



Uniwersytet
Wrocławski

**Wydział Fizyki
i Astronomii**
Instytut Fizyki Doświadczalnej

pl. M. Borna 9
50-204 Wrocław
tel. +48 71 375 93 02, +48 71 328 73 65
fax +48 71 328 73 65
e-mail: sekr@ifd.uni.wroc.pl
www.ifd.uni.wroc.pl

Elektrotechnika i elektronika (konspekt)

Franciszek Gołek (golek@ifd.uni.wroc.pl)

www.pe.ifd.uni.wroc.pl

Wykład 1.

Początki i podstawy

10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p

Literatura

- 1) G. Rizzoni, *Principles and applications of Electrical Engineering*, McGraw Hill 2004.
- 2) G. Rizzoni, *Electrical and Computer Engineering*, McGraw Hill 2006.
- 3) A. Agrawal, J.H. Lang, *Fundations of Analog and Digital Electronic Circuits*, Elsevier 2005.
- 4) P. Hempowicz, R. Kielsznia, A. Piłatowicz, J. Szymczyk, T. Toborowski, A. Wąsowski, A. Zielińska, W. Żurawski, *Elektrotechnika i elektronika dla nieelektryków*, WNT, Warszawa 2004
- 5) T. Stacewicz, A. Kotlicki, *Elektronika w laboratorium naukowym*, PWN, Warszawa 1994.
- 6) P. Horowitz, W. Hill, *Sztuka elektroniki*, WKŁ, Warszawa 1992, 1995.
- 7) U. Tietze, Ch. Schenk, *Układy półprzewodnikowe*, WNT, Warszawa 1976, 1987, 1996.
- 8) R. Śledziwski, *Elektronika dla fizyków*, PWN, Warszawa 1984.
- 9) R.C. Dorf Ed. *The Electrical Engineering Handbook*, CRC Press LLC 2000.
- 10) F. Przewdziecki, *Elektrotechnika i elektronika*, PWN, Warszawa 1974.
- 11) J. Pyrhönen, T. Jokinen and V. Hrabovcová, *Design of Rotating Electrical Machines*, John Wiley & Sons 2008.
- 12) A. Hughes, *Electric Motors and Drives Fundamentals, Types and Applications*, third edition, Newnes 2006.
- 13) Ch. R. Robertson, *Fundamental Electrical and Electronic Principles*, Elsevier 2008, 3-ed.
- 14) Internet.

Spis tematów:

Podstawy teorii obwodów, klasyfikacja sygnałów, źródła napięciowe i prądowe, obwody prądu stałego i zmiennego, obwody RLC, wykresy wektorowe (wskazowe), układy diodowe, obwody magnetyczne, układy trójfazowe, transformatory, maszyny elektryczne, tranzystory (modele i proste układy), tranzystory polowe, zatrzask, wzmacniacze operacyjne, sprzężenie zwrotne, generatory, bramki cyfrowe i logika kombinacyjna, układy sekwencyjne, liczniki, pamięć, przetworniki A/C i C/A, 3-magistralowe systemy, systemy pomiarowe, detektory, przyrządy pomiarowe i pomiar.

Elektrotechnika jest nauką o praktycznym wykorzystaniu zjawisk elektrycznych.

Elektronika zajmuje się korzystaniem z możliwości manipulowania ładunkami elektrycznymi oraz kwantami światła.

W przyszłości bardzo użytecznym może stać się manipulowanie amplitudami i fazami stanów kwantowych.

Energia – bez energii nic nie może się dziać

(bez energii nie ma mowy nawet o zrozumieniu czym jest energia, elektryczność, elektronika czy cokolwiek innego)

Konwersje energii i energia elektryczna

Energia nie znika i nie rodzi się z niczego może natomiast zmieniać i zmienia swoją postać. W praktyce stosujemy liczne typy konwersji energii np.:

Elektryczna \leftrightarrow Chemiczna

Elektryczna \leftrightarrow Ciepła

Elektryczna \leftrightarrow Mechaniczna

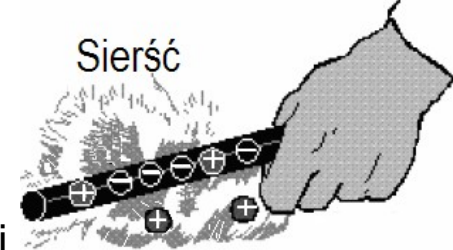
Elektryczna \leftrightarrow Światło (i promieniowanie) i inne.

Energia elektryczna choć nie występuje w naturze w postaci bogatych zasobów i nie jest formą najczęściej konsumowaną to ma jedną zaletę: **można ją transportować do odbiorców na duże odległości.**

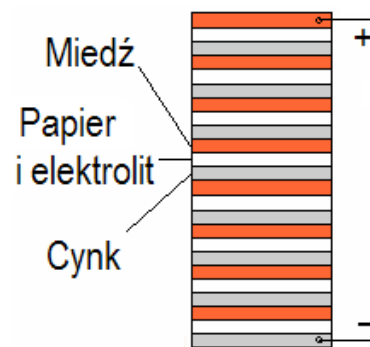
Początki elektrotechniki i elektroniki

Około 600 lat przed naszą erą wiadomo było, że pocierany bursztyn o sierść może przyciągać lekkie i suche objekty.

W 1296r P. Peregrinus opisał swoje eksperymenty z naturalnymi magnesami.



Jednak za **początek ery elektryczności** i elektrotechniki można uznać zbudowanie **ogniwa elektrycznego (baterii) w 1799 r. przez A.G.A. Voltę**. Od tego czasu można było prowadzić badania nad obwodami z prądem elektrycznym.



Za **początek ery radia** oraz radiotechniki a później elektroniki można uznać pierwsze bezprzewodowe przesłanie sygnału elektrycznego, którego dokonał **G. Marconi w 1895r.**

Dla rozwoju elektrotechniki wielkie znaczenie mają też setki innych wydarzeń jak np. **1827r. – G.S. Ohm** odkrywa oporność elektryczną i prawo Ohma. **C. Wheatstone** – Liczne wynalazki: **1827r.**- konstruuje kalejdoskop (wizualizacja drgań pręta przez odbity od niego promień światła), kilka lat później stosuje mostek do pomiaru oporności a następnie długości przewodnika przez pomiar jego oporności. **1846r. G. Kirchhoff** definiuje prawa zwane obecnie prawami Kirchhoffa. **W 1874 r. F. Braun** odkrywa, że pewne kryształy w pewnych warunkach (np. kontakt metalowego ostrza z z kryształem galeny) przewodzą prąd tylko w jedną stronę. W **1885 r. W. Stanley** wynajduje transformator.

1861r. do 1873r. - J. C. Maxwell opublikował prace, w których zebrał i przedstawił w formie równań wcześniejszą wiedzę o zjawiskach elektromagnetycznych.

Przypomnienie podstawowych definicji

Ładunki elektryczne zwykle oznaczamy symbolem q lub Q .

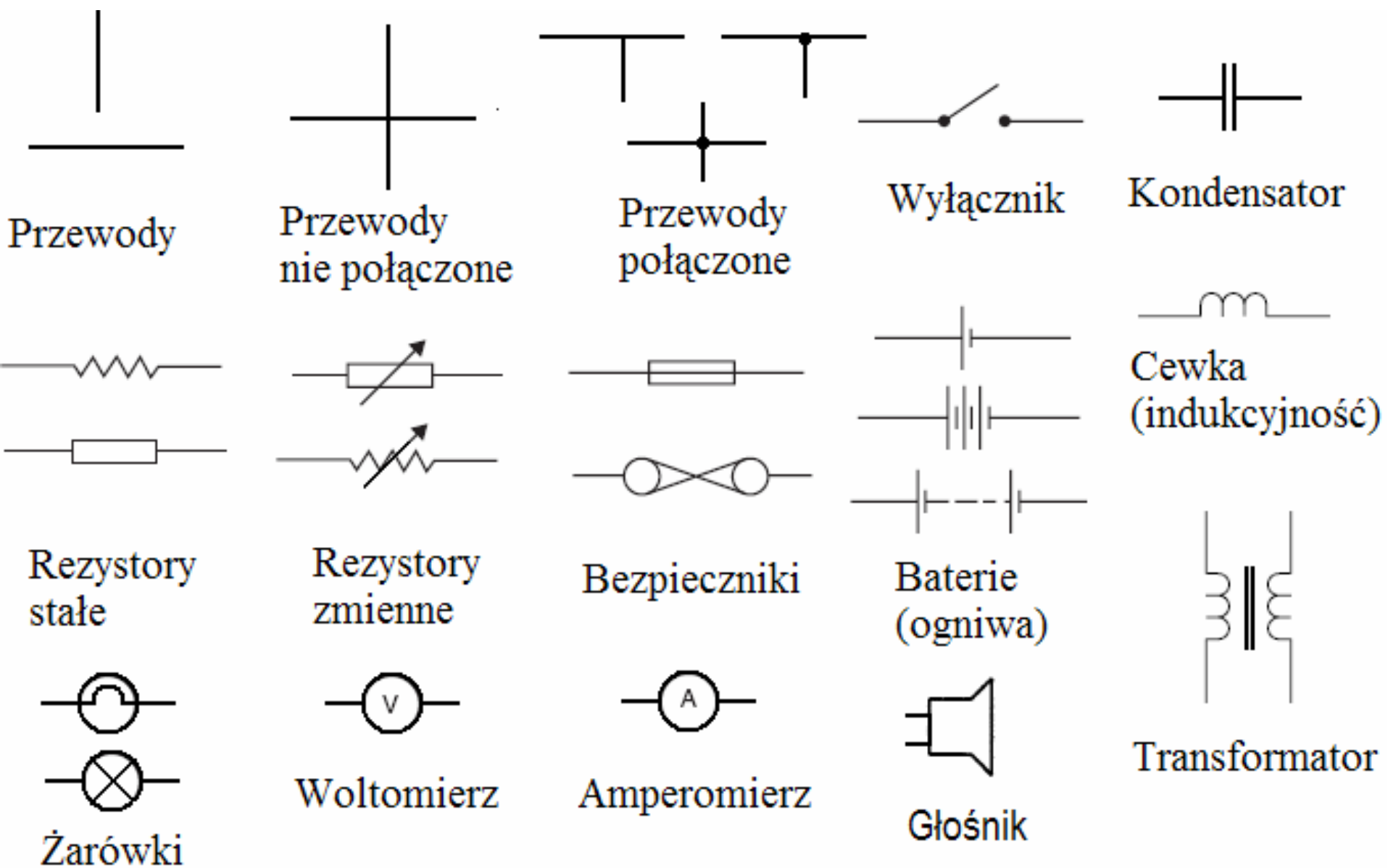
Elektryczny ładunek jednostkowy to 1 C (-1 kulomb $\approx 6.24 \times 10^{18}$ elektronów, elektron posiada ładunek o wartości: $-e = -1.6 \times 10^{-19}$ C). Elektron obdarzony jest ładunkiem przeciwnym do protonu. Przyjęto, że elektron posiada ładunek ujemny a proton dodatni. W zasadzie każdy obiekt materialny może przyjąć określony ładunek elektryczny. Stając się naładowanym ujemnie zawiera nadmiar elektronów, naładowany dodatnio staje się w wyniku niedoboru elektronów.

Ciecz Fermiego to „ciecz” złożona z elektronów mogących swobodnie poruszać się w objętości przewodnika. W materiałach przewodzących prąd elektryczny, tj. w przewodnikach, mobilnymi nośnikami ładunku najczęściej są tzw. swobodne elektrony, najslabiej związane i pochodzące z najbardziej zewnętrznych orbitali. Możemy je z dobrym przybliżeniem traktować jako ciecz obdarzoną ładunkiem elektrycznym.

Prąd – ukierunkowany ruch ładunku elektrycznego (symbole: i lub I). Natężenie prądu wyrażane jest w amperach (A) i oznacza szybkość przepływu ładunku przez “coś”. Prąd o natężeniu 1 A oznacza, że przez przekrój jakiegoś elementu w ciągu 1 sekundy przepływa 1 C ładunku. Kierunek prądu jest zgodny z kierunkiem przemieszczania ładunku dodatniego. Jeżeli prąd stanowią jony dodatnie (lub dodatnie dziury po elektronach) to kierunek ich ruchu jest zgodny z kierunkiem prądu. Taki sam prąd co do natężenia i kierunku istnieje gdy przemieszczają się w kierunku przeciwnym ładunki ujemne lub niemal zawsze w elektrotechnice i elektronice elektrony.



Prąd To B. Franklin zapostulował przepływ "fluidu" od + do -.



Symbole elementów elektrycznych

Napięcie

Napięcie (symbole: U lub E) jest różnicą potencjału elektrycznego między dwoma wybranymi punktami i jest wyrażane w woltach (V), czyli jest pracą przypadającą na jednostkowy (próbny) ładunek: $U[V]_{a-b} = W[J]_{a-b} / Q[C]$, $1V = 1J/C$. Zatem napięcie między dwoma punktami A i B oznacza pracę, która zostanie wykonana nad próbnym ładunkiem przy jego transporcie z B do A podzieloną przez wartość tego ładunku. $U_{EB} = 5 V$ oznacza, że między punktami E i B występuje napięcie $5 V$. Punkt E ma potencjał elektryczny dodatni (lub wyższy) względem punktu B . $U_C = 5 V$ oznacza, że między punktem C a wspólnym punktem odniesienia ("masą") występuje napięcie o wartości $5 V$.

Należy odróżniać napięcia wymuszające prąd czyli siły elektromotoryczne – **SEM** od **spadków napięcia** będących skutkiem SEM i wymuszania prądu. SEM występuje na zaciskach źródeł energii np. baterii elektrycznych, zasilaczy czy nawet elektrowni (symbole: SEM, E lub U). Spadki napięć (symbole: tylko U) to po prostu obniżenia potencjału na elementach zamykających obwód elektryczny poza siłami elektromotorycznymi.

Podstawę elektrotechniki stanowią równania Maxwella i wzór Lorentza. Umożliwiają one poznanie podstaw elektrotechniki i elektroniki w zwartej i analitycznej postaci. **Równania Maxwella i wzór Lorentza określają związki między jednym skalarem (gęstością ładunku elektrycznego) i sześcioma wektorami:**

$$\nabla \cdot D = \rho$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$$

Gęstość ładunku elektrycznego	dQ/dV	ρ	[C/m ³]
Natężenie pola elektrycznego		E	[V/m]
Natężenie pola magnetycznego		H	[A/m]
Indukcja elektryczna		D	[C/m ²]
Indukcja magnetyczna		B	[V s/m ²], [T]
Gęstość prądu	$dQ \cdot v$	J	[A/m ²]
Siła		F	[N]

$$dF = dQ(E + v \times B)$$

$$B = \mu H \quad \text{w próżni}$$

$$D = \epsilon E \quad B = \mu_0 H$$

$$D = \epsilon_0 E$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m, Tm/A}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot c^2} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$



Równania Maxwella

Równania Maxwella to zestaw czterech równań, który w roku 1884 opublikował Oliver Heaviside. Nazywamy je jednak równaniami Maxwella, gdyż są one równoważne większej liczbie równań, które wcześniej zostały opublikowane przez Maxwella w kilku pracach w latach 1861 – 1873 [Phil. Mag. **21** (1861) 161, 281, 338, Phil. Mag. **22** (1862) 12, 85, Phil. Trans. Roy. Soc. **155** (1865) 459, Phil. Trans. Roy. Soc. **158** (1868) 643, *Treatise in Electricity and Magnetism* (1873)]. Maxwell odkrył dodatkowy człon – tzw. prąd przesunięcia dE/dt dopełniający równanie (prawo) Ampère'a co pozwoliło wyjaśnić propagację fali elektromagnetycznej w próżni. Oliver Heaviside, dzięki zastosowaniu notacji wektorowej uzyskał bardzo zgrabną postać równań Maxwella, dlatego ta właśnie postać równań pojawia się we wszystkich współczesnych podręcznikach poświęconych elektryczności. Te cztery równania uzupełnione o równanie na siłę Lorentza stanowią podstawę klasycznej elektrodynamiki.

$$\text{I.} \quad \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Dywergencji pola elektrycznego \mathbf{E} równa jest gęstości ładunku ρ podzielonej przez ϵ_0 , co oznacza, że strumień pola \mathbf{E} przez powierzchnię zamkniętą = ładunkowi wewnątrz tej powierzchni podzielonemu przez ϵ_0 . **Prawo Gaussa dla elektryczności.**

$$\text{II.} \quad \nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

Rotacja pola elektrycznego \mathbf{E} równa jest minus pochodnej czasowej pola magnetycznego \mathbf{B} , co oznacza, że całka krzywoliniowa z pola \mathbf{E} wzdłuż dowolnej pętli = $-d(\text{strumień pola } \mathbf{B} \text{ przez tę pętlę})/dt$. **Prawo Faradaya.**

Równania Maxwella i wzór Lorentza

III. $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ Dywergencja pola magnetycznego \mathbf{B} wynosi 0, co oznacza, że strumień pola \mathbf{B} przez powierzchnię zamkniętą = 0. Można to rozumieć jako nieistnienie monopoli magnetycznych.

IV. $c^2 \nabla \times \mathbf{B} = \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$ Rotacja pola magnetycznego \mathbf{B} mnożona przez c^2 jest równa sumie gęstości prądu dzielonej przez ϵ_0 oraz pochodnej czasowej pola elektrycznego \mathbf{E} . Oznacza to, że c^2 (całka wektora \mathbf{B} po dowolnej zamkniętej pętli) = (prąd przez tę pętlę)/ ϵ_0 + ∂ (strumień pola \mathbf{E} przez tę pętlę)/ ∂t . **Uogólnione przez Maxwella prawo Ampère'a.**

Powyższe równania uzupełnione wyrażeniem określającym siłę Lorentza:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

stanowią podstawę całej klasycznej elektrodynamiki, a w tym i elektroniki.

Z równań tych można wyprowadzić między innymi wszystkie podstawowe prawa dla elektroniki. Przykładowo różniczkując po czasie równanie I oraz biorąc dywergencję równania IV z łatwością można wyprowadzić prawo zachowania ładunku.

$\nabla \cdot \mathbf{j} = - \frac{\partial \rho}{\partial t}$ Prawo zachowania ładunku. Dywergencja gęstości prądu równa jest minus pochodnej czasowej gęstości ładunku, co oznacza, że strumień prądu przez zamkniętą powierzchnię = ∂ (ładunek wewnątrz tej powierzchni)/ ∂t . Jest to równanie ciągłości.

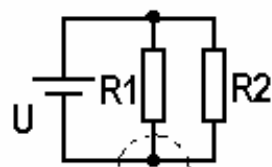
Gdy założymy, że w danym węzle nie jest gromadzony ładunek (nie zmienia się jego potencjał elektryczny) to pierwsze prawo Kirchhoffa jest natychmiastową konkluzją z prawa zachowania ładunku.

Równość uzyskana z równań Maxwella:
dotyczy każdego punktu przestrzeni.

$$\nabla \cdot \mathbf{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

Zatem możemy te równe wielkości
wysumować po pewnej objętości
zawierającej węzeł prądowy:

$$\int_{\text{Objętość } V} \nabla \cdot \mathbf{j} \, dV = \int_{\text{Objętość } V} -\frac{\partial \rho}{\partial t} \, dV$$



Objętość V
zawierająca
węzeł prądowy

Obie całki możemy uprościć:

$$\int_{\text{Powierzchnia } S \text{ otaczająca objętość } V} \mathbf{j} \, dS = -\frac{\partial}{\partial t} \int_{\text{Objętość } V} \rho \, dV$$

Jeżeli ilość ładunku w objętości V
się nie zmienia to mamy:

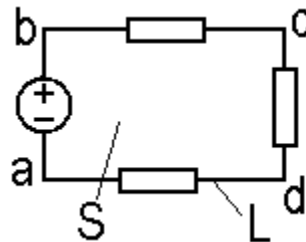
$$\int_{\text{Powierzchnia } S \text{ otaczająca objętość } V} \mathbf{j} \, dS = 0$$

Prądowe prawo Kirchhoffa

Całka gęstości prądu przez całą
powierzchnię S sprowadza się do
całek przez przekroje drutów bo
tylko tam może być $\mathbf{j} \neq 0$

$$\sum_k I_k = 0$$

Całkując II r. Maxwella po pewnym kawałku powierzchni S, którego brzegiem L jest jakiś obwód elektryczny dostrzegamy,



$$\int_S \nabla \times \mathbf{E} \, ds = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \, ds; \quad \int_L \mathbf{E} \, dL = - \frac{\partial}{\partial t} \int_S \mathbf{B} \, ds; \quad \int_L \mathbf{E} \, dL = - \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

że gdy strumień pola magnetycznego przez obszar S nie zmienia się ($d\Phi/dt = 0$) to II równanie Maxwella przyjmuje postać:

$$\int_L \mathbf{E} \, dL = 0$$

i staje się **napięciowym prawem Kirchhoffa**:

$$\int_L \mathbf{E} \, dL = 0; \quad \int_a^b \mathbf{E} \, dL + \int_b^c \mathbf{E} \, dL + \int_c^d \mathbf{E} \, dL + \int_d^a \mathbf{E} \, dL = 0; \quad U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{da} = 0.$$

$$\sum_{\text{w pętli}} U_i = 0.$$

I prawo Kirchhoffa - prądowe prawo Kirchhoffa

Suma prądów wpływających do danego węzła jest równa sumie prądów wypływających z niego. Prawo to wynika z zasady zachowania ładunku i stosuje się tylko do węzłów o stałej ilości ładunku (tj. nie zmieniających swojego potencjału elektrycznego).

II prawo Kirchhoffa - napięciowe prawo Kirchhoffa.

W dowolnym układzie suma spadków napięcia i sił elektromotorycznych (ogólnie skoków potencjału) na elementach połączonych w zamknięty obwód równa się zeru. Inaczej: na elementach połączonych równolegle występuje to samo napięcie. Lub: suma spadków napięcia między punktami A i B układu, obliczana dla jednej drogi między tymi punktami, jest równa sumie spadków napięcia dla każdej innej drogi i równa się napięciu między A i B.

Drugie prawo Kirchhoffa opiera się na stwierdzeniu, że potencjał przewodnika w dowolnym punkcie względem wybranego potencjału odniesienia jest jednoznaczna funkcją tego punktu. Zatem po obejściu dowolnego obwodu, wracając do punktu początkowego wracamy zarazem do potencjału początkowego. Prawo to stosuje się dla obwodów, przez które nie przenika gwałtownie zmieniający się strumień pola magnetycznego. (Czyli tam gdzie równanie Maxwella $\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ można zastąpić przez: $\nabla \times \mathbf{E} = \mathbf{0}$)

Prawa Kirchhoffa i prawo Ohma zwykle wystarczają do łatwej analizy prostych obwodów elektrycznych bowiem prawa te w poniżej zapisanej formie są gotowymi receptami do układania równań.

Prądowe prawo Kirchhoffa: Suma wszystkich prądów w węźle obwodu stacjonarnego (z ustalonymi potencjałami elektrycznymi) jest równa zeru: $\sum i_k = 0$

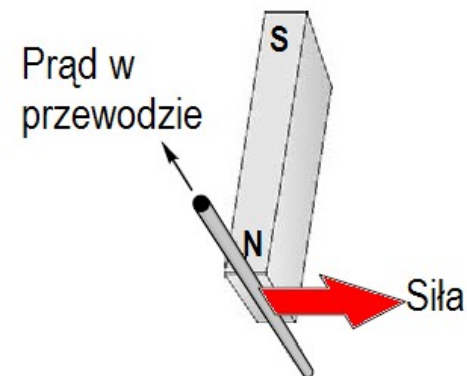
Napięciowe prawo Kirchhoffa: Suma wszystkich skoków potencjału czyli sił elektromotorycznych i spadków napięć wzdłuż dowolnej pętli obwodu elektrycznego, przez którą nie przenika zmienny strumień pola magnetycznego jest równa zeru: $\sum U_k = 0$.

Prawo Ohma: Natężenie prądu elektrycznego w rezystorze jest wprost proporcjonalne do wymuszonego na nim skoku napięcia $I = GU$. Stała proporcjonalności G nazywamy przewodnością (konduktancją) a jej odwrotność $1/G = R$ rezystancją (opornością) rezystora; $I = U/R$.

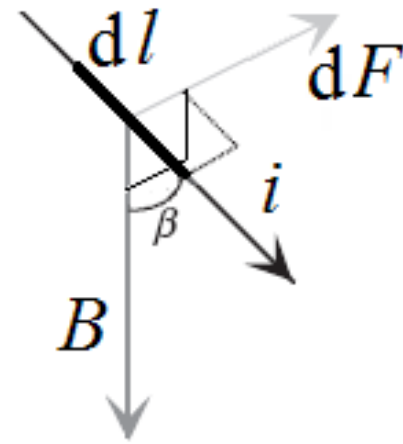
Wzór Lorentza ma zastosowanie w analizie pola elektrycznego i magnetycznego poprzez detekcją siły wywieranej przez pole na naładowany elektrycznie element lub przewodnik z prądem. Poniższe wektorowe wyrażenie

$$dF = dQ(E + v \times B) = dQE + \frac{dQ}{dt} dl \times B = dQE + idl \times B$$

a w szczególności ostatni element $idl \times B$ stanowi podstawę obliczeń momentu siły wytwarzanego w maszynach elektrycznych.



$$idl \times B = idl B \sin \beta$$

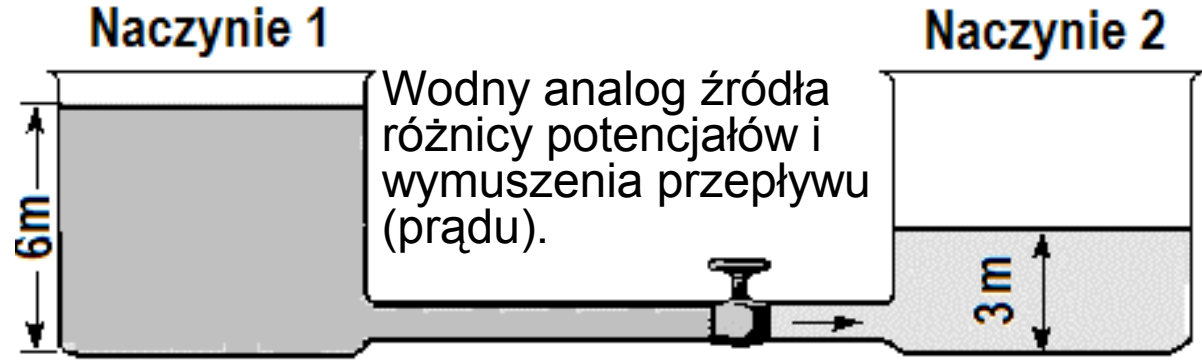


Obwody elektryczne

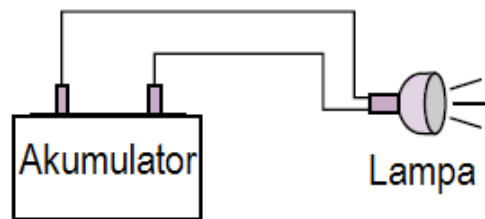
W codziennej praktyce energię elektryczną spotykamy w postaci energii potencjalnej jak i kinetycznej. Zgromadzenie nadmiaru odpychających się ładunków jednego znaku jest przykładem zapasu energii potencjalnej. Podobnie jest gdy ładunki elektryczne przeciwnych znaków są rozseparowane na dwóch elektrodach akumulatora, baterii, prądnicy czy innego urządzenia zdolnego dostarczać energię elektryczną. Gdy tylko pojawi się możliwość rozplywu tego ładunku mamy do czynienia z **obwodem elektrycznym** i z **energią kinetyczną** w postaci prądu elektrycznego. Ta energia zwykle zamienia się na energię cieplną,

Obwód elektryczny jest podstawowym i uniwersalnym pojęciem w elektrotechnice i elektronice. Obwód elektryczny musi zawierać elementy pozwalające na wymuszony ruch ładunku elektrycznego oraz przynajmniej jedno źródło energii elektrycznej wymuszające ten ruch (**czyli jakąś pompę ładunku elektrycznego**). W elektronice możemy mieć do czynienia z obwodami zawierającymi rozmaite wymuszenia w postaci: a) źródeł stałego prądu lub napięcia jak zasilacze lub powoli rozładowywane akumulatory czy baterie. b) źródeł periodycznie zmiennych napięć i prądów, c) źródeł zmiennych nie periodycznych. Nauka elektrotechniki zwykle zaczyna się od poznania obwodów z wymuszeniami stałymi w czasie czyli obwodów prądu stałego.

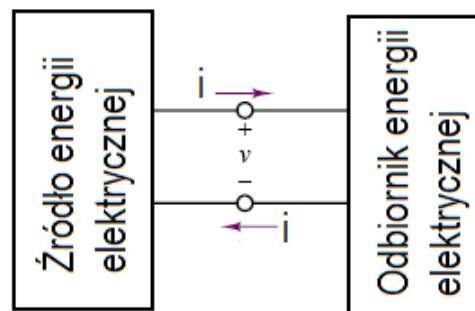
Intensywność przepływu elektronów w obwodzie elektrycznym (natężenie prądu) jest proporcjonalne do różnicy potencjałów wymuszających ten przepływ, podobnie jak intensywność przepływu wody w rurze na rysunku obok jest proporcjonalne do różnicy poziomów.



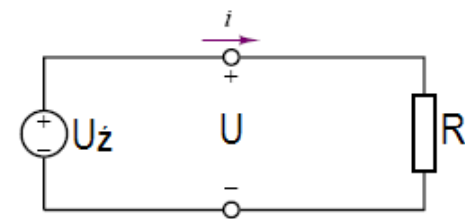
Sposoby reprezentacji obwodów elektrycznych.



Reprezentacja fizyczna

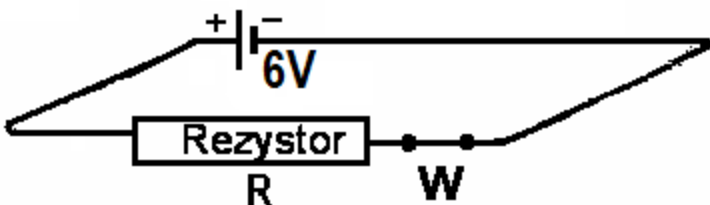


Reprezentacja koncepcyjna



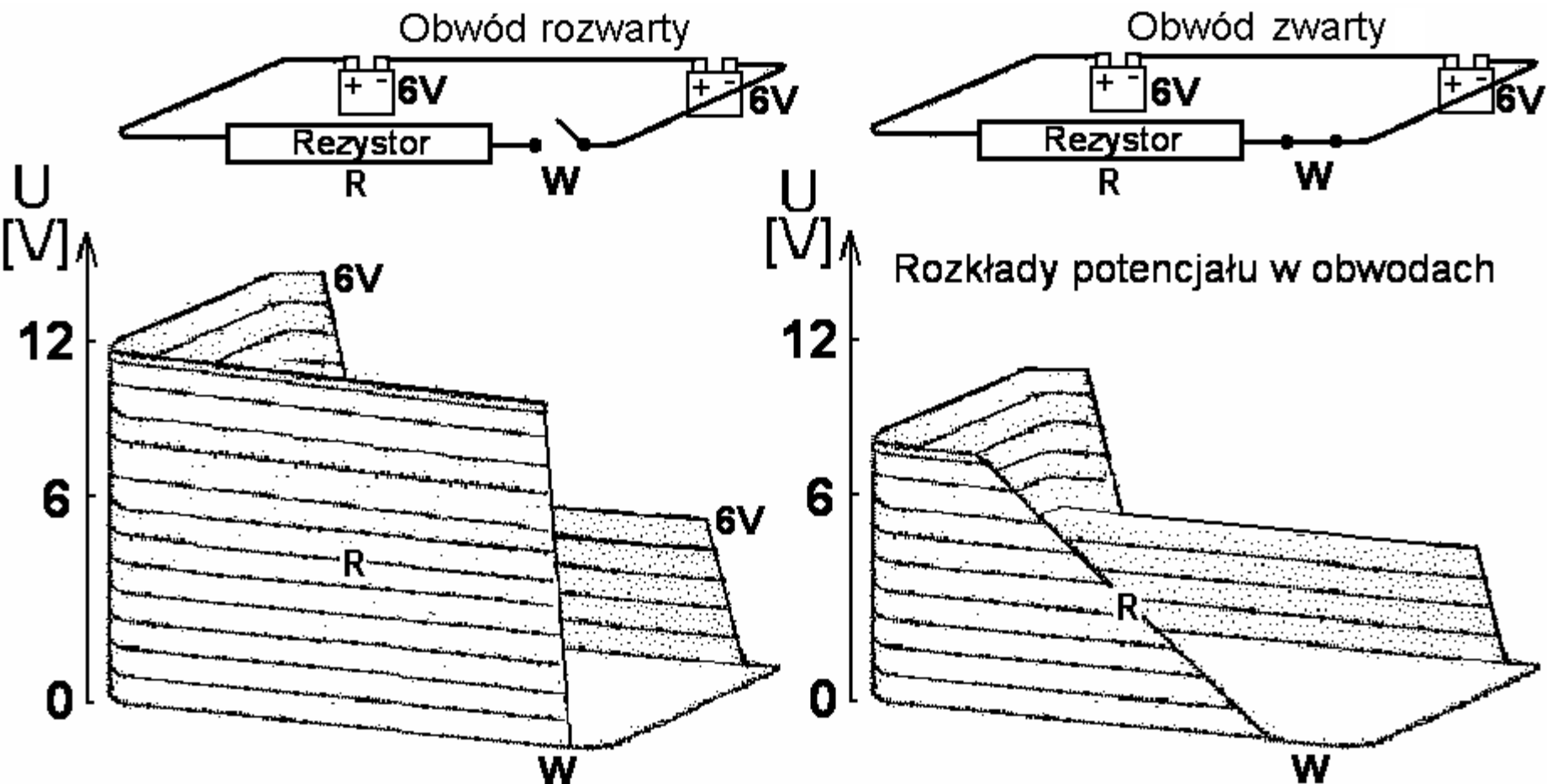
Reprezentacja symbolami (Schemat ideowy)

Dla małych napięć elementami odvodu elektrycznego zwykle są przewodniki. Dla bardzo dużych napięć istotnym elementem obwodu może być nawet taki izolator jak powietrze (napięcie między chmurą a Ziemią może wynosić nawet 10^8 V, prąd przez 0,03 s może sięgać 10^5 A).

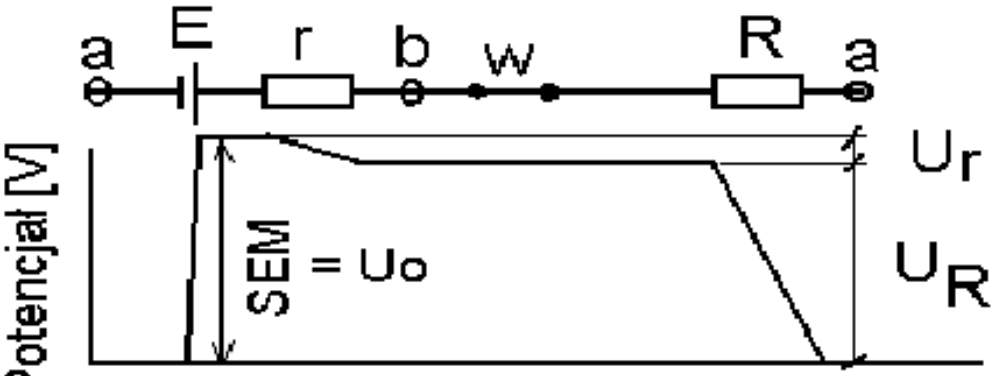
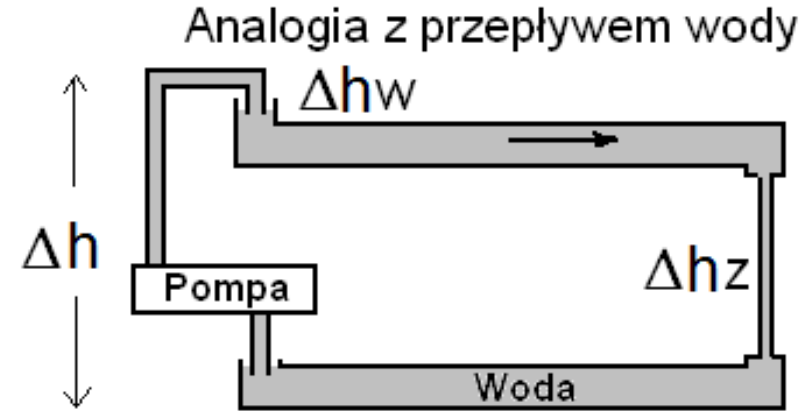
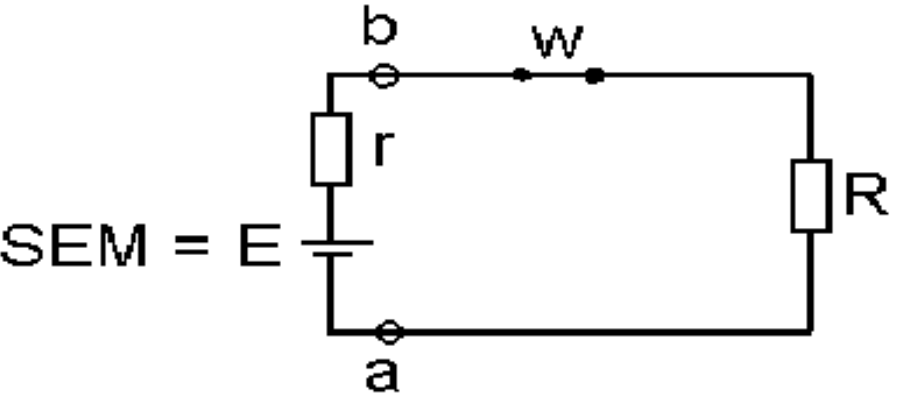


Rozkład potencjału w układach prądu stałego.

W praktycznych obwodach elektrycznych a zwłaszcza w obwodach elektronicznych zaniebujemy spadki napięcia na przewodach gdyż typowe oporności metali wynoszą 10^{-8} - 10^{-6} Ωm (oporność przewodu miedzianego o przekroju 1 mm^2 i długości 1m wynosi zaledwie około $0.017\ \Omega$). Znaczne skoki potencjału występują na elementach o znacznej oporności, a gdy natężenie prądu jest duże, również na rezystancjach wewnętrznych źródeł napięcia.



Potencjał i jego różnice (napięcia) w obwodzie elektrycznym oraz różnice poziomów w obwodzie z cyrkulującą cieczą.

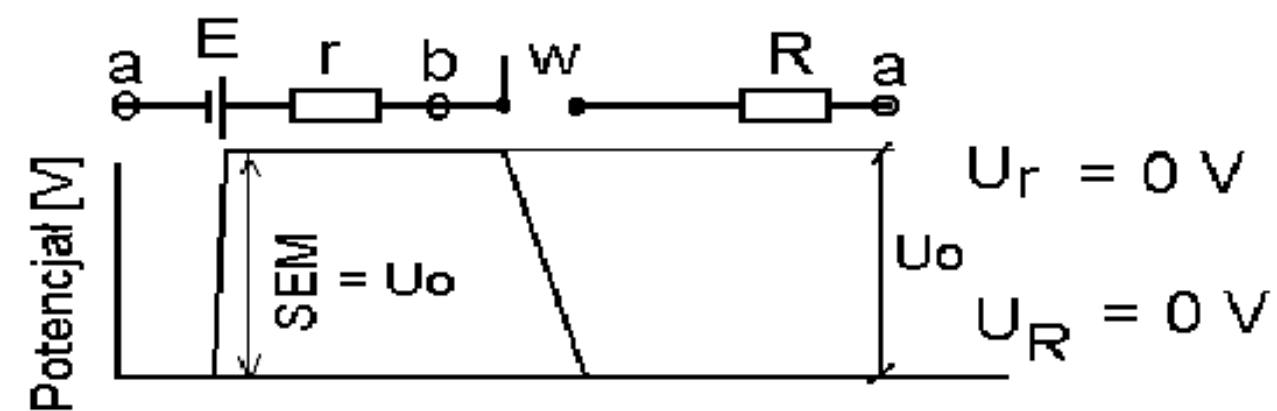


Równanie różnic poziomu

$$\Delta h = \Delta h_w + \Delta h_z$$

Równanie napięć (różnic potencjału)

$$U_0 = U_r + U_R$$



W elektrotechnice zajmujemy się obwodami:

a) Z prądami stałymi, gdzie nie bierzemy pod uwagę: kondensatorów bo stanowią one przerwanie obwodu, Indukcyjności bo idealna indukcyjność stanowi zerowy opór dla prądu stałego.

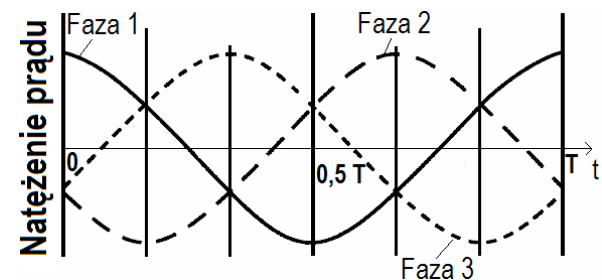
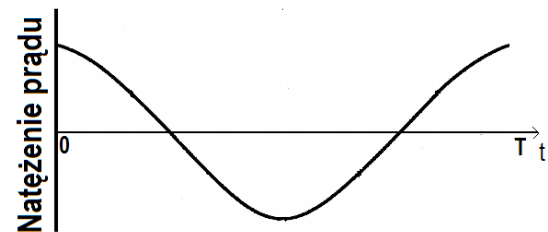
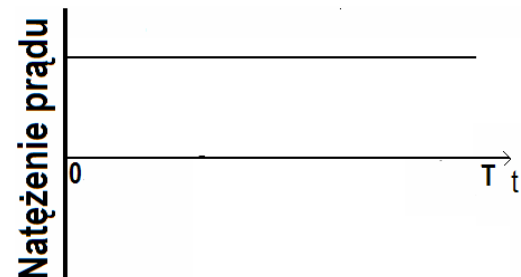
Sporadycznie bierzemy pod uwagę pole magnetyczne bo jest ono stałe i nie indukuje siły elektromotorycznej w nieruchomych przewodach.

b) Z prądami zmiennymi, tu już interesujemy się kondensatorami i cewkami bo dla prądu zmiennego stanowią skończone i niezerowe impedancje.

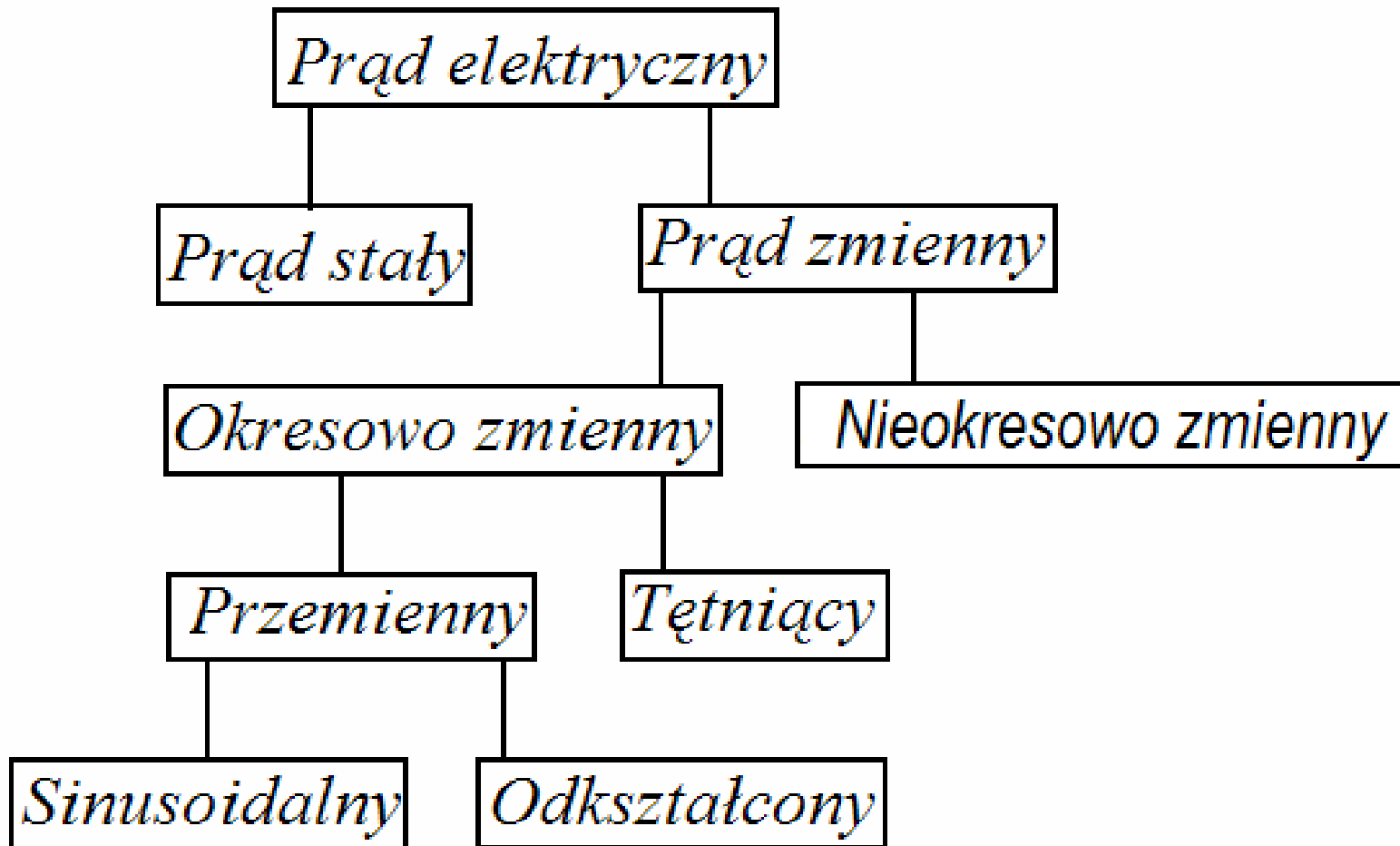
Interesujemy się też zmiennymi polami elektrycznym i magnetycznym.

c) Z prądami trójfazowymi, te obwody pozwalają wytwarzać tzw wirujące pole magnetyczne dzięki któremu można łatwo budować silniki dużej mocy (tu mamy do czynienia z dużą siłą i energią).

Dystrybucja energii elektrycznej w skali kraju odbywa się za pomocą linii trójfazowych.



W elektrotechnice prądy elektryczne są postrzegane głównie poprzez aspekt energetyczny i zwykle są klasyfikowane poprzez kryterium przebiegu prądu w funkcji czasu.



Wartość skuteczna (ang. **RMS** = root mean square).

Wartości skuteczne periodycznych napięć i prądów zdefiniowane są jako:

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{\int_{t_0}^{t_0+T} u^2(t) dt}{T}} \quad I_{sk} = \sqrt{\frac{\int_{t_0}^{t_0+T} i^2(t) dt}{T}}$$

U_{sk} (danego U) to taka wartość, że napięcie stałe o tej wartości, w czasie T , $n \cdot T$ lub w bardzo długim okresie czasu, zapewnia identyczny skutek jak samo U – czyli identyczną ilość energii w odbiorniku. To samo dotyczy I_{sk} . I_{sk} oraz samo I skutkują tą samą ilością energii w czasie T , $n \cdot T$ lub bardzo długim okresie czasu.

Dla przebiegów sinusoidalnych wartość skuteczna jest pierwiastek z 2 razy mniejsza od amplitudy. Wartości skuteczne używamy do obliczeń energii lub mocy. Mierniki napięć i prądów zwykle pokazują wartości skuteczne.

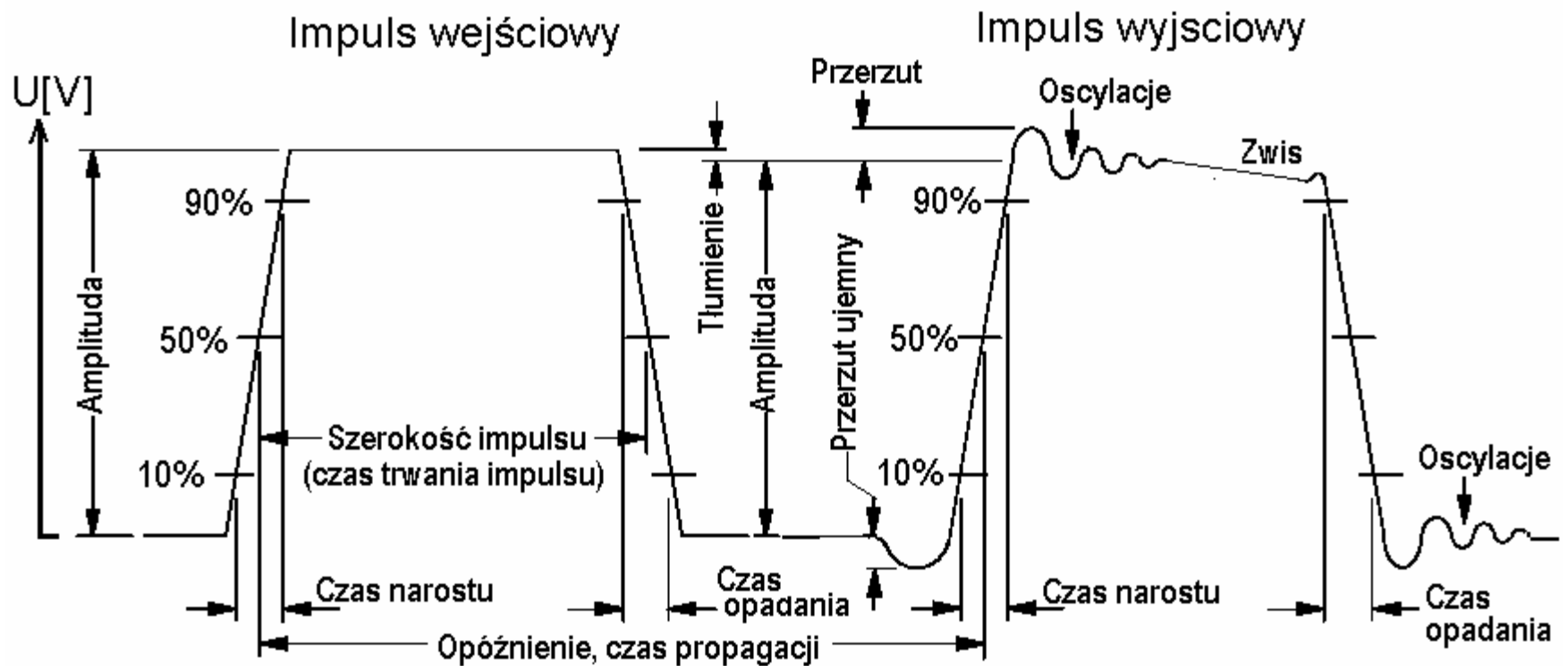
W elektronice nie tylko prądy ale i wiele innych wielkości fizycznych postrzega się poprzez aspekt informatyczny traktując je jako sygnały.

Ogólnie sygnałem może być dowolna zmiana dowolnej wielkości fizycznej. W elektronice istotnymi sygnałami są: zmiany ładunku elektrycznego, napięcia, prądu oraz pola elektromagnetycznego.

Klasyfikacje sygnałów elektrycznych

- 1) Sygnały: a) stochastyczne (losowe), b) deterministyczne. 2) Sygnały: a) jednowymiarowe, b) wielowymiarowe. 3) Sygnały: a) periodyczne, b) nieperiodyczne.
- 4) Sygnały zmodulowane: a) m. amplitudy, b) m. częstotliwości, c) m. fazy.
- 5) Sygnały impulsowe i skokowe. 6) Szумы – wszelkie zakłócenia sygnału użytecznego.

Parametry transmitowanego impulsu elektrycznego



Zakłócenie szumem



Impuls elektryczny - to składnik sygnałów w układach cyfrowych, komputerach, telekomunikacji itp.

Moc *(czyli tempo wykonywania pracy)*

Moc jest ilością pracy wykonywaną, oddawaną lub pobieraną w jednostce czasu, jest to ilość pracy przypadająca na jednostkę czasu. W elektryczności moc wyraża się zwykle symbolem P , i obliczana jest jako iloczyn napięcia i prądu: $P[\text{W}] = P[\text{J/s}] = U[\text{V}] \cdot I[\text{A}]$. Dla „ U ” w woltach i „ I ” w amperach mamy P w watach $[\text{W}]$. $U[\text{V}] \cdot I[\text{A}]$ jest iloczynem: (praca/ładunek) \cdot (ładunek/czas) = (praca/czas). Gdy kierunek prądu jest zgodny z napięciem danego źródła napięcia (czyli, gdy na zewnątrz źródła ładunek płynie od dodatniego do ujemnego bieguna) to znak mocy jest dodatni i mówimy, że źródło to wykonuje (oddaje pracę). W przeciwnym wypadku moc będzie ujemna, a źródło będzie pobierać pracę (i gromadzić energię). W układach elektronicznych moc wydziela się w postaci ciepła i podnosi temperaturę do momentu uzyskania równowagi cieplnej tj. strumień ciepła odprowadzanego zrównoważy wydzielaną moc. Zbyt wysoka temperatura równowagi często bywa przyczyną uszkodzeń elementów elektronicznych. Zatem nie powinny nas dziwić liczne wiatraki we współczesnych systemach cyfrowych.

Rezystancja

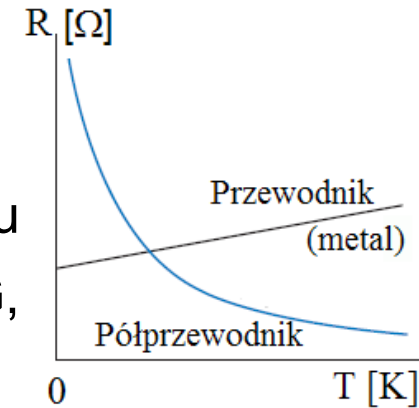
Rezystancja, czasem zwana opornością lub oporem czynnym, symbol **R**, jednostka Ω - Ohm, jest miarą utrudniania przepływu prądu. **Konduktancja** zwana też przewodnością, symbol **G**, jednostka **S** – Simens, jest odwrotnością rezystancji $G = R^{-1}$.

(W literaturze zachodniej można spotkać jednostki konduktancji jako „mho” – odwrotność do Ohm: *L.P. Huelsman „Basic Circuit Theory*)

Prawo Ohma: $I = U/R$ (lub $I = GU$) - natężenie prądu **I** w elemencie obwodu elektrycznego jest wprost proporcjonalne do napięcia **U** między końcami (zaciskami) tego elementu.

Rezystancja między określonymi punktami obwodu (w tym rezystancja zastępcza układu) to stosunek napięcia do natężenia prądu między tymi punktami $R[\Omega] = U[V]/I[A]$, konduktancja to $G[S] = I[A]/U[V]$.

Szybkość wydzielania się ciepła przy zadanym prądzie: $P = IU = I^2R$, a przy zadanym napięciu $P = IU = U^2G$. Materiały lub elementy spełniające prawo Ohma, czyli wykazujące proporcjonalność prądu do napięcia, nazywamy omowymi lub liniowymi. **Prawo Ohma** jest idealizacją, która nie uwzględnia takich zjawisk jak np. zmiana oporności wywołana zmianą natężenia pola elektrycznego czy natężenia prądu.



Rezystancja rezystora

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

wyraża się wzorem:

R – rezystancja, ρ - rezystancja właściwa materiału, l - długość rezystora, A – przekrój poprzeczny rezystora.

Najważniejsze parametry przy doborze rezystorów:

Nominalna moc P_{\max}

Nominalne napięcie V_{\max}

$$P_{\max} = \frac{(V_{\max})^2}{R}$$

$$TWR = \frac{\Delta R}{R \Delta T}$$

Temperaturowy współczynnik rezystancji

(typowo od 10^{-3} do 10^{-5} na stopień Celsjusza),

R – rezystancja w temperaturze otoczenia

ΔT – przyrost temperatury względem temp. otoczenia.

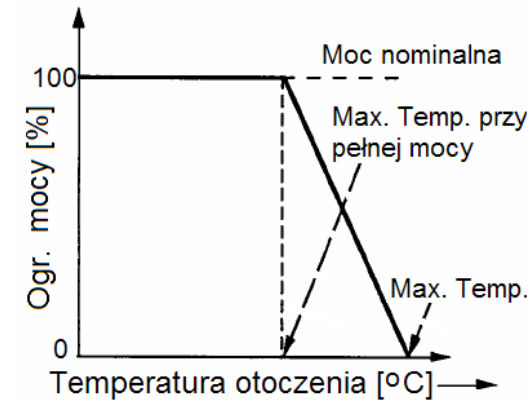
ΔR – przyrost rezystancji.

Napięciowy współczynnik rezystancji

$$NWR = \frac{\Delta R}{R (U_{\max} - 0,1 U_{\max})}$$

R – rezystancja przy napięciu = $0,1 U_{\max}$ (U_{\max} - dopuszczalne maksymalne napięcie pracy rezystora), ΔR – przyrost rezystancji.

Inne parametry: indukcyjność pasożytnicza, napięcie graniczne, dopuszczalna moc, tolerancja, poziom szumu (Rezystory metalizowane i drutowe "szumią" najmniej ale mają większą indukcyjność. Ich napięcie szumów wynosi $0,05 \mu V/V$. Napięcie szumów rezystorów węglowych wynosi $6 \mu V/V$).



Stałe materiałowe niektórych przewodników w temperaturze 20 °C

Materiał	Rezystancja właściwa ρ	Temperaturowy wsp. rezystancji α	Zastosowanie
	$\Omega \text{ m}$	K^{-1}	
Al	$2,85 \cdot 10^{-8}$	0,0041	Przewody, kable
Cu	$1,78 \cdot 10^{-8}$	0,0039	Przewody, kable
Ag	$1,63 \cdot 10^{-8}$	0,0038	Styki
W	$5,5 \cdot 10^{-8}$	0,0045	Żarówki
C Węgiel bezpostac.	$10 - 100 \cdot 10^{-8}$	0,0003	Elektrody, szczotki

Dane zawarte w tabeli pokazują, że rezystancja przewodów Al i Cu ze wzrostem temperatury o 100 K rośnie o około 40%. Zatem mierząc przyrost oporu np. uzwojenia można określić przyrost temperatury danej maszyny elektrycznej.

Rezystancja statyczna i dynamiczna

Wiele elementów wyróżnia specyficzna nieliniowa zależność prądu od przyłożonego napięcia (np. **żarówka lub dioda**). Elementy takie nazywamy nieliniowymi lub nieohmowymi i przy ich opisie posługujemy się pojęciami oporu statycznego R i oporu dynamicznego r_d .

Oporność statyczną definiujemy jako stosunek napięcia do prądu w danym punkcie zależności (charakterystyki) między napięciem i prądem danego elementu:

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

Oporność dynamiczną (zwaną też opornością przyrostową lub małosygnałową) danego elementu definiujemy jako pochodną:

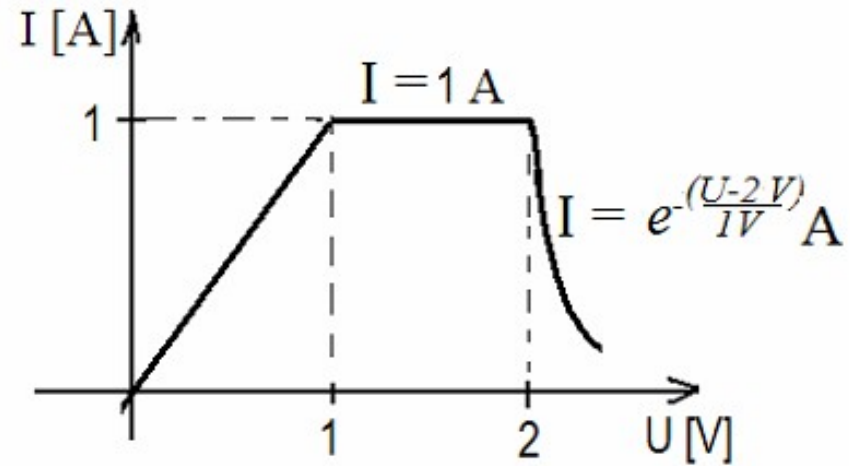
$$r_d = \frac{dU}{dI}$$

Generalnie rezystancja dynamiczna (stosunek przyrostów napięcia i prądu) dowolnego elementu różni się od rezystancji zwanej też rezystancją statyczną (stosunek napięcia do prądu). Równość między tymi wielkościami zachodzi tylko dla oporników idealnych czyli idealnie spełniających prawo Ohma.

Wartość pochodnej dU/dI , dla elementów o nieliniowej zależności między natężeniem prądu i przyłożonym napięciem, zależy od aktualnej wartości przyłożonego napięcia. Zatem oporność dynamiczna nie jest wartością stałą tak jak nie jest wartością stałą nachylenie charakterystyki prądowo napięciowej tego elementu. Wartość r_d może dodatkowo zależeć od wielu czynników takich jak, czas, temperatura itp..

Ważnym jednak jest dostrzeżenie faktu, że nieliniową zależność można rozłożyć na małe „kawałki” liniowych zależności i dla małych przyrostów napięć (i prądów) korzystać z równań liniowych.

Przykład. Pewien element pod wpływem przykładanego napięcia przepuszczał przez siebie prąd w taki sposób, że zwiększenie napięcia o 1 V zwiększało prąd o 1 A. Po przekroczeniu 1 V prąd przestał się zmieniać a po przekroczeniu 2 V zaczął maleć według zależności $I = 1 e^{-[(U-2V)/1V]}$ [A]. Przedstaw zależność rezystancji dynamicznej i statycznej od napięcia. Czy ten element spełnia prawo Ohma?



Rozw.

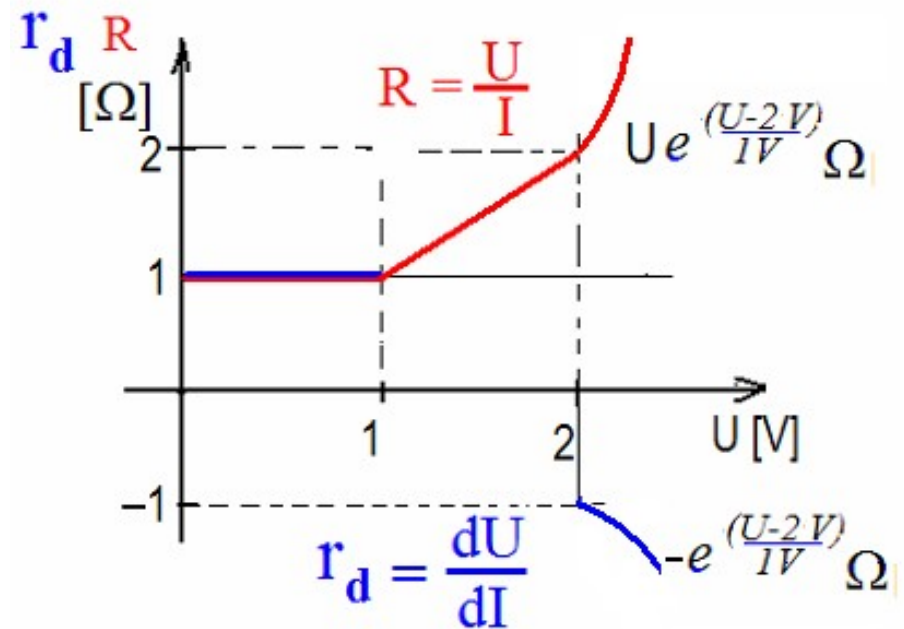
W zakresie napięć 0 – 1V, $R = r_d$ bo $U/I = dU/dI$,

W zakresie 1V – 2V, $R = U/1A$, $r_d = \infty$ bo $dI = 0$,

Powyżej 2V, $R = U/I = U e^{[(U-2V)/1V]}$ [V/A],

a $r_d = dU/dI = 1/(dI/dU) = 1/[-e^{[(U-2V)/1V]}] = -e^{[(U-2V)/1V]}$ Ω .

Odp. Ten element spełnia prawo Ohma tylko w zakresie napięć 0 – 1V. W szerszym zakresie przykładanych napięć prawo Ohma nie jest spełnione.



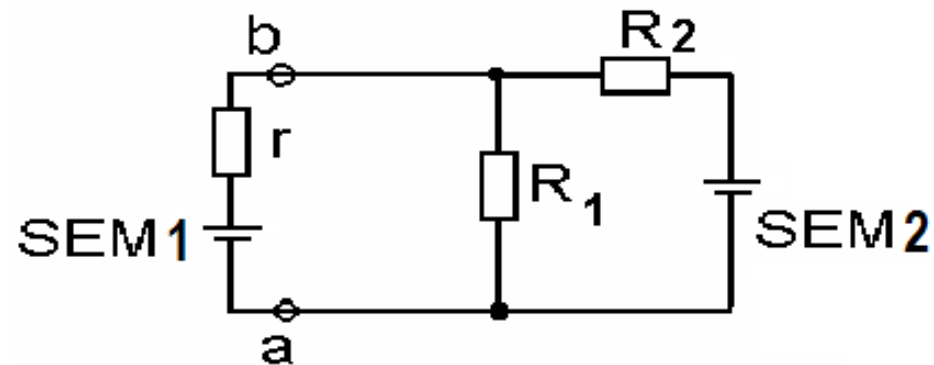
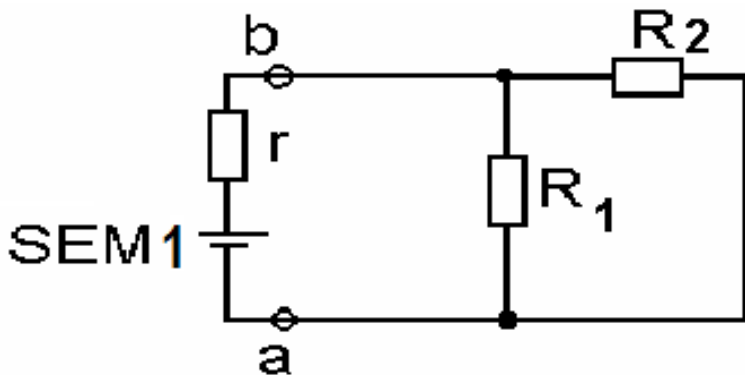
Podział elementów elektrycznych (i elektronicznych) na liniowe i nieliniowe

Do elementów liniowych zaliczamy takie, które wykazują proporcjonalność między „przyczynami” a „skutkami”, (przynajmniej w pewnym interesującym zakresie) i można je składać bez utraty tej proporcjonalności. Przykładowo idealny rezystor jest elementem liniowym bo płynący przez niego prąd (skutek) jest proporcjonalny do przyłożonego doń napięcia (przyczyny), a współczynnikiem proporcjonalności jest tu $1/R$ (zgodnie z prawem Ohma). Połączone rezystory można zastąpić jednym rezystorem zastępczym. Wiemy, że w praktyce przyłożenie zbyt dużego napięcia do rezystora powoduje utratę powyższej proporcjonalności a nawet zniszczenia samego rezystora. Mimo podobnych efektów (braku idealnej liniowości) wiele elementów traktujemy jako liniowe gdyż obwody złożone z elementów liniowych są łatwe do obliczeń przy pomocy układów równań liniowych. Bez wahania za elementy liniowe uznamy i takie, dla których współczynnik proporcjonalności jest liczbą zespoloną (jak zobaczymy: kondensatory i cewki)!

Do elementów nieliniowych zaliczamy te, które powyższej proporcjonalności nie wykazują. Przy rozwiązywaniu obwodów z takimi elementami konieczne będą inne sposoby, np. metody graficzne.

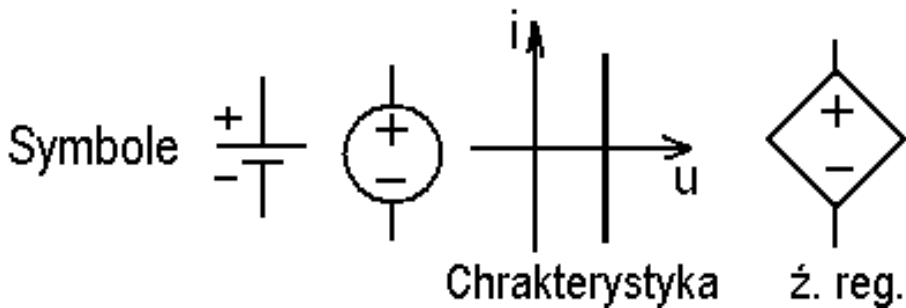
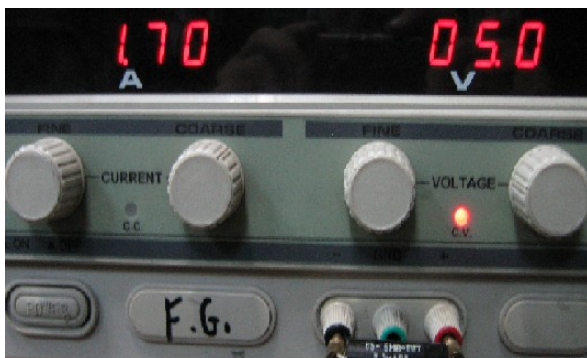
Połączenia szeregowe i równoległe

O tym czy rezystory (lub inne elementy) są połączone szeregowo lub równoległe nie decyduje ułożenie symboli tych elementów na schemacie lecz to jak rozplywa się ładunek elektryczny gdy w danym układzie płynie prąd wymuszany źródłem napięcia. Jeżeli prąd w tym układzie cyrkuluje w taki sposób, że ładunek przepływa najpierw przez jeden a następnie przez drugi rezystor to mamy do czynienia z połączeniem szeregowym. Równoległe połączenie ma miejsce wtedy, gdy ładunek rozdziela się (rozplywa) na dwa lub więcej strumieni (dróg) by po pokonaniu pewnych odcinków z powrotem złąć się w jeden strumień. Na poniższym lewym rysunku rezystory R_1 i R_2 są połączone równoległe, natomiast r jest do nich obu połączony szeregowo. Taki jest „punkt widzenia” źródła napięcia SEM1! Gdyby w tym układzie wstawić nowe, dodatkowe wymuszanie np. SEM2 tak jak na prawym rysunku to z „punktu widzenia” SEM2 rezystancje r i R_1 okazują się być połączonymi równoległe a R_2 do nich szeregowo.



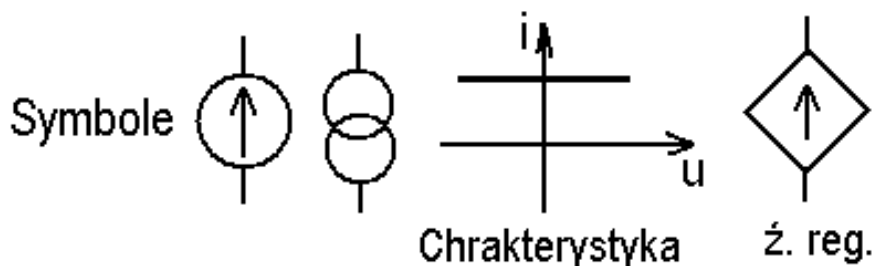
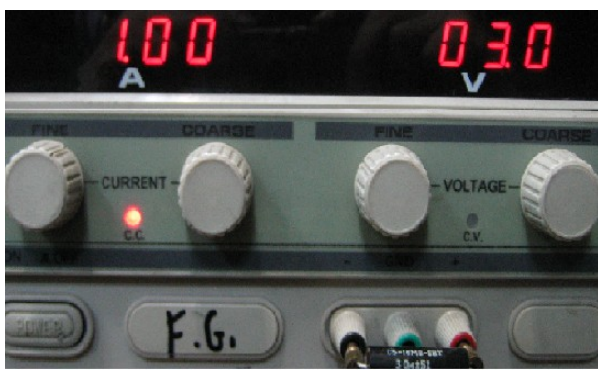
Źródło napięciowe

Idealne źródło napięciowe jest dwójnikiem, na którego zaciskach występuje stała różnica potencjałów niezależnie od natężenia i kierunku prądu. W szczególności napięcie takiego źródła nie zależy od wartości rezystancji obciążenia. Rzeczywiste źródło napięciowe zachowuje się jak idealne źródło napięciowe z szeregowo połączonym rezystorem o małej wartości rezystancji. Ogniwo elektryczne, baterię, akumulator można uważać za przybliżone źródła napięciowe.



Źródło prądowe

Idealne źródło prądowe jest dwójnikiem, który wymusza prąd o stałym natężeniu w dołączonym obwodzie, niezależnie od wartości napięcia na jego zaciskach. Rzeczywiste źródło prądowe charakteryzuje się pewną graniczną wartością napięcia wyjściowego a wydajność prądowa jest tylko w przybliżeniu stała.



Podział elementów obwodów elektrycznych na pasywne i aktywne.

Elementy aktywne – są to elementy mające zdolność dostarczania energii elektrycznej do obwodu elektrycznego.

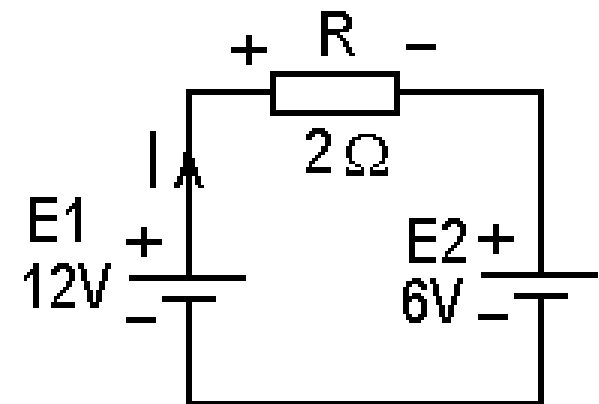
Zaliczamy do nich źródła napięciowe i prądowe.

Elementy pasywne – są to elementy, które rozpraszają energię elektryczną (zamieniając ją na inny rodzaj energii np. na ciepło) lub mają zdolność magazynowania energii w postaci pola elektrycznego (kondensatory) albo magnetycznego (indukcyjności).

Kierunek przepływu energii

W obwodach elektrycznych dwójnik oddaje energię, gdy prąd wypływa z jego zacisku o wyższym potencjale elektrycznym, natomiast pobiera energię, gdy prąd wpływa do tego zacisku.

Na rys. obok prąd $I = (E1 - E2)/R = 3 \text{ A}$ płynie zgodnie ze strzałką. Widać, że źródło $E1$ traci moc $P1 = I E1 = 36 \text{ W}$, źródło napięcia $E2$ przyjmuje i magazynuje moc $P2 = 18 \text{ W}$, a rezystor R pobiera i rozprasza moc $P3 = I^2 R = 18 \text{ W}$.



Elektrotechnika i elektronika – Lista 1.

- 1) Jaki ładunek zostanie przeniesiony prądem elektrycznym o natężeniu 6 A w ciągu 10 min? Jak długo musi trwać prąd o natężeniu 1 mA aby przenieść identyczny ładunek?
- 2) Spirala kuchenki elektrycznej ma rezystancją 30 Ω . Jakie natężenie prądu pojawi się w spirali gdy podłączymy ją do sieci 240 V? Na jaką moc jest ta kuchenka?
- 3) Dwie żarówki 60 W na 240 V omyłkowo połączono szeregowo do sieci. Jaką mają rezystancję te żarówki i jaką moc będą pobierać z sieci?
- 4) Aby doprowadzić do wrzenia pewną masę wody w ciągu 10 min należy dostarczyć 3,6 MJ energii. Jakiej łącznej mocy grzałek należy użyć i jaki prąd będzie pobierany z sieci 240 V?
- 5) Oblicz rezystancje płytek kwadratowych o wymiarach a) 1 m x 1 m x 1 μm i b) 1 μm x 1 μm x 1 μm wykonanych z materiału o rezystancji właściwej 1 Ωm .
- 6) Oblicz amplitudę oraz wartość średnią napięcia w sieci 240 V.
- 7) Pewien element pod wpływem przykładanego napięcia przepuszczał przez siebie prąd w taki sposób, że zwiększenie napięcia o 1 V zwiększało prąd o 1 A. Po przekroczeniu 10 V prąd przestał się zmieniać a po przekroczeniu 20 V kontynuował zwiększanie prądu. Tym razem o 1 A przy wzroście napięcia o 2 V.
Przedstaw zależność rezystancji dynamicznej od napięcia. Czy ten element spełnia prawo Ohma?
- 8) Oblicz siłę działającą na kawałek przewodu o długości 0,1 m z prądem o natężeniu 5 A umieszczonym pod kątem 80° do wektora pola magnetycznego B o wartości 2 T.
- 9) Zakładając, że każdy kilometr kabla do przesyłania energii elektrycznej ma rezystancję (oporność) 2 Ω obliczyć jaką maksymalną moc można dostarczyć na odległość 10 km z idealnej elektrowni – czyli o zerowej rezystancji wewnętrznej. Ile mocy tracimy w linii przesyłowej wiedząc, że elektrownia generuje napięcie 240 V.
- 10) Oblicz natężenia wszystkich prądów elektrycznych w podanym obwodzie.

