



.....  
Imię

.....  
Nazwisko

.....  
Przedmiot

.....  
Klasa



## ELEKTRONIKA

Warunki zaliczenia

Jan Bober

• laboratoria - 8 zajęć po 5 ptk = 40 ptk

• projekt 10 ptk

• kolokwia wykładowe 2 razy po 5 ptk =  $\frac{10 \text{ ptk}}{60 \text{ ptk}}$

4,5 48,5-54  
5 > 54 ptk

sala 109, gablotka z info

Literatura:

Ossowski, Siwek, Śmiaty

"Teoria obwodów"

Bolkowski

"Teoria obwodów elektronicznych"

"Zbiór zadań z teorii obwodów"

"Podstawy miernictwa"

"Program analizy"

Skrypt PIJWSTK

16 listopada I kolokwium

25 listopada II kolokwium



## 1. Wiadomości wstępne

### 1.1 Charakterystyka ogólna przedmiotu

podstawy miernictwa i elektroniki, teoria obwodów

elementy i przyrządy półprzewodnikowe, układy elektroniczne, wzmacniacze

### 1.2 Rozwój i znaczenie elektroniki

elektronika - dziedzina wiedzy, zajmująca się praktycznym wykorzystaniem

zjawisk związanych ze sterowanym ruchem elektronów.

układ elektroniczny - zespół elementów pasywnych i aktywnych, spełniający

określoną funkcję

elektronika próżniowa - zajmuje się lampami elektronowymi (próżniowymi i gazowymi)

elektronika półprzewodnikowa - zajmuje się diodami półprzewodnikowymi,

tranzystorami, obwodami scalonymi, itp.

elektronika kwantowa - zajmuje się wykorzystaniem kwantowych właściwości materii.

1949r. - wynalezienie tranzystora bipolarnego

1961r. - wprowadzono układy scalone

1971r. - wprowadzono mikroprocesory

### 1.3 Wielkości fizyczne i jednostki wykorzystane w elektronice

cecha zjawiska fizycznego lub własności ciała, które możemy zmierzyć

## Układ SI

metr	m	długość, odległość	giga G	$10^9$
kilogram	kg	masa	mega M	$10^6$
sekunda	s	czas	kilo k	$10^3$
amper	A	prąd elektryczny	mili m	$10^{-3}$
Kelwin	K	temperatura	mikro $\mu$	$10^{-6}$
mol	mol	liczność materii	nano n	$10^{-9}$
kandela	cd	światłość	piko p	$10^{-12}$

### 1.4 Zjawisko prądu elektrycznego

prąd elektryczny - uporządkowany przepływ ładunków elektrycznych

przewodnik I rodzaju - zależy przewodność, metale, stopy, węgiel

II rodzaju - roztwory zasad, kwasów i soli, tzn. elektrolity



## 2. Modele zjawisk elektrycznych

### 2.1 Ograniczenie stosowności teorii obwodów

teoria pola - opis współrzędnych przestrzennych, stałe materiałowe, rozkład pola

teoria obwodów - ograniczamy przestrzeń w układzie,  $\frac{1}{2}$  elm pasywne  $l_{max} \ll \frac{\lambda}{4}$

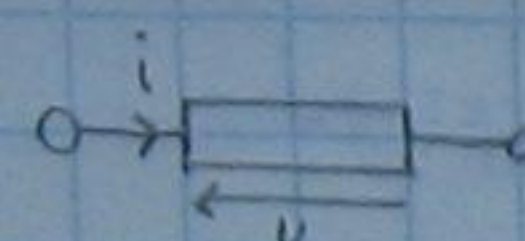
### 2.2 Element, obwód, układ

element - części składowa do, niepodzielna do względem funkcyjnym

źródłowe (aktywne) - dostarczają do układu pewnej energii

odbiorcze (pasywne) np. kondensator, rezystor, tranzystor, dioda...

### 2.3 Sygnaty elektryczne, moc, energia

 napięcie jest przeciwna do prądu

$$P = U \cdot I \quad [P = 1 \text{ AV}] \text{ - moc}$$

$P > 0$  - moc jest pobierana z elementu

$P < 0$  - moc jest oddawana do otoczenia

$$P_{sr} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt$$

moc średnia

$$P_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

$$P_{ch} = \frac{dw}{dt}$$

moc chwilowa

$$W(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt \text{ energia pobrana w przedziale } t_1, t_2$$

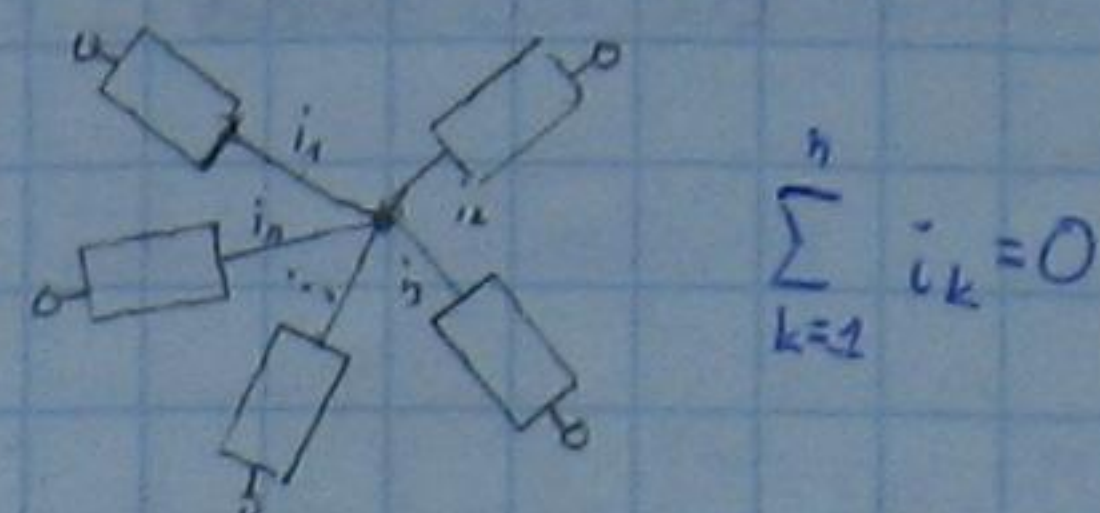
$$w(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt = W(P) \text{ energia chwilowa}$$

## 2.4 Prawa Kirchhoffa, sformułowane w 1845r.

prawo prądowe, I prawo

Dla każdego węzła obwodu suma algebraiczna prądów jest równa 0.

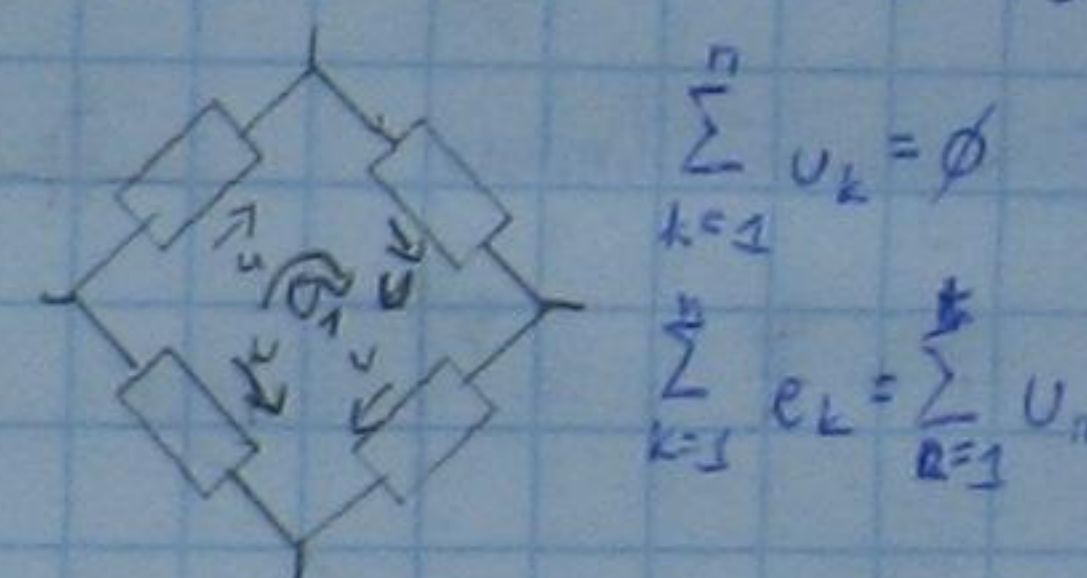
Suma prądów wpływających jest równa sumie prądów wypływających



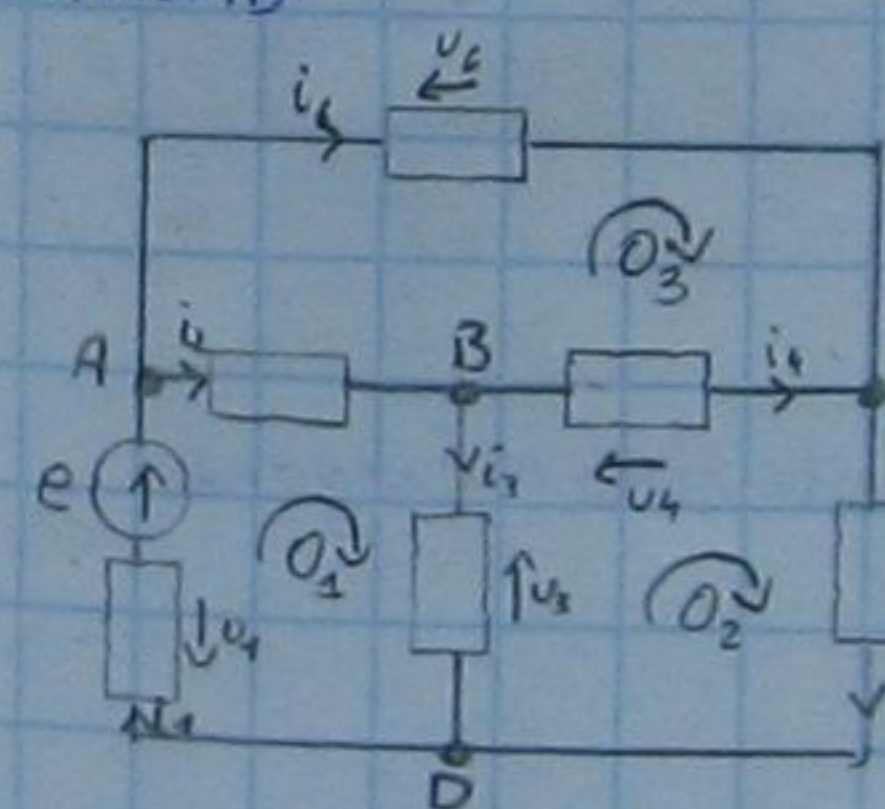
prawo napięciowe, II prawo

W dowolnym obwodzie zamkniętym algebraiczna suma napięć występująca

w węzłach jest równa 0.



### PRZYKŁAD



prawo prądowe

$$A: i_1 - i_2 - i_6 = 0$$

$$B: i_2 - i_3 - i_4 = 0$$

$$C: i_4 - i_5 + i_6 = 0$$

$$D: -i_1 + i_3 + i_5 = 0$$

$$k = n - 1 \leftarrow \text{liczba równań niezależnych}$$

$$k = 9 - 4 + 1$$

prawo napięciowe

$$O_1: e - u_1 - u_2 - u_3 = 0$$

$$O_2: u_3 - u_4 - u_5 = 0$$

$$O_3: u_2 + u_4 - u_6 = 0$$

$$k = 9 - 4 + 1$$

$$\leftarrow \text{głębokość węzła}$$

$$\leftarrow \text{węzły}$$

równanie D jest kombinacją liniową sum węzłów

$$\sum A, B, C: i_1 - i_3 - i_5 = 0 \Rightarrow D: -i_1 + i_3 + i_5 = 0 / (-1)$$



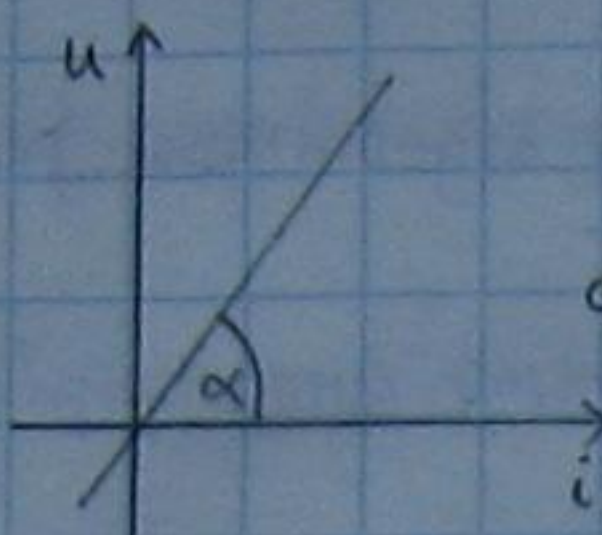
## 2.5 Elementy układów elektronicznych

### 2.5.1 Elementy dwuzaciskowe

A. opór liniowy

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

$$[R = 1 \Omega = 1 \frac{V}{A}]$$



$$R = m \cdot \tan \alpha$$

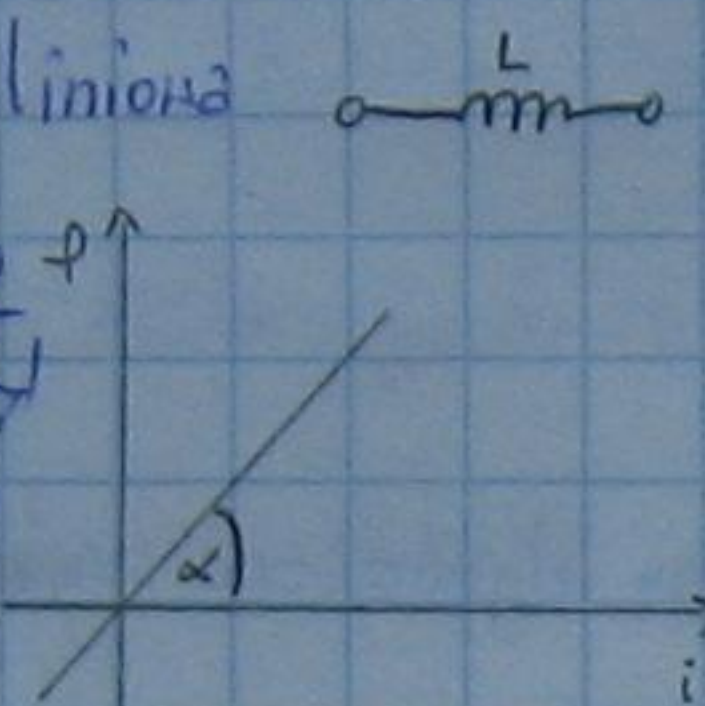
$$G = \frac{I}{U} = \frac{1}{R}$$

$$[G = 1S] \text{ siemens}$$

B. indukcyjność liniowa

$$\Psi = L \cdot I, L = \frac{\Psi}{I}$$

$$[L = 1H = \frac{1Wb}{1A}]$$



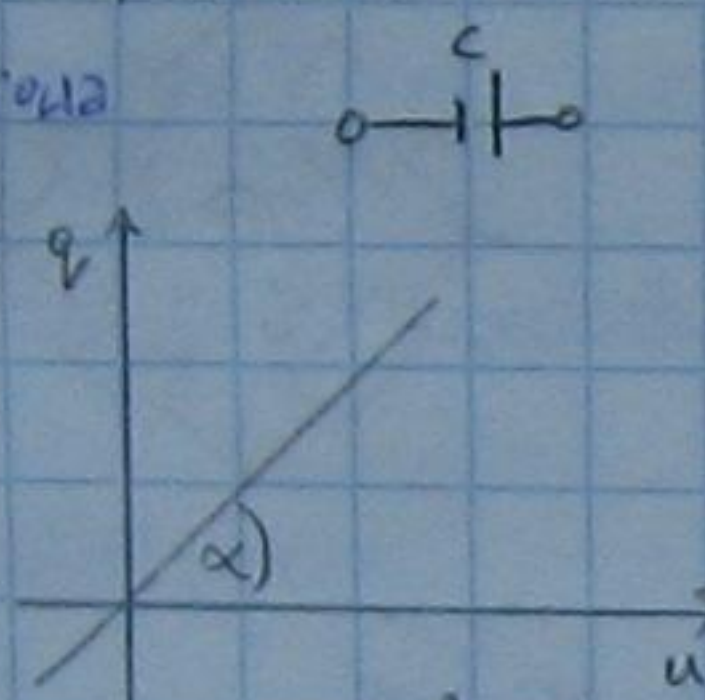
$$L = m \cdot \tan \alpha$$

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

$$i = \frac{1}{L} \int u dt$$

C. pojemność liniowa

$$C = \frac{q}{U}$$



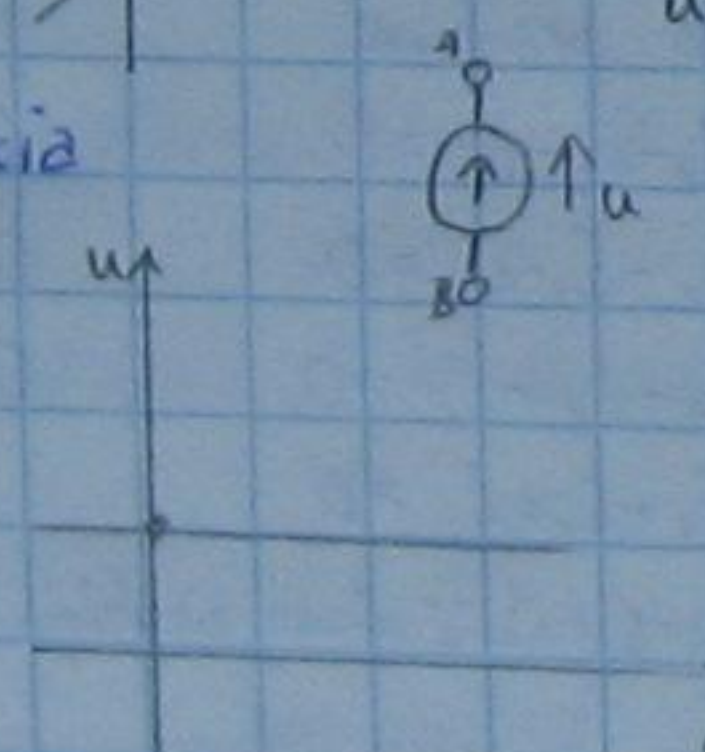
$$C = m \cdot \tan \alpha$$

$$u = \frac{1}{C} \int i dt$$

$$i = C \frac{du}{dt}$$

D. źródło napięcia

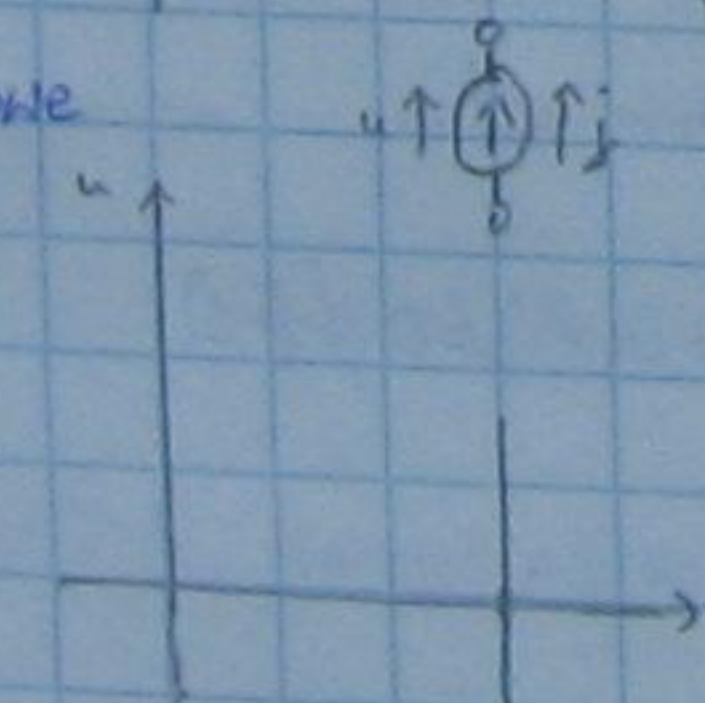
$$u = e$$



$u = e(t)$  - siła elektromotoryczna

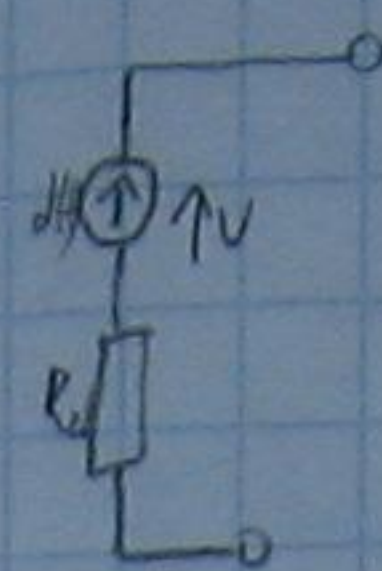
E. źródło prądowe

$$i = j$$



$i = j(t)$  - wydajność prądowa

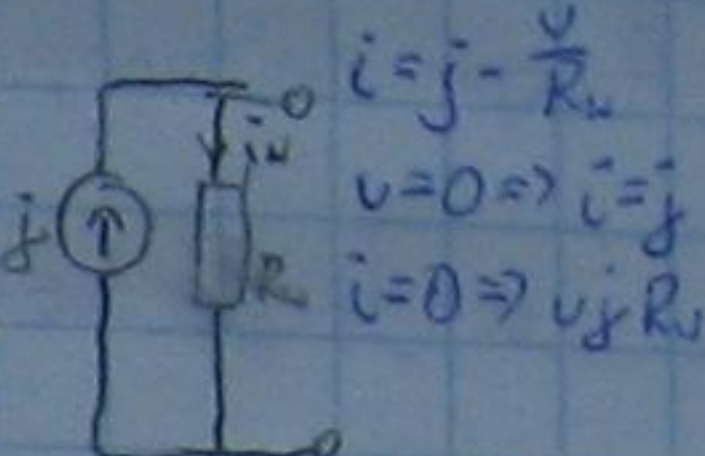
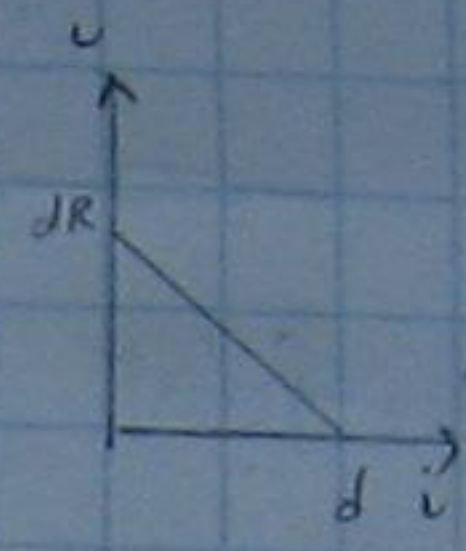
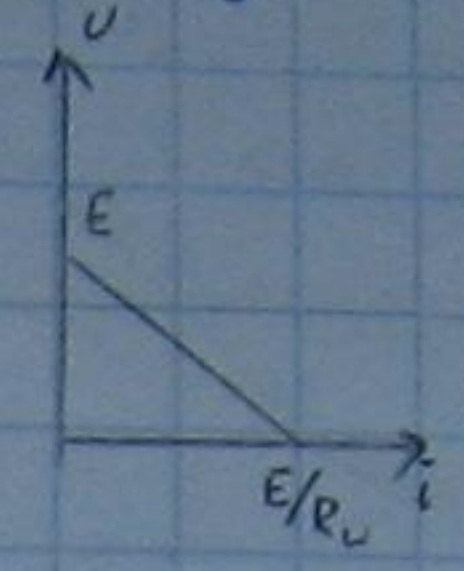
### F. modele źródła rzeczywistego



$$u = e - R_u \cdot i$$

$$i = 0 \Rightarrow u = e$$

$$u = 0 \Rightarrow i = \frac{e}{R_u}$$



$$i = j - \frac{u}{R_u}$$

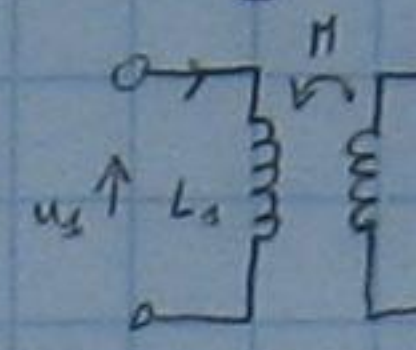
$$u = 0 \Rightarrow i = j$$

$$i = 0 \Rightarrow u = j R_u$$

### 2.5.2 Elementy czterozaciskowe



indukcyjność wzajemna



$$\begin{cases} \Psi_1 = L_1 i_1 + M i_2 \\ \Psi_2 = L_2 i_2 + M i_1 \end{cases} \quad \begin{cases} u_1 = \frac{d\Psi_1}{dt} \\ u_2 = \frac{d\Psi_2}{dt} \end{cases}$$

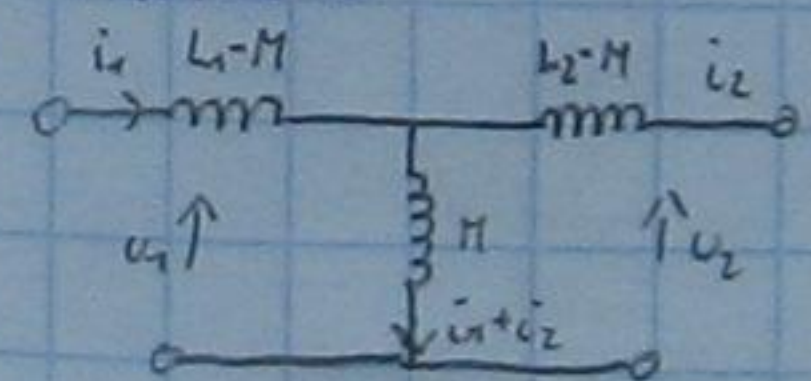
rownania

$$\begin{cases} u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ u_2 = M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} \end{cases} \quad \begin{cases} L_1 > 0, L_2 > 0 \\ K = \frac{M^2}{L_1 L_2} \leq 1 \end{cases}$$

przypadek graniczny

$$M^2 = L_1 L_2 \Rightarrow k = 1$$

PRZYKŁAD

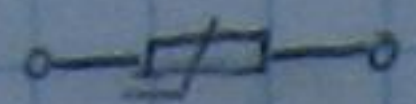


$$U_1 = (L_1 - M) \frac{di_1}{dt} + M \frac{d(i_1 + i_2)}{dt} = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

$$U_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$



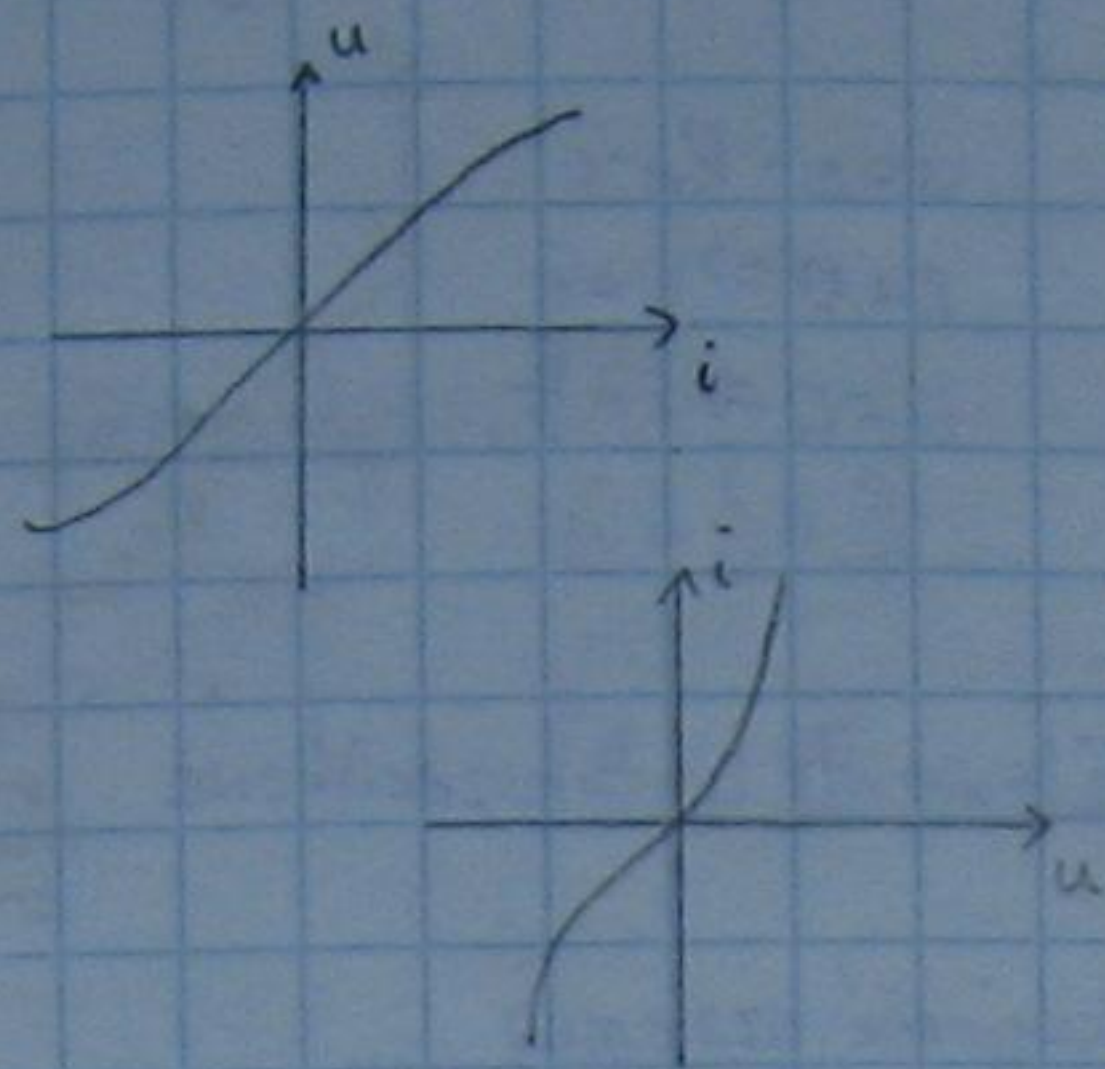
### 2.5.3 Elementy nieliniarne

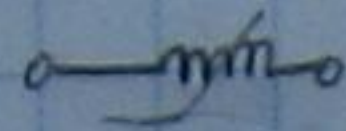
A. opór nieliniowy 

$$u = f_R(i) \text{ lub } i = f_R(u)$$

$f_R$  i  $f_R$  w przedziale  $(-\infty; +\infty)$

$$f_R(0) \text{ i } f_R(0) = u(0) \text{ lub } i(0)$$

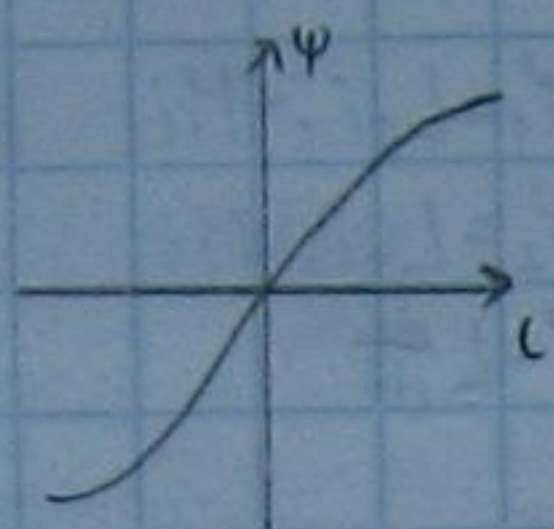


B. indukcyjność nieliniowa 

$\Psi = f_L(i)$  - funkcja ciągle rosnąca

oraz

$$u = \frac{d\Psi}{dt} \quad f_L(0) = 0$$

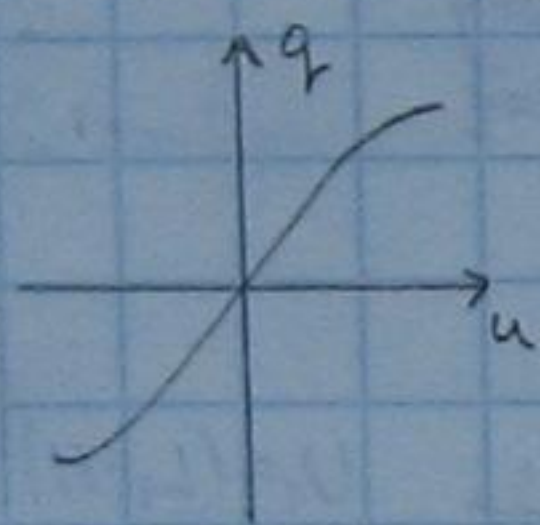


C. pojemność nieliniowa

$q = f_C(u)$  - funkcja ciągle rosnąca

oraz

$$i = \frac{dq}{dt} \quad f_C(0) = 0$$

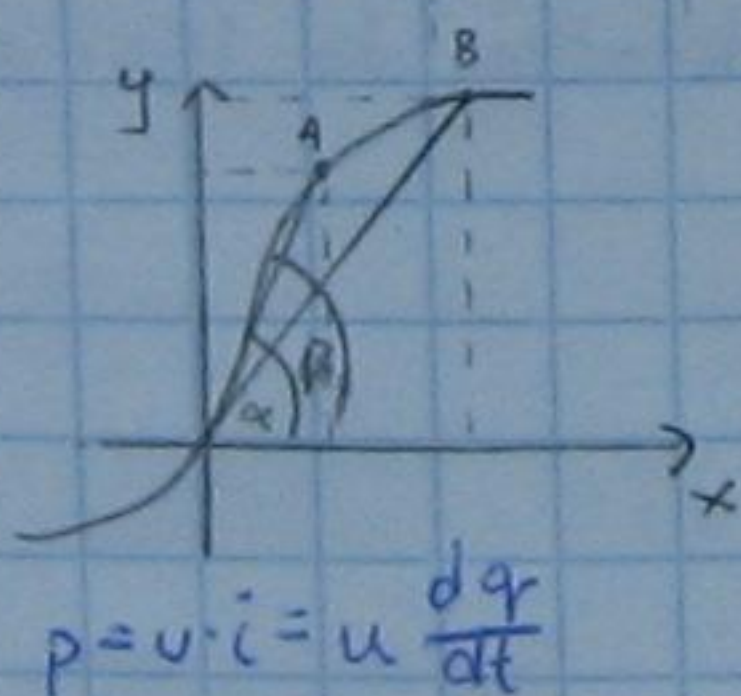


parametr statyczny

$$P_{st} = \frac{y}{u} \Big|_A \text{ - wartość przez napięcie w danym punkcie A}$$

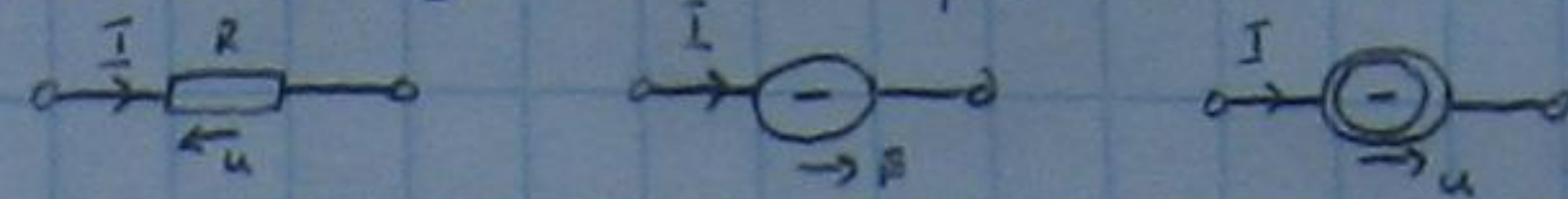
parametr dynamiczny

$$P_{dyn} = \frac{dy}{du} \Big|_A \text{ - stromeńek pochodnych}$$

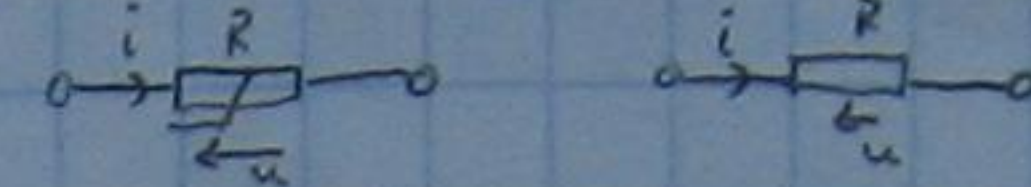


### 3. Układy prądu stałego

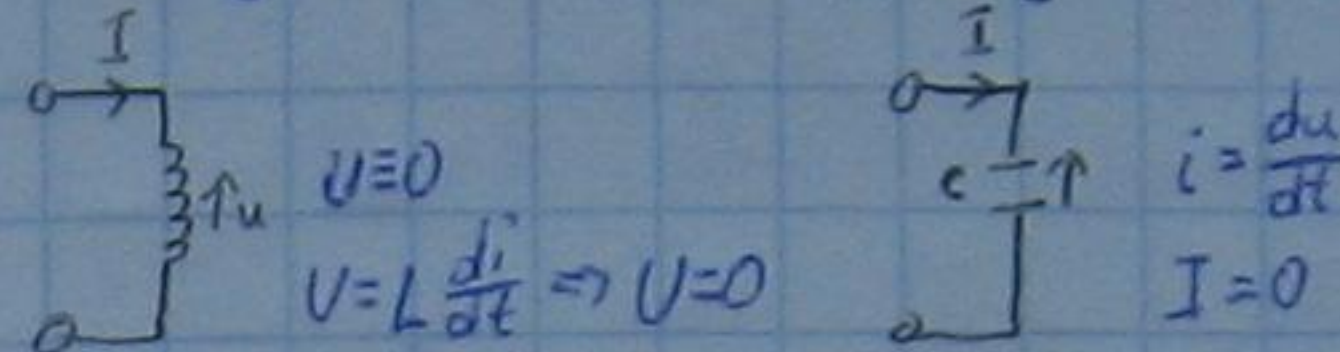
A. element R wymuszenia statoprdone



B. element nieliniowy + element liniowy

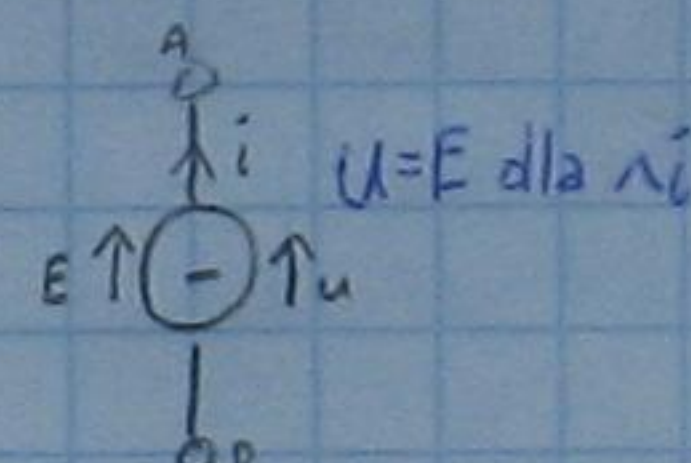


### 3.1 Układy liniowe prądu stałego

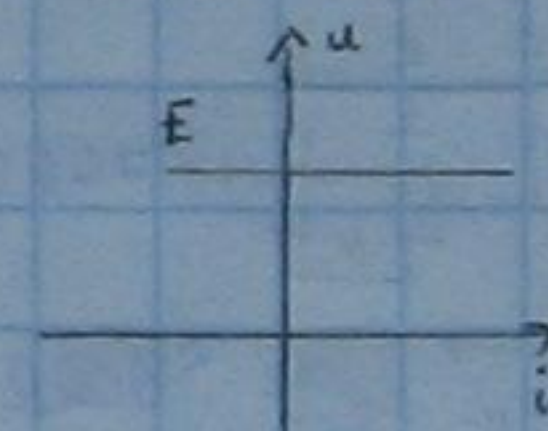


### 3.1.2 Źródła i wydajności prądowe

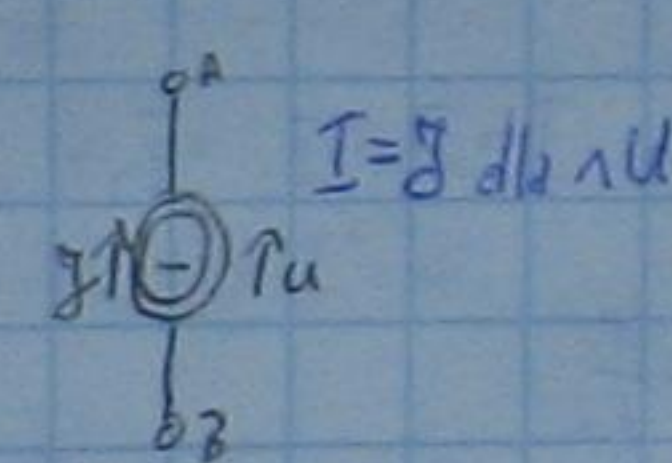
źródło



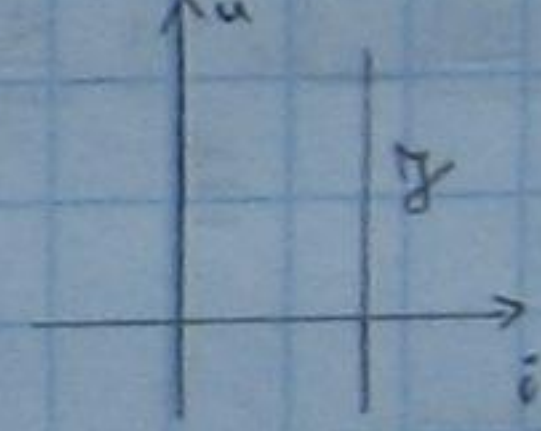
źródło prądowe



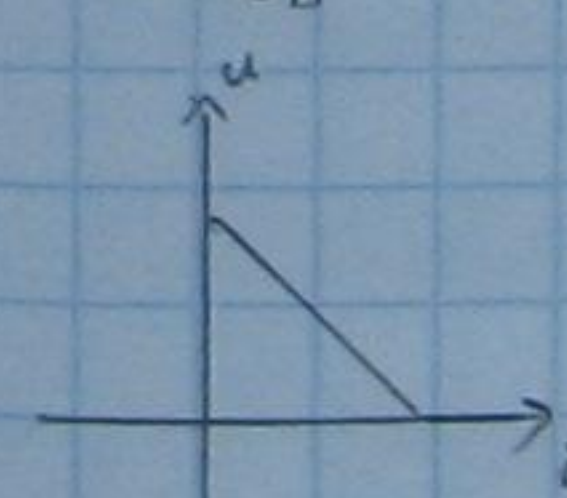
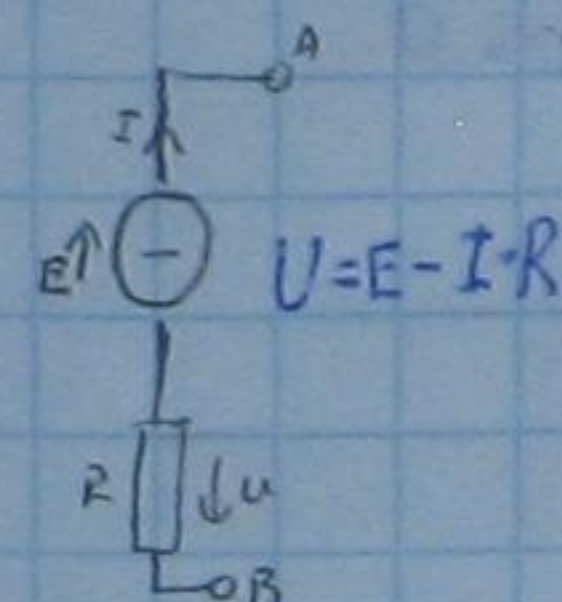
wydajność prądu



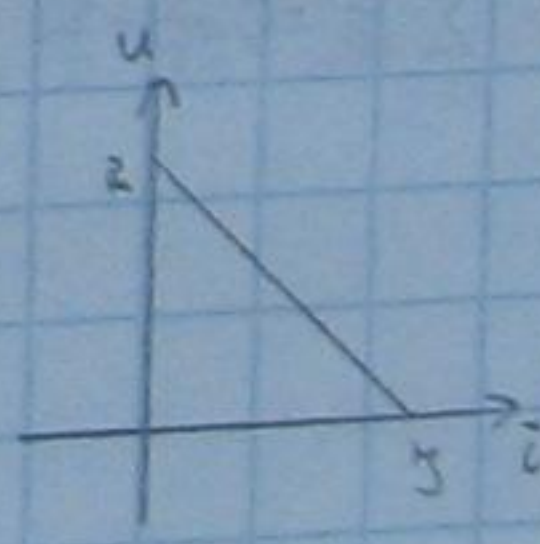
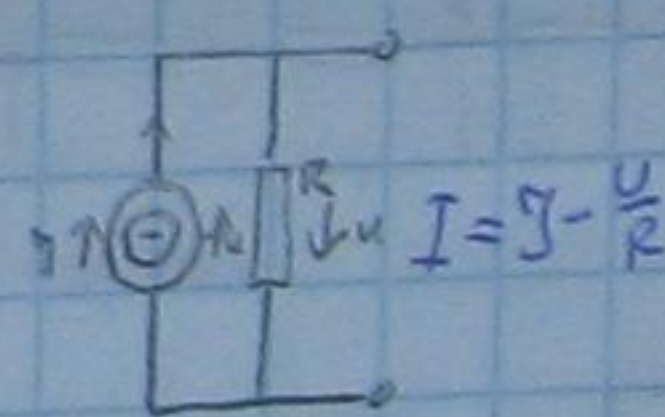
źródło napięciowe



źródło rzeczywiste



wydajność rzeczywista

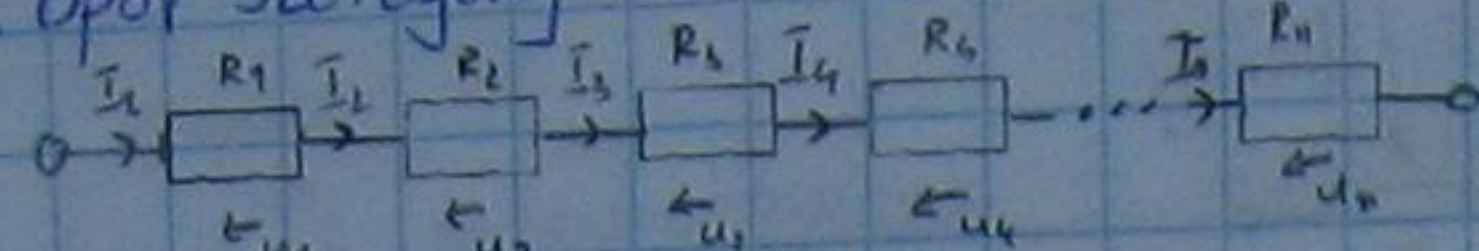




### 3.1.3 Wprowadzenie elementu oporu zastępczego i dzielniki napięć

$$U = R \cdot I \quad I = \frac{1}{R} \cdot U$$

A. opór szeregowy

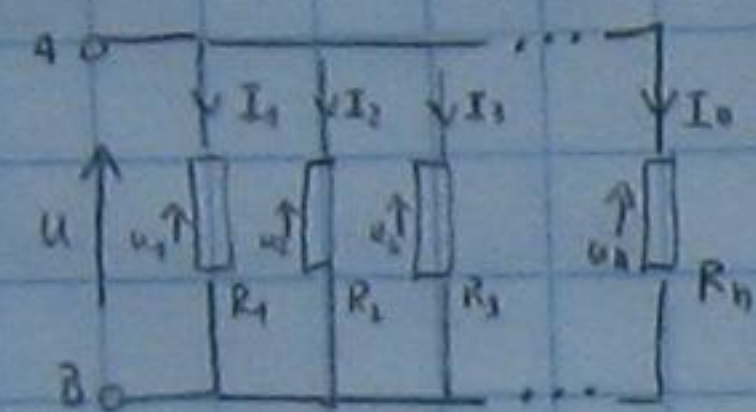


$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

$$U = I R \Rightarrow R = \sum_{k=1}^n R_k$$

B. opór równoległy

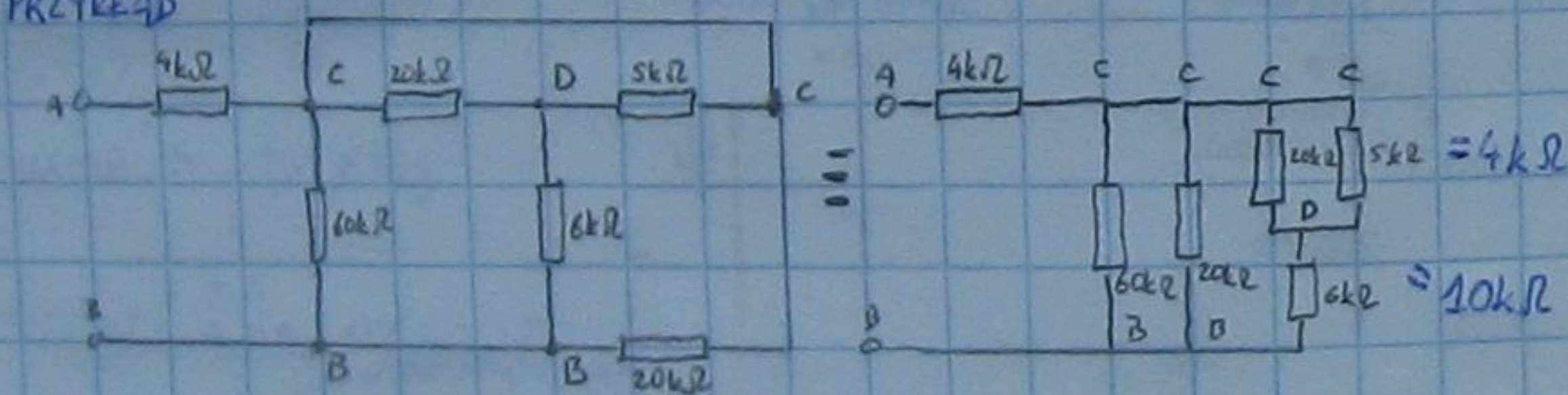


$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

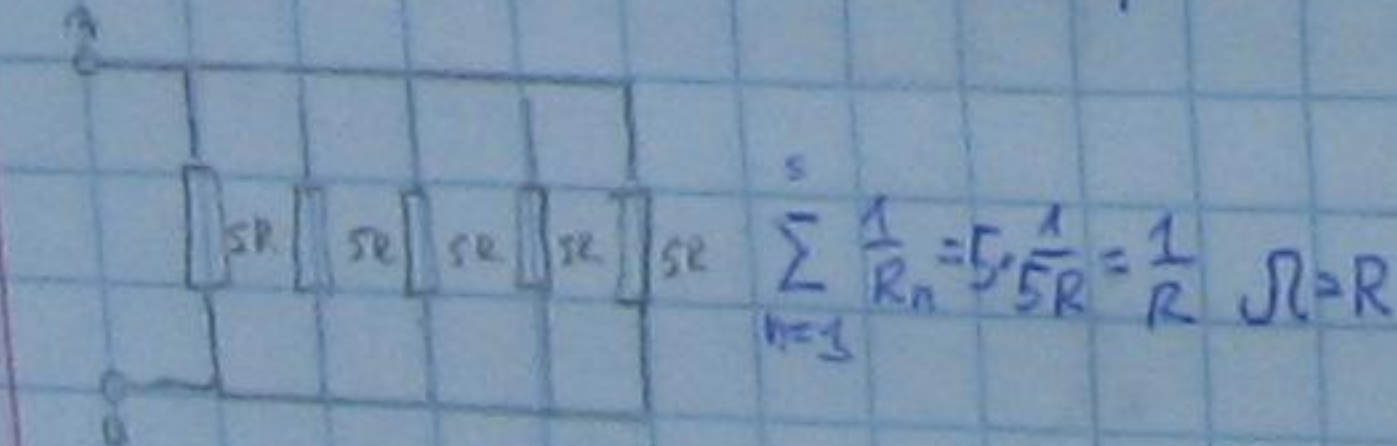
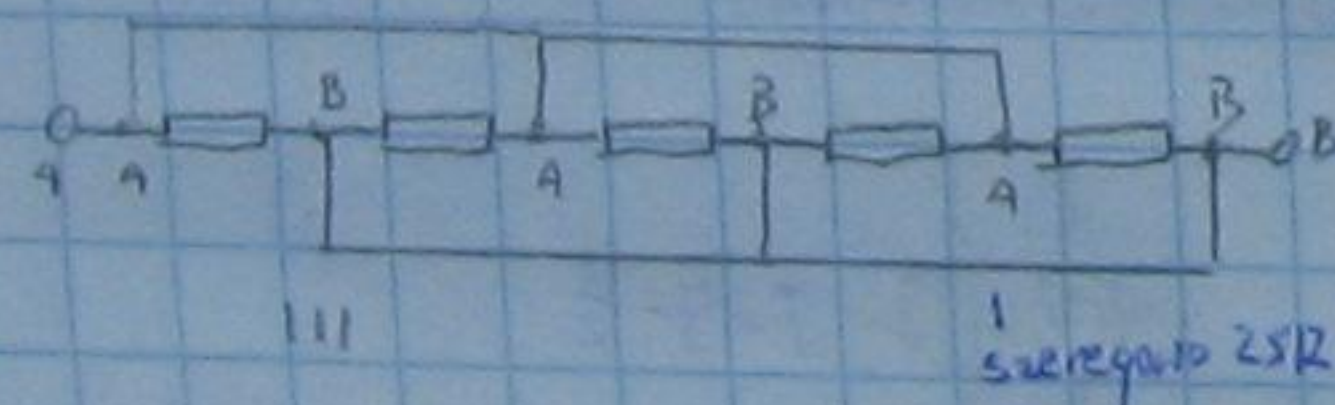
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

PRZYKŁAD



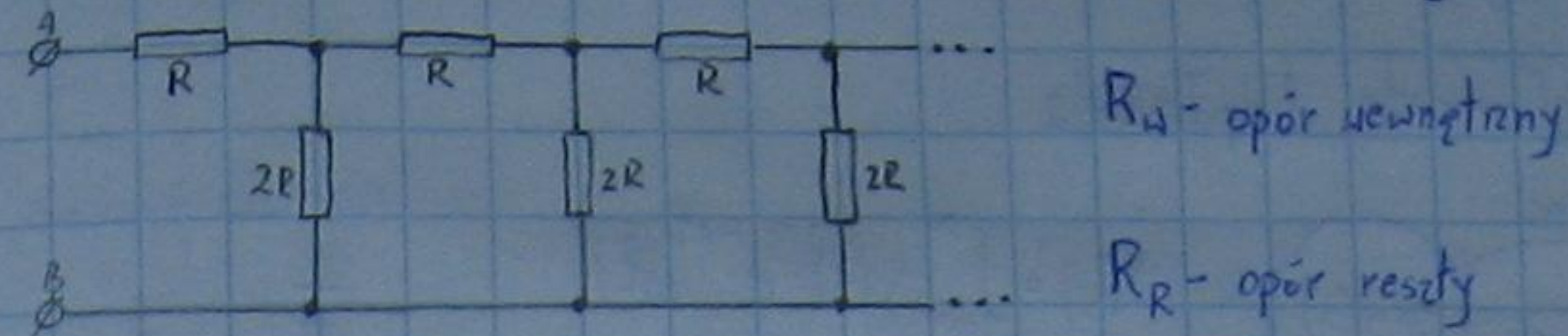
$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{60} + \frac{1}{20} + \frac{1}{10} = \frac{10}{60} = \frac{1}{6} \quad R_2 = 6k\Omega$$

całosci 10kΩ



$$\sum_{n=1}^5 \frac{1}{R_n} = 5 \cdot \frac{1}{5R} = \frac{1}{R} \quad R = R$$

Obliczyć opór wewnętrzny nieskończonej drabinki pokazanej na rysunku



$$R_w = R + 2R \parallel R_R$$

$$R_w = R + \frac{2R \cdot R_R}{2R + R_R}, \quad R_R = R_w, \text{ bo rekurencja}$$

$$R_w = R + \frac{2R \cdot R_w}{2R + R_w} \quad | \cdot (R_w + 2R)$$

$$R_w^2 + 2R \cdot R_w = R \cdot R_w + R \cdot 2R + 2R \cdot R_w$$

$$R_w^2 = R \cdot R_w + 2R^2, \text{ równanie kwadratowe z niewiadomą } R_w$$

$$R_w^2 - R \cdot R_w - 2R^2 = 0$$

$$\Delta = b^2 - 4ac = R^2 - 4 \cdot (-2R) = R^2 + 8R$$

$$R_{w1} = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{R - \sqrt{9R}}{2} < 0, \text{ bo } R < \sqrt{9R}$$

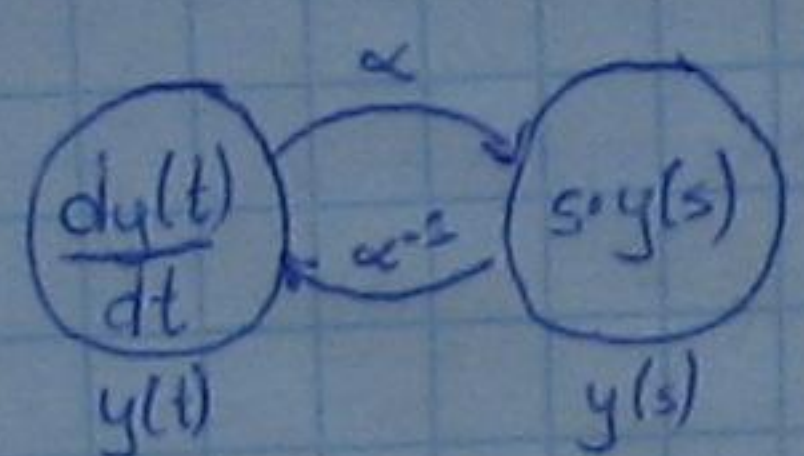
$$R_{w2} = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{R + \sqrt{9R}}{2}$$

$$R_w = \frac{R + \sqrt{9R}}{2} = \frac{R + 3R}{2} = 2R$$



## 4. Transformaty

### 4.1 transformata Laplace'a



$$X(s) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-st} dt$$

$$X(s) = \mathcal{L}[y(t)]$$

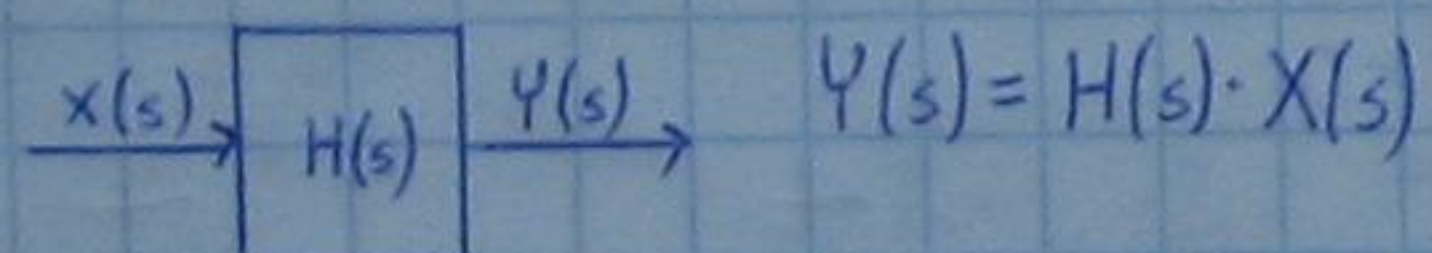
s - liczba zespolona  $s = a + jb$   
t - czas

różniczka	mnożenie
$\frac{d}{dt}$	s
$\int dt$	$\frac{1}{s}$
całka	dzielenie

### 4.2 transformata Fourier'a

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt, \quad \omega = 2\pi f \leftarrow \text{pulsacja}$$

### 4.3 transmitancja - sposób w jaki sygnał zostanie zamieniony



A. cewka indukcyjna

B. kondensator

$$v_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$$

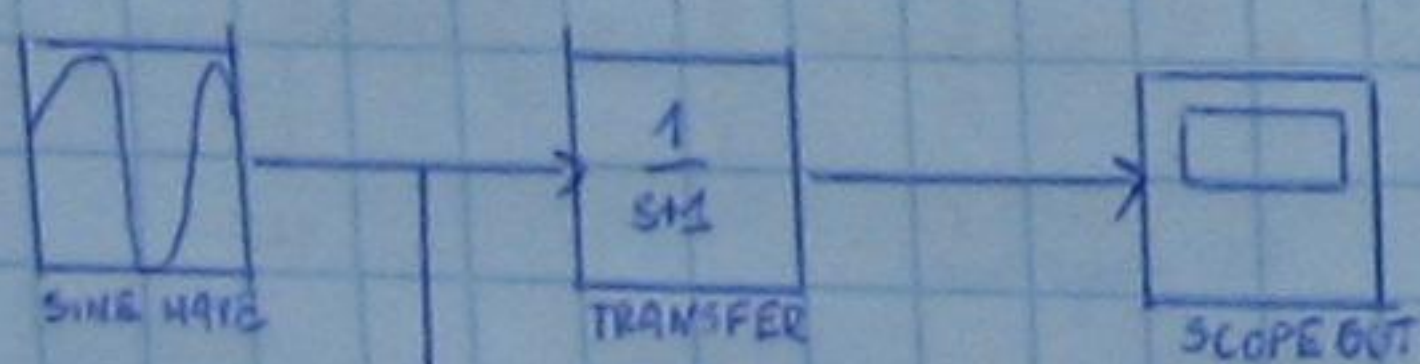
$$v_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt$$

$$v_L(s) = L \cdot s \cdot I_L(s)$$

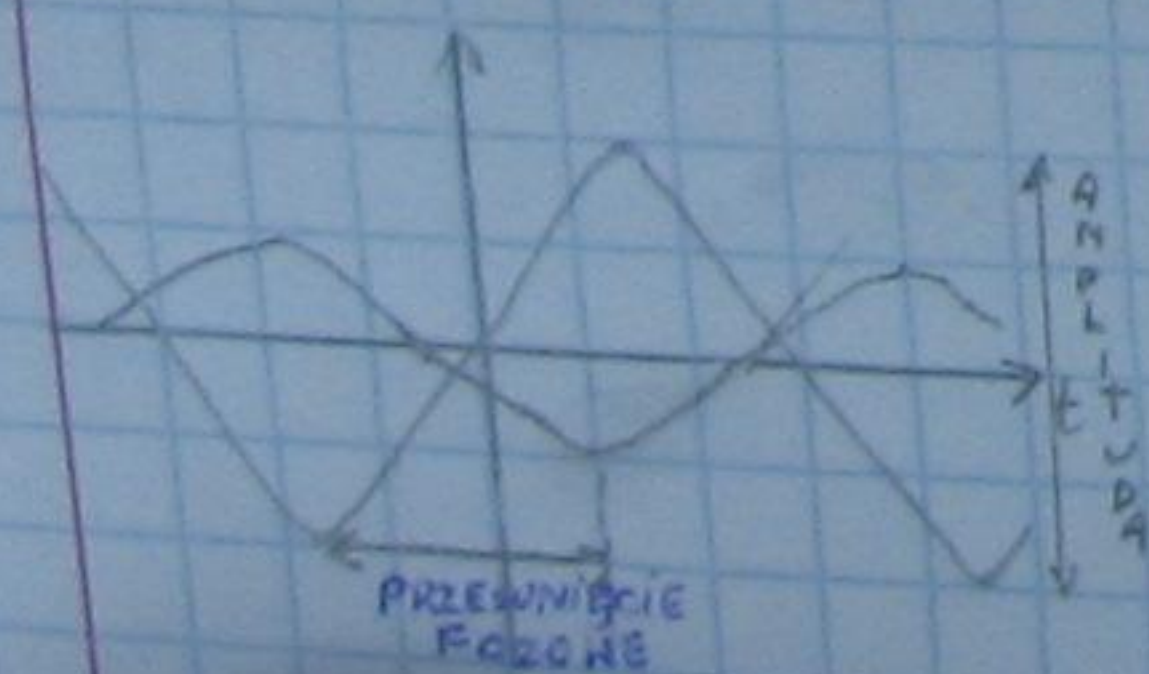
$$v_C(s) = \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{s} \cdot I_C(s)$$

$$\frac{U(s)}{I(s)} = s \cdot L \Leftrightarrow x = j\omega L \quad \text{reaktancja}$$

### 4.4 układy liniowe



SCOPE IN & SCOPE OUT mają taką samą amplitudę i częstotliwość  
mogą różnić się amplitudą lub przesunięciem fazowym



faza - jest to kąt, mierzony w radianach lub stopniach

$$\frac{T(s)}{t_1(s)} = \frac{T(\text{radians})}{\varphi(\text{radians})}$$

## 4.5 impedancja - wielkość opisująca elementy w obwodach prądu przemiennego

$$Z = R + jX$$

rezystancja    reaktancja

dla elementów idealnych

$\text{--- ---}$ $R = \infty$	$\text{---  ---}$ $R = 0$
$X_C = \frac{1}{j\omega C}$	$X_L = j\omega L$

impedancja szeregowana  $Z = \sum_{i=1}^n Z_i$

dla kondensatorów  $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$        $C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$

dla cewek  $L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$

impedancja równoległa  $\frac{1}{Z} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_i}$

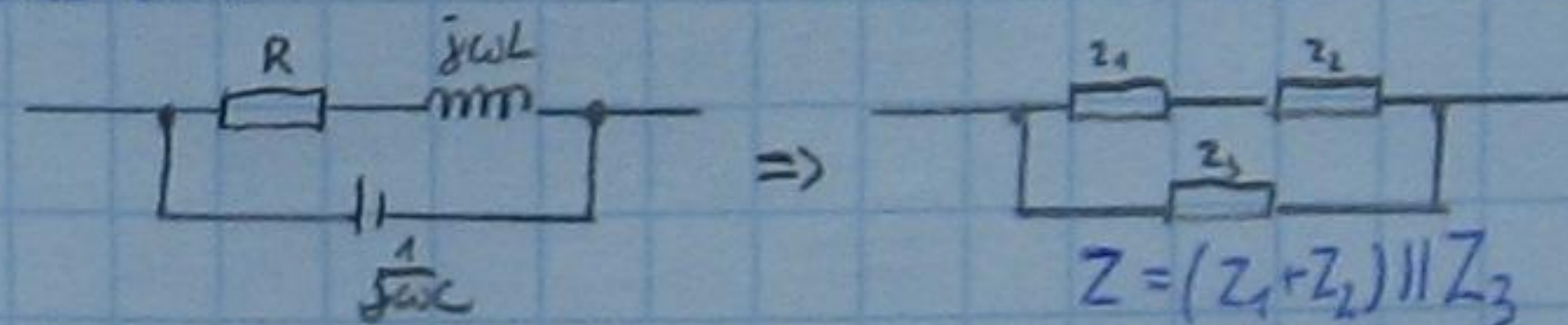
$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{\omega C} \quad \text{pojemność}$$

$$X_L = j\omega L \quad \text{indukcyjność}$$

dla kondensatorów  $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$

dla cewek  $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$

PRZYKŁAD

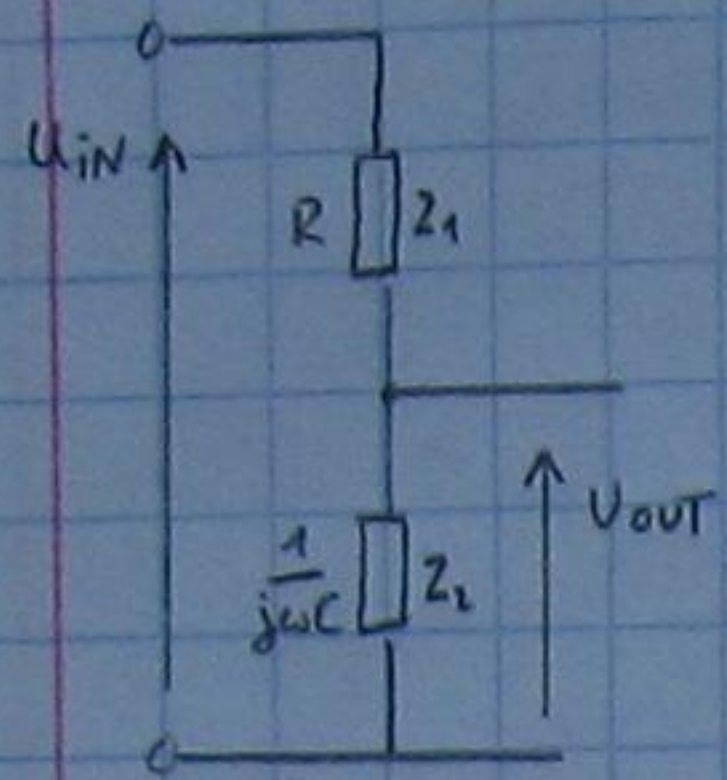


$$Z_1 + Z_2 = R + j\omega L$$

$$Z = \frac{(R + j\omega L) \cdot \frac{1}{j\omega C}}{(R + j\omega L) \cdot \frac{1}{j\omega C} + Z_3} = \frac{R + j\omega L}{1 + j\omega R C + (j\omega)^2 LC}$$



## 4.6 dzielnik rezystancyjny

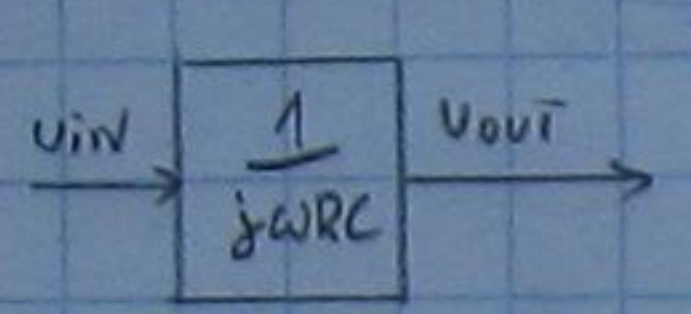


$$U_{OUT} = I \cdot Z_2$$

$$U_{IN} = (Z_1 + Z_2) I \Rightarrow I = \frac{U_{IN}}{Z_1 + Z_2}$$

$$U_{OUT} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot U_{IN}$$

⇓

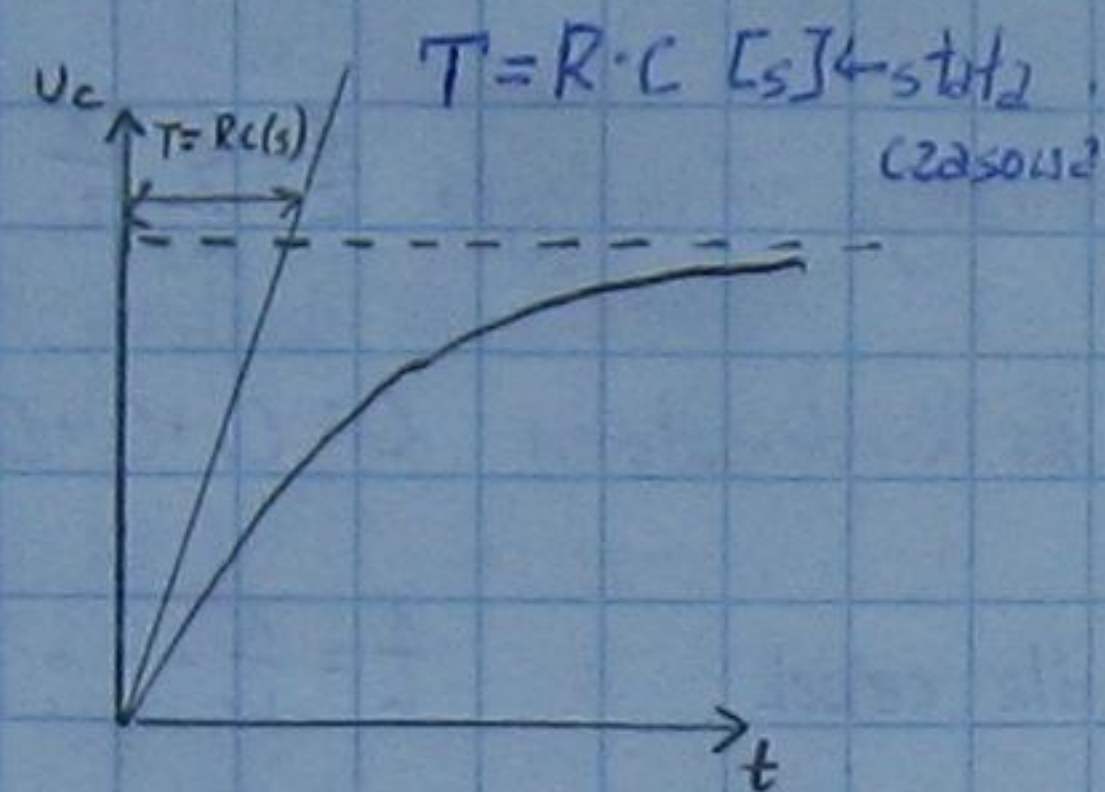


transmitancja

dla rezystancji

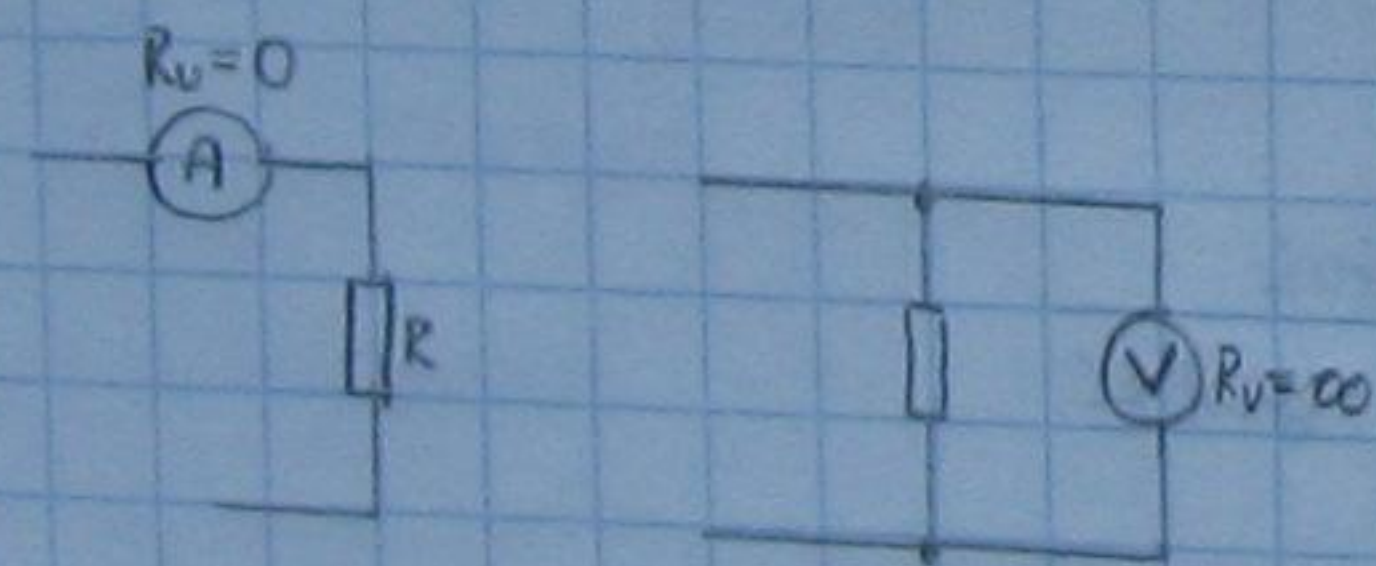
$$Z_1 = R_1, Z_2 = R_2$$

$$U_{OUT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{IN}, \text{ gdzie } \frac{R_2}{R_1 + R_2} < 1$$

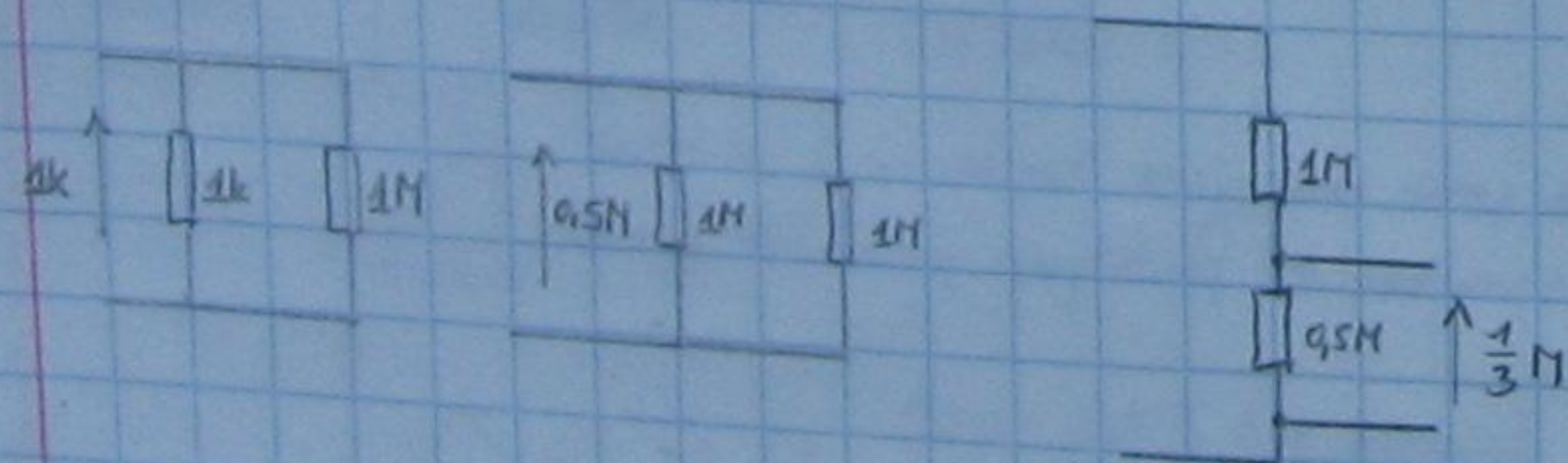


błąd względny (w %)  $\frac{\text{błąd}}{\text{wynik pomiaru}} \cdot 100\%$

błąd bezwzględny = błąd urządzenia + błąd zakresu



### PRZYKŁADY



Kiedy mierzymy coś urządzeniem pomiarowym to integrujemy w obwód, układ przez co zmieniamy parametry