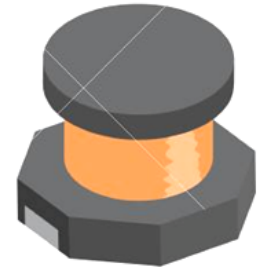
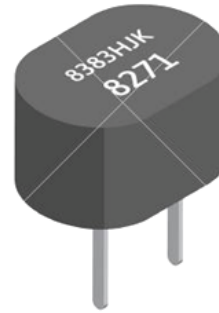
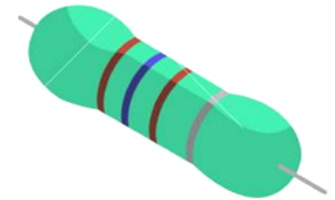
Trimmer



Variable

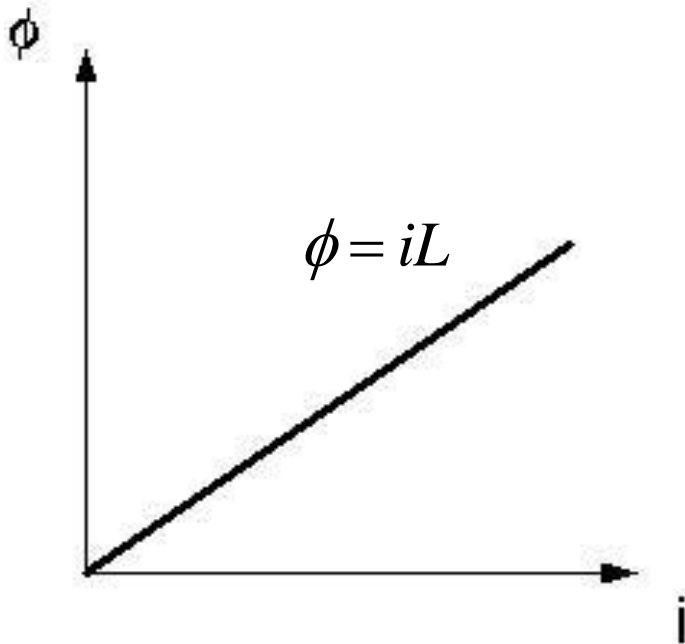






## ELEMENTY INDUKCYJNE - DEFINICJE

Induktor (cewka indukcyjna, dławik) – jest elementem gromadzącym energię elektryczną w polu magnetycznym

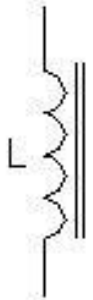


Charakterystyka liniowego induktora

Indukcyjność  $L$ :

$$L = \frac{d\phi}{di}$$

Wyrażana jest w [H].

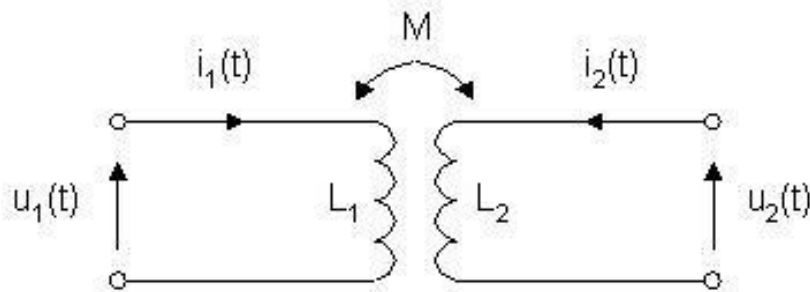


Często stosuje się jednostki pochodne: [mH], [ $\mu$ H] lub [nH]

Napięcie na cewce:

$$u = -L \frac{di}{dt}$$

Często stosuje się cewki sprzężone magnetycznie:



$$u_1(t) = -L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2(t) = -L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt}$$

Indukcyjność wzajemna:

$$M_{MAX} = \sqrt{L_1 L_2}$$

Współczynnik sprzężenia:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

Energia gromadzona w cewce:

$$W = \frac{I^2 L}{2}$$

Gromadzenie lub oddawanie energii przez cewkę trwa przez określony czas:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

gdzie:

R jest rezystancją przez jaką ładujemy lub rozładowujemy cewkę,  
a  $\tau$  [s] podaje czas po jakim napięcie na kondensatorze osiągnie 63.2% wartości maksymalnej ( $1 - e^{-1}$ ).

Pełne naładowanie następuje po czasie ok.  $5\tau$ .

## Podział cewek:

- a) dławiki – służą do tłumienia napięć zmiennych
- b) cewki indukcyjne – wykorzystywane w obwodach rezonansowych filtrów i generatorów
- c) transformatory – służące do przekazywania energii elektrycznej, zmieniając wartości napięć lub prądów (podwyższając je lub obniżając), lub służą do separacji galwanicznej obwodów





## ELEMENTY INDUKCYJNE - BUDOWA

Typowy element indukcyjny składa się z następujących elementów:

- a) uzwojenia
- b) magnetowodu (rdzenia)
- c) karkasu (korpusu uzwojenia)
- d) korpusu obudowy
- e) końcówek, podkładek, obejm
- f) ekranu

Najważniejsze dla parametrów cewki są dwa pierwsze elementy.

Uzwojenia są wykonywane z materiałów o dobrej przewodności elektrycznej np.: miedzi, srebra.

W uzwojeniu występują straty dla prądu stałego i zmiennego.

Straty dla prądu stałego – rezystancja drutu nawojowego. Straty dla prądu zmiennego – rezystancja drutu nawojowego + efekt naskórkowości (ang. skin effect).

- Efekt naskórkowy związany jest z nierównomiernym rozkładem prądu płynącego przez przewodnik. Ze wzrostem częstotliwości największa gęstość (czasami całość) prądu występuje przy powierzchni zewnętrznej przewodu. Wtedy wzrastają straty w przewodniku.
- Parametrem opisującym efekt naskórkowy jest **głębokość wnikania**:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

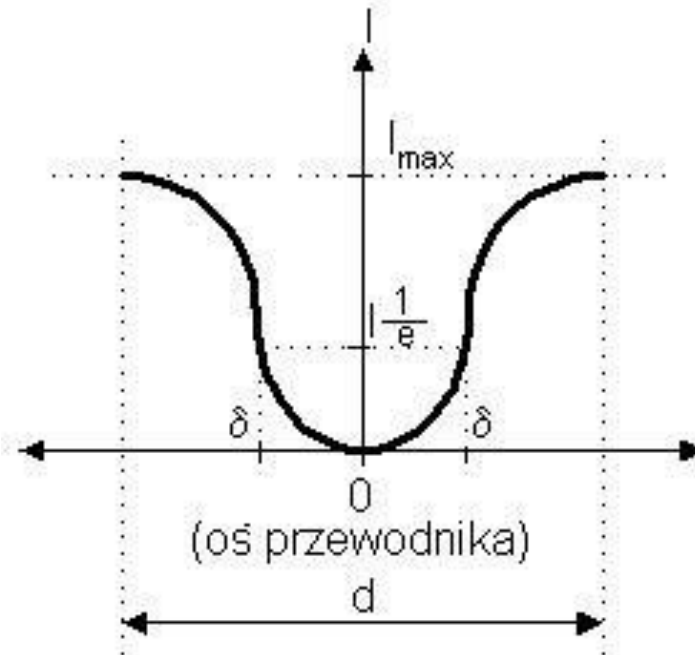
gdzie:

$\rho$  - rezystywność przewodnika [ $\Omega\text{m}$ ] (dla miedzi –  $17.2\text{n}\Omega\text{m}$ );

$\mu_r$  – względna przenikalność magnetyczna przewodnika (dla miedzi równa 1),

$f$  = częstotliwość

## ELEMENTY INDUKCYJNE - UZWOJENIA

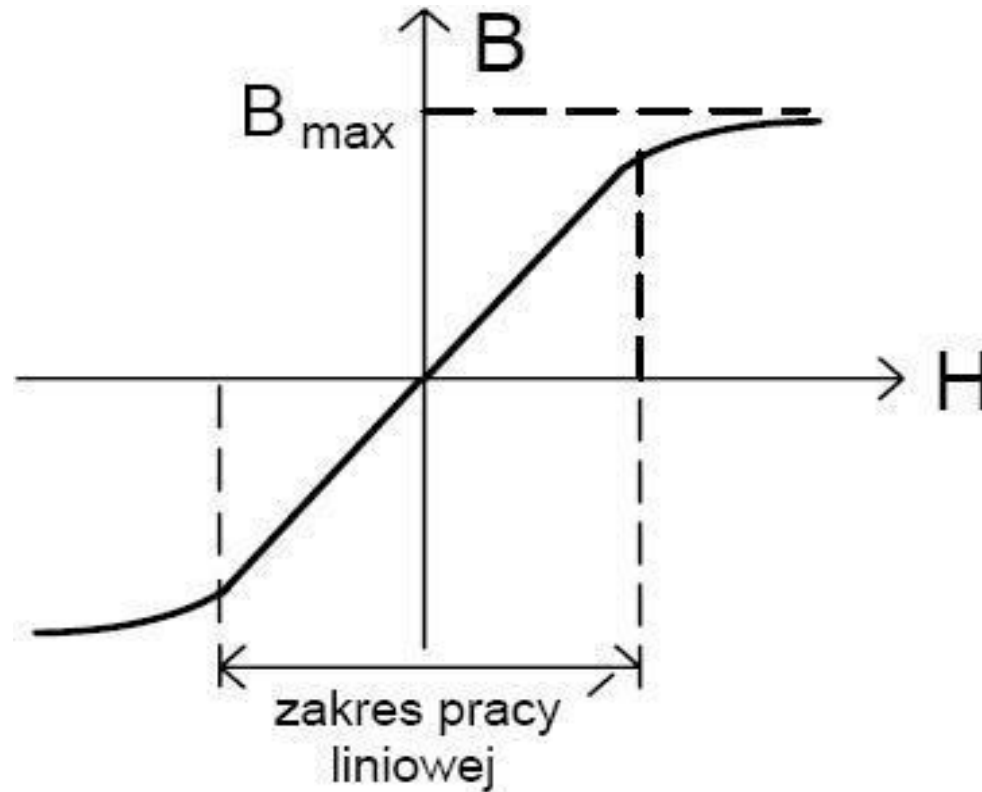


Rozkład prądu w. cz. w przewodniu w zależności od odległości od jego powierzchni

Przykładowo dla miedzi:  $f = 10\text{kHz}$   $\delta = 1\text{mm}$ ,  $f = 1\text{MHz}$   $\delta = 0.1\text{mm}$ ,  $f = 100\text{MHz}$   $\delta = 0.01\text{mm}$

## ELEMENTY INDUKCYJNE - MAGNETOWODY

Rdzeń, umieszczony wewnątrz cewki, skupia strumień magnetyczny, zwiększając jednocześnie jej indukcyjność.



Zależność indukcji od natężenia pola w magnetowodzie

## Natężenie pola:

$$H = \frac{Iz}{l}$$

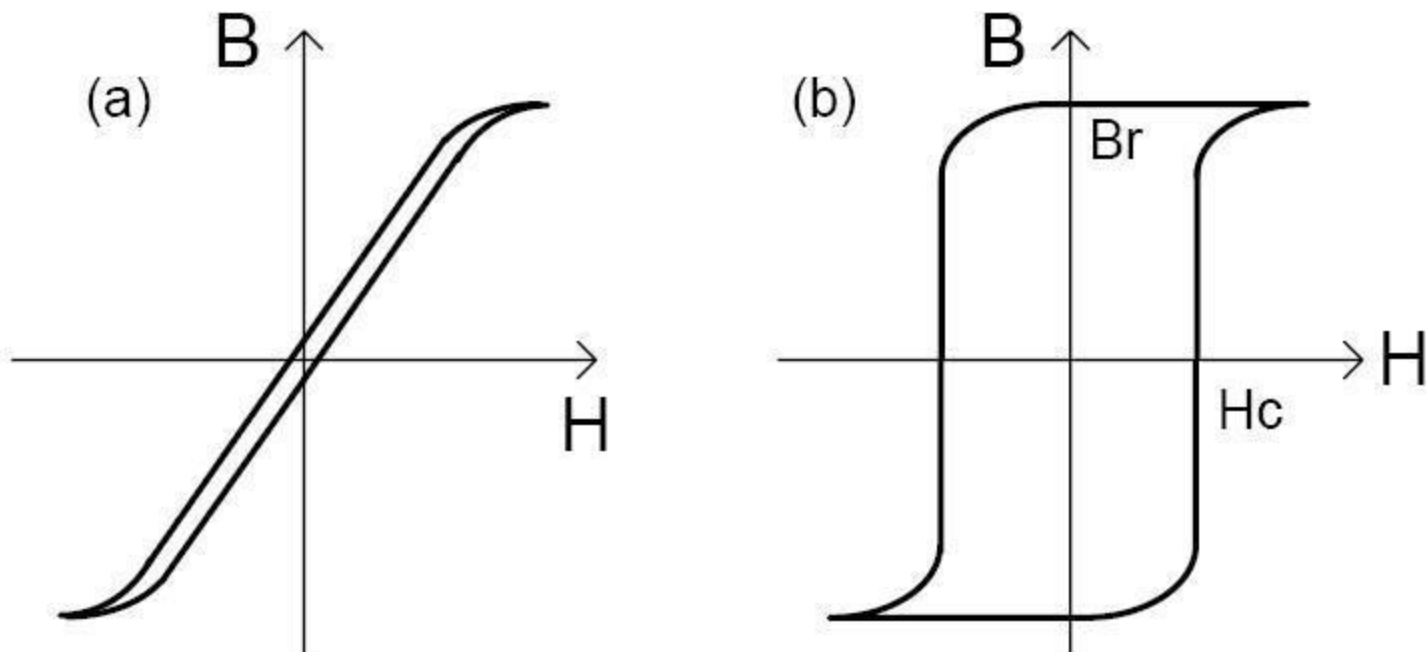
gdzie:  $z$  - liczba zwojów,  $I$  – natężenie prądu,  $l$  – średnia dł. zwoju

## Indukcja magnetyczna:

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

gdzie:  $\mu_r$  – przenik. magn. względna;  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  H/m

Przy pracy liniowej indukcyjność cewki z rdzeniem nie zależy od prądu.



Krzywe magnesowania materiałów: a) miękkiego, b) twardego

**Histeresa** – zjawisko zależności aktualnego stanu układu od stanów w poprzedzających chwilach. Inaczej – opóźnienie w reakcji na czynnik zewnętrzny. Zjawisko odkrył i nazwał James Alfred Ewing w roku 1890.

Najbardziej znane przypadki histerezy występują w materiałach magnetycznych, głównie w ferromagnetycznych, gdzie namagnesowanie następuje dopiero po pewnym wzroście zewnętrznego pola magnetycznego.

W urządzeniach, w których następuje wielokrotne magnesowanie (np. rdzenie transformatorów), histereza postrzegana jest jako problem, ponieważ jej pole powierzchni jest proporcjonalne do strat energii podczas jednego cyklu przemagnesowania.

W takich sytuacjach, poprzez odpowiedni skład chemiczny, obróbkę plastyczną i obróbkę termiczną dąży się do minimalizacji jej powierzchni.

<b>Rodzaj materiału</b>	<b>Właściwości</b>
Feryt manganowo - cynkowy	Najwyższa wartość przenikalności magnetycznej i indukcji nasycenia strumienia, transformatory zasilaczy dla $f < 1\text{MHz}$ , filtry przeciwzakłóceń
Feryt niklowo - cynkowy	Małe straty, zastosowania w układach w.cz., filtry przeciwzakłóceń
Rdzenie proszkowe	Duże prądy uzwojeń, duża wartość indukcji nasycenia, dobra stabilność temperaturowa i dobroć, zastosowanie – m. cz.
Rdzenie z blach stalowych	Transformatory sieciowe, duże straty, zastosowanie w zasadzie dla $f < 1\text{kHz}$

## INDUKCYJNOŚĆ ODCINKA PRZEWODU

Indukcyjność odcinka przewodu wyraża zależność:

$$L = 0.002l \left( \ln\left(\frac{4l}{d}\right) - x \right) \quad [\mu\text{H}]$$

gdzie:

$L$  - długość przewodu [cm],  
 $d$  – średnica [cm]

Zmienna  $x$  zależy od kształtu przewodu i częstotliwości:

Kształt przewodu i częstotliwość	$x$
Prosty przewód dla m. cz.	0.75
Prosty przewód dla w. cz.	1
Krąg jednozwojowy dla m. cz.	2.2
Krąg jednozwojowy dla w. cz.	2.45
Kwadrat jednozwojowy dla m. cz.	2.6
Kwadrat jednozwojowy dla w. cz.	2.85

## Indukcyjność jednowarstwowej cewki powietrznej

Cewkę powietrzną jednowarstwową stosuje się dla zakresu częstotliwości od ok. kilku MHz do ok. 1 GHz.

Indukcyjność jednowarstwowej cewki powietrznej:

gdzie:

$d$  – średnica cewki [cm],

$l$  – długość cewki [cm],

$z$  – liczba zwojów.

$$L = \frac{0.08d^2 z^2}{3d + 9l} \quad [\mu\text{H}]$$

Średnica drutu powinna być przy najmniej pięć razy mniejsza niż średnica cewki

## ELEMENTY INDUKCYJNE – INDUKCYJNOŚĆ WIELOWARSTWOWEJ CEWKI POWIETRZNEJ

Indukcyjność wielowarstwowej cewki powietrznej  
wyznaczamy z zależności:

$$L = \frac{0.08d^2 z^2}{3d + 9l + 10a} \quad [\mu\text{H}]$$

Gdzie:

$d$  – średnica cewki [cm],

$l$  – długość cewki [cm],

$z$  – liczba zwojów,

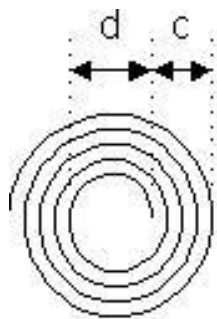
$a$  – jest grubością uzwojenia wzdłuż promienia [cm]

## ELEMENTY INDUKCYJNE – INDUKCYJNOŚĆ CEWEK DRUKOWANYCH

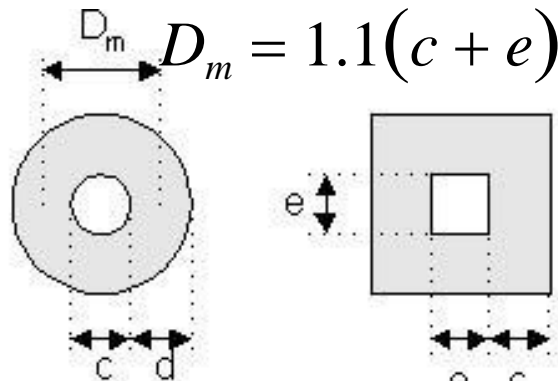
Indukcyjność cewek trawionych bezpośrednio na laminacie dana jest zależnością:

$$L = zD_m (zK_1 + K_2) \quad [\mu\text{H}]$$

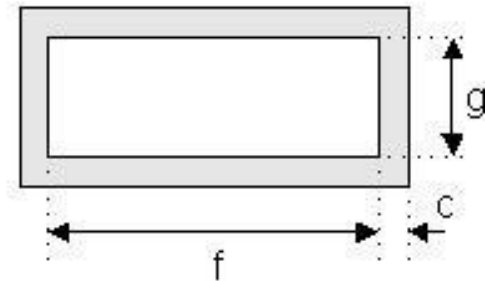
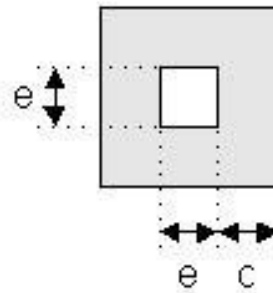
gdzie:  $z$  – liczba zwojów,  $D_m$  – średnica cewki [cm],  $K_1$  i  $K_2$  stałe zależne od kształtu cewki.



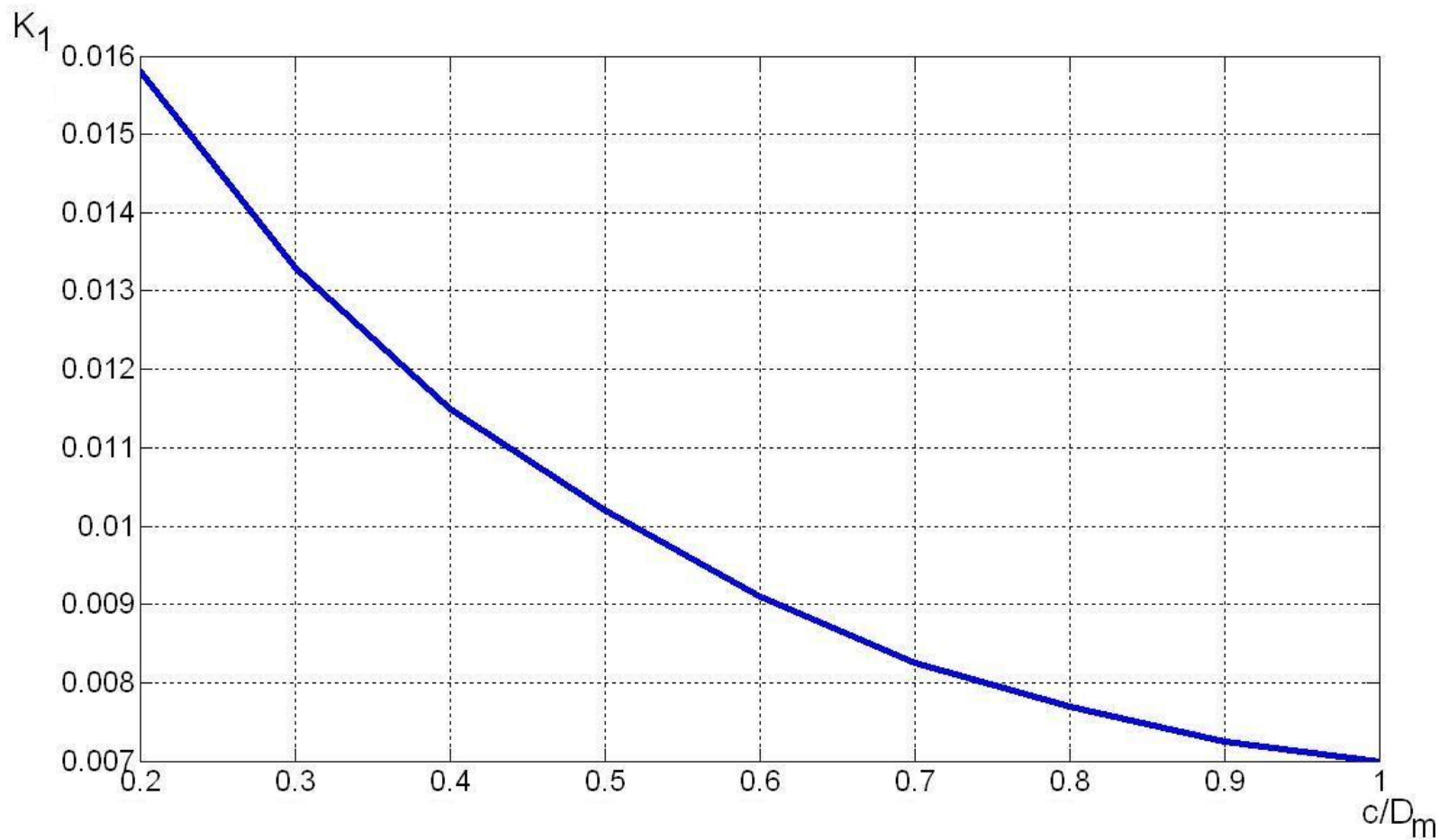
$$D_m = c + d$$



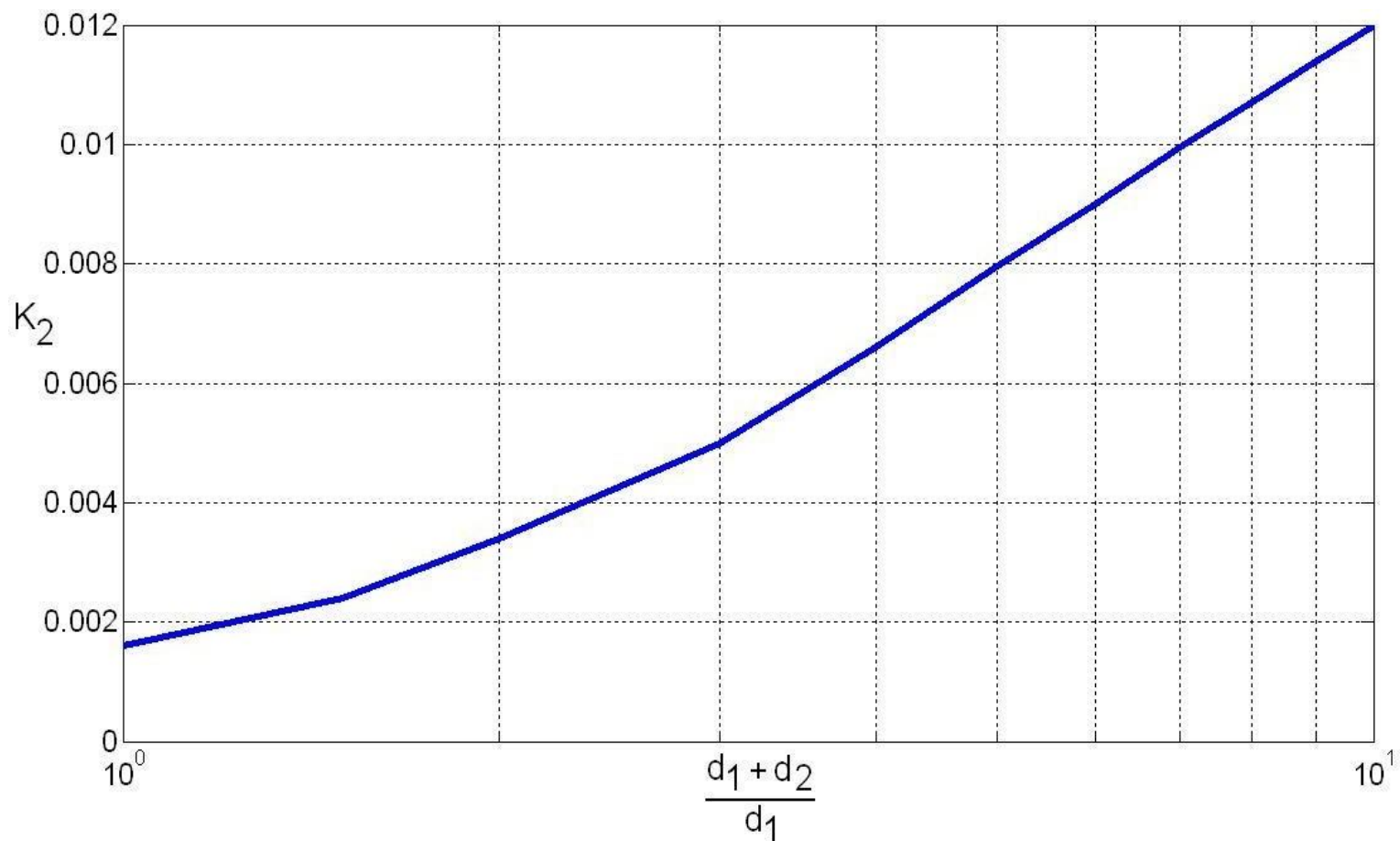
$$D_m = c + d$$



$$D_m = 1.1\sqrt{(c + g)(c + f)}$$



Wykres pomocny do wyznaczenia  $K_1$



Wykres pomocny w wyznaczaniu stałej  $K_2$

## ELEMENTY INDUKCYJNE – INDUKCYJNOŚĆ CEWKI Z RDZENIEM

Indukcyjność cewki z rdzeniem otwartym:

$$L = L_0 \mu_{sk}$$

gdzie:  $L_0$  jest indukcyjnością cewki bez rdzenia (powietrznej),  
 $\mu_{sk}$  – jest przenikalnością magnetyczną skuteczną rdzenia

W przypadku cewki z rdzeniem zamkniętym jej indukcyjność dana jest wyrażeniem:

$$L = ALz^2$$

gdzie: liczba  $AL$  zależy od parametrów rdzenia i jest podawana przez producenta.

Wprowadzenie szczeliny – zmniejsza indukcyjność, zwiększa  $I_{max}$  i poprawia liniowość rdzenia

## ELEMENTY INDUKCYJNE – PARAMETRY

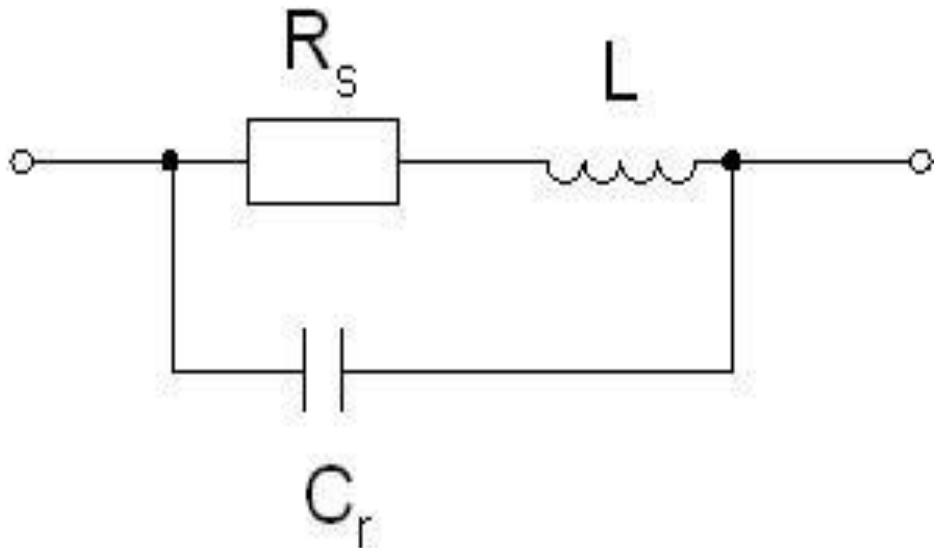
**Wartości indukcyjności** cewek mogą być rozłożone w szeregi.

W większości przypadków cewki są strojone z pomocą ruchomego rdzenia. Dla takich cewek podaje się wartość cewki i zakres przestrajania tej wartości.

Szczegółowe dane cewek znajdujemy w katalogach. Dla cewek stosowanych w obwodach śr. cz. i w. cz. są one w szeregi ze względu na wymiary obudowy cewki: 7x7 (wys. 12.6mm), 12x12 (wys. 19mm) 12x28 (wys. 19mm) itd.

Dopiero w katalogu można znaleźć informację o budowie cewki: ilość uzwojeń, rozłożenie wyprowadzeń, indukcyjność i zakres jej przestrajania)

**Dobroć** – określa zdolność cewki do gromadzenia energii w polu magnetycznym w odniesieniu do strat energii w jednym cyklu pobudzenia:



$$Q = \frac{X}{R_s} = \frac{\omega L}{R_s}$$

Schemat zastępczy cewki:

$R_s$  – rezystancja strat (rezyst. uzwojeń, naskórkowość, straty na prądy wirowe i histerezę),

$C_r$  – pojemność pomiędzy warstwami uzwojenia i między zwojami)

Typowe wartości dobroci to zakres 50 –200 dla częstotliwości 100kHz – 30MHz.

Przy  $f=100\text{kHz}$ , dla cewek nawiniętych licą z zamkniętym rdzeniem  $Q=1000$ .

W zakresie mikrofalowym, gdy cewką jest odcinek linii długiej lub rezonator wnękowy  $Q$  może przekraczać kilka tysięcy.

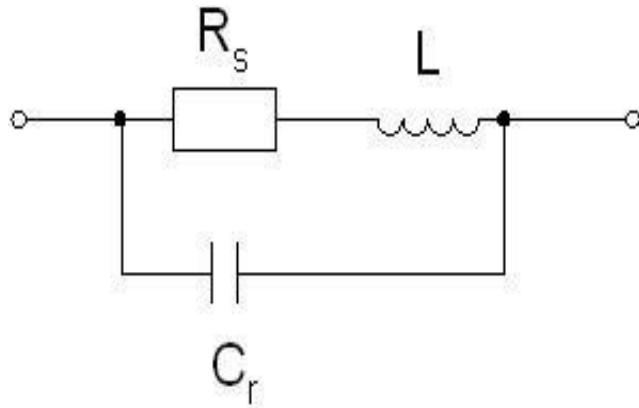
**Dopuszczalna wartość prądu** – drut musi mieć odpowiednią średnicę ze względu na gęstość prądu  $J$  (stosunek natężenia prądu do powierzchni przekroju poprzecznego drutu). Drut się nagrzewa i w ekstr. sytuacji może się przepalić. Dlatego ważne są warunki chłodzenia. Średnica drutu dla zakresu m. cz.:

$$d = 1.13 \sqrt{\frac{I}{J}}$$

Dla miedzi  $J=2.5\text{A/mm}^2$  i zależność przybiera postać:

$$d = 0.8 \sqrt{I}$$

## Elementy pasożytnicze



Schemat zastępczy cewki

Występuje rezonans własny:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_r}}$$

Dla częstotliwości powyżej  $f_r$  cewka traci właściwości indukcyjne.

Dlatego dla np. dławików szerokopasmowych stosuje się szeregowe połączenie kilku cewek o różnych wartościach indukcyjnościach (różnych  $f_r$ )

# Dziękuję za uwagę



mgr inż. Robert Czak

*tel: 0048 603687444*

*mail: robert.czak@op.pl*