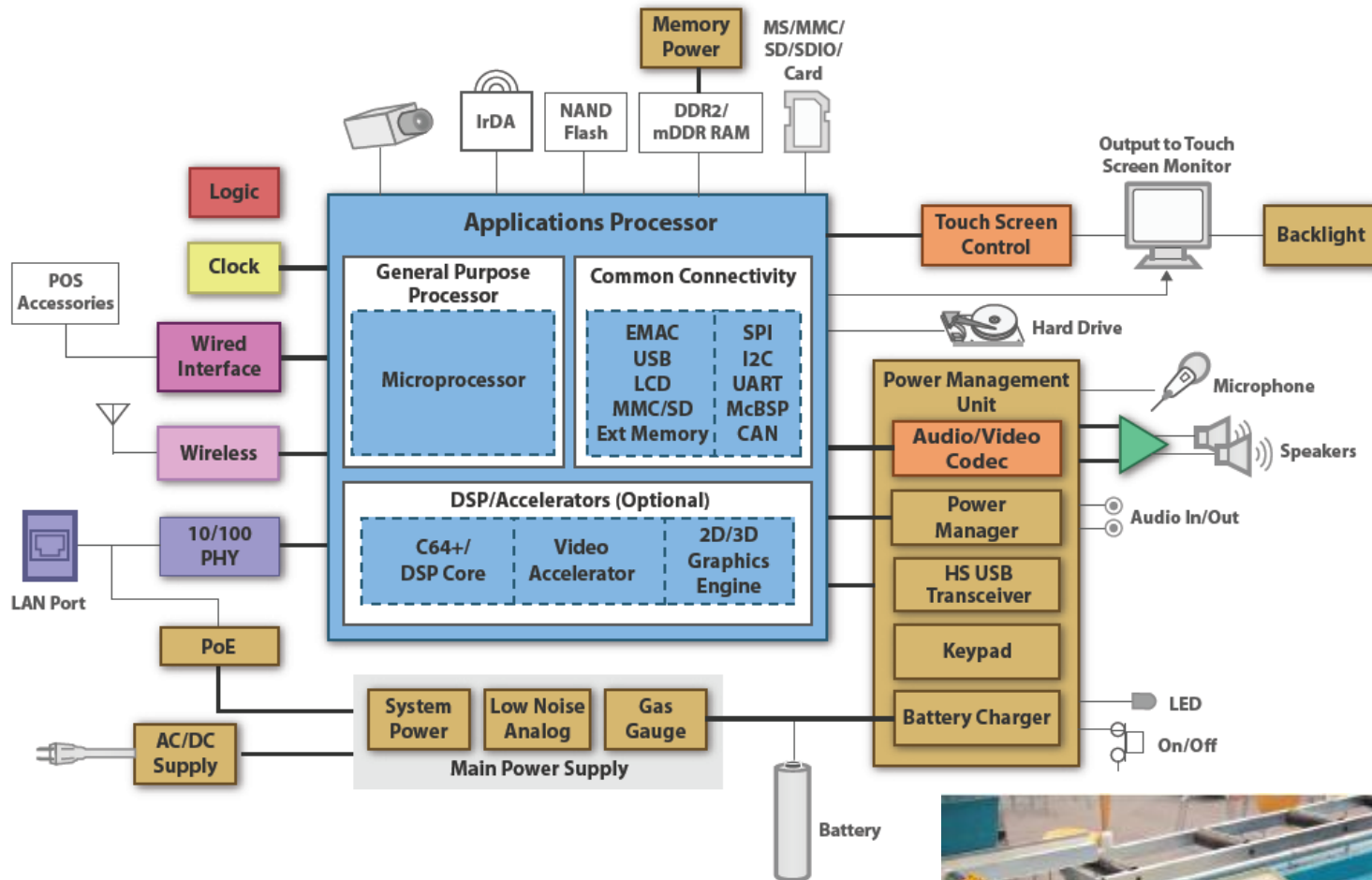


Elektronika stosowana

Elementy bierne

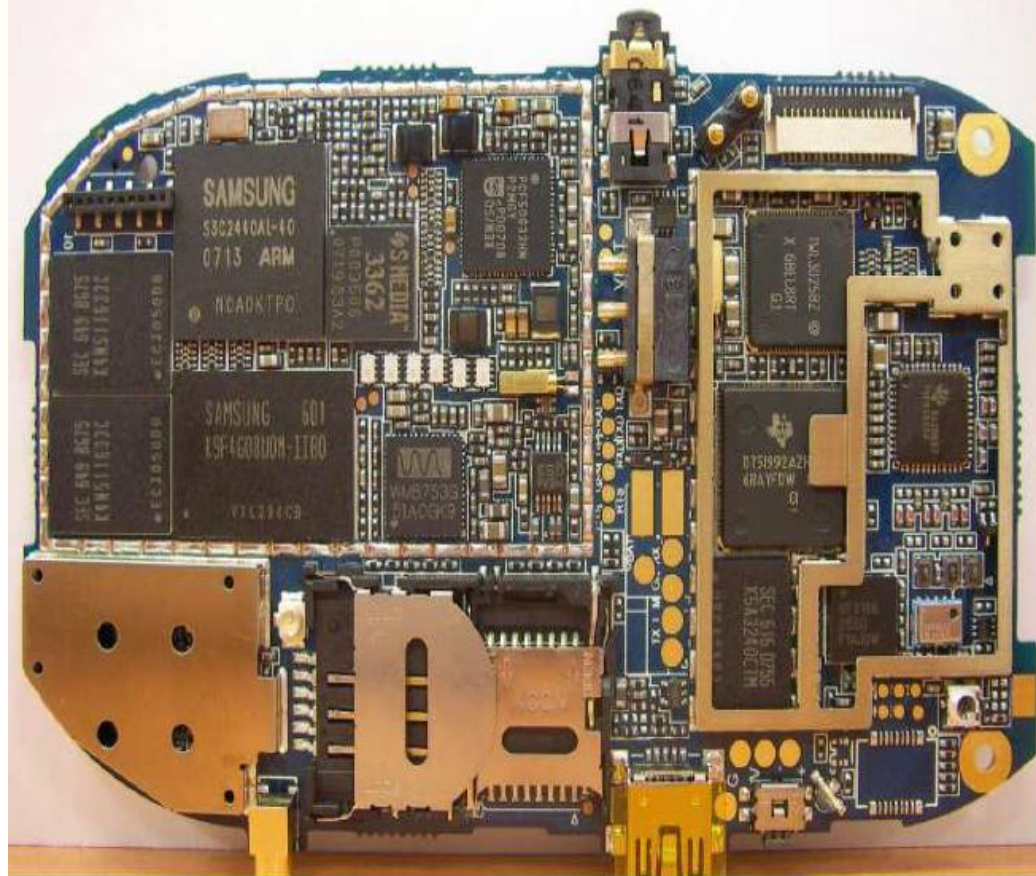
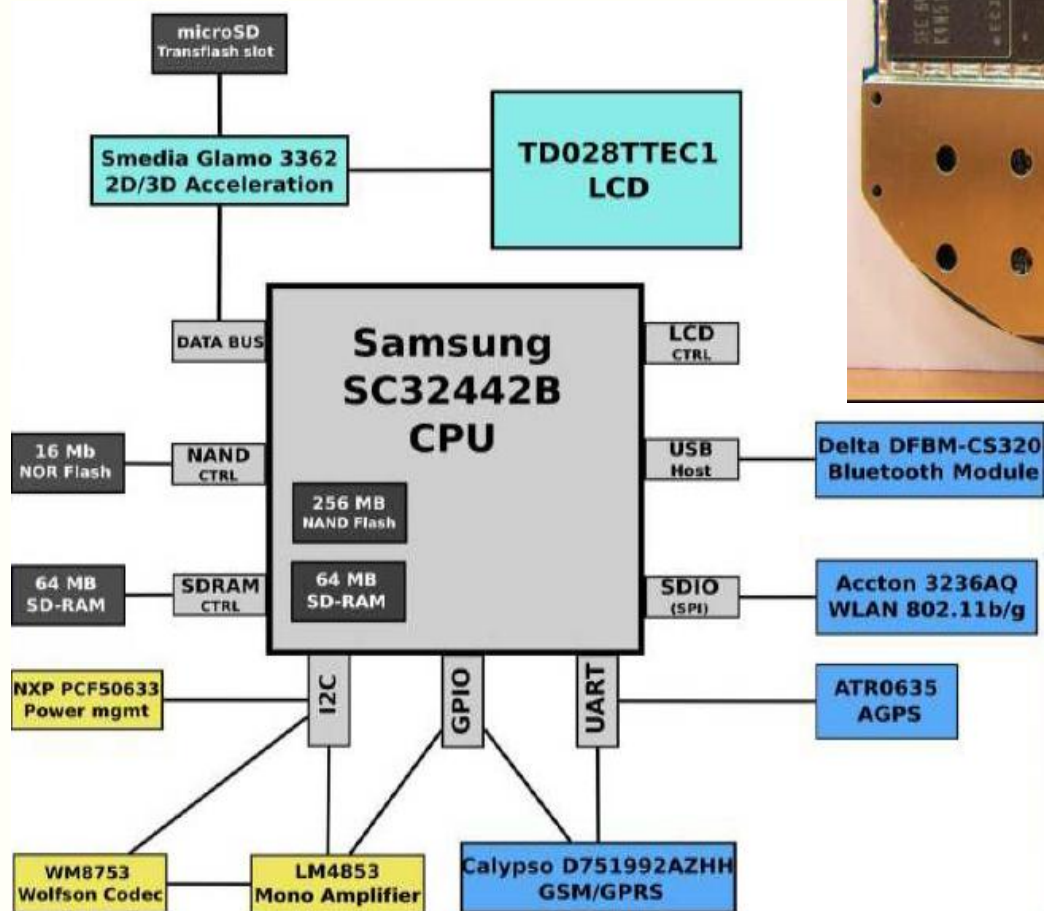
www.pwsz.legnica.edu.pl/~dudajan



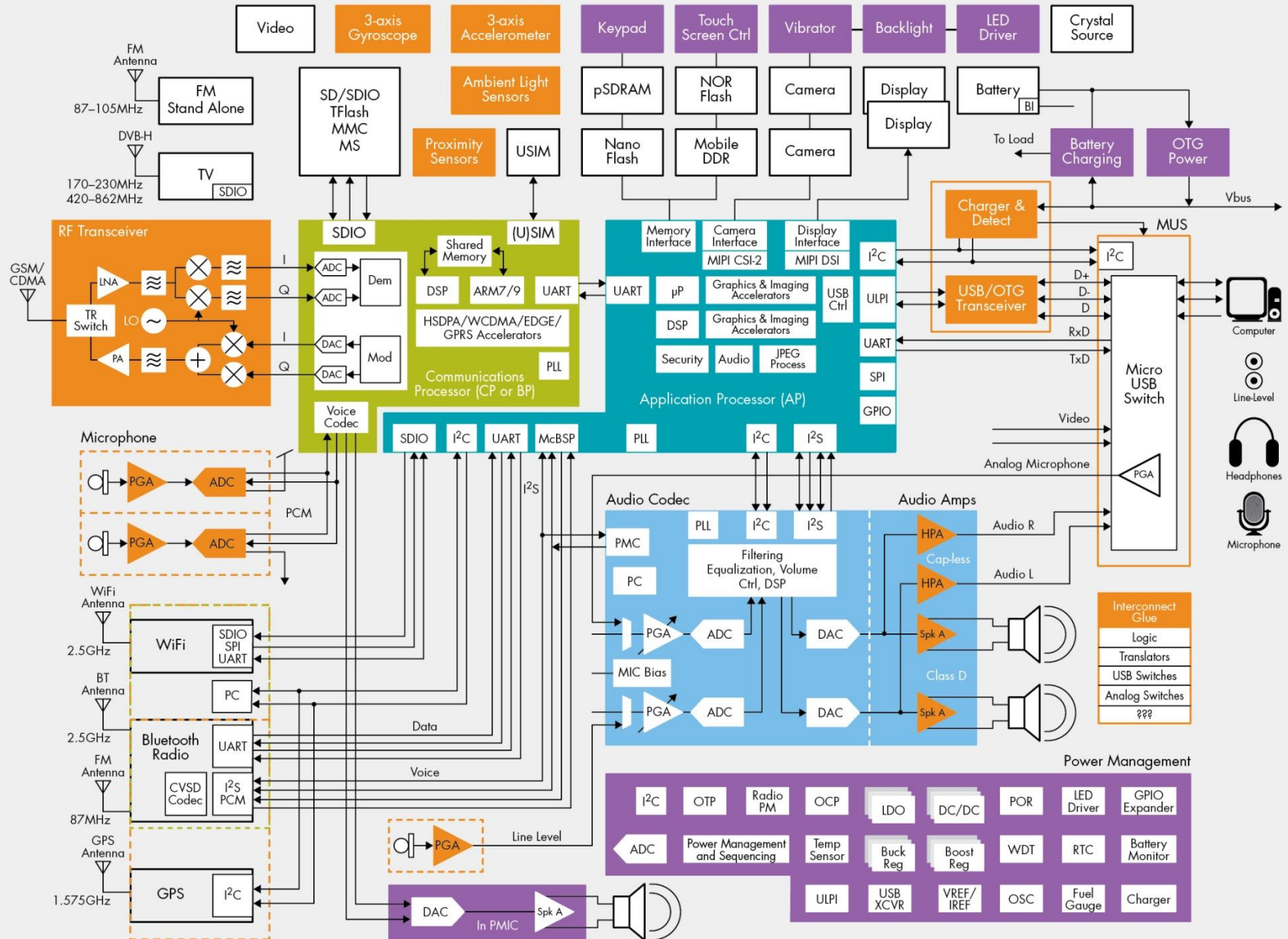
HMI – Human Machine Interface
(Operator Panel, Terminal) –
Texas Instruments



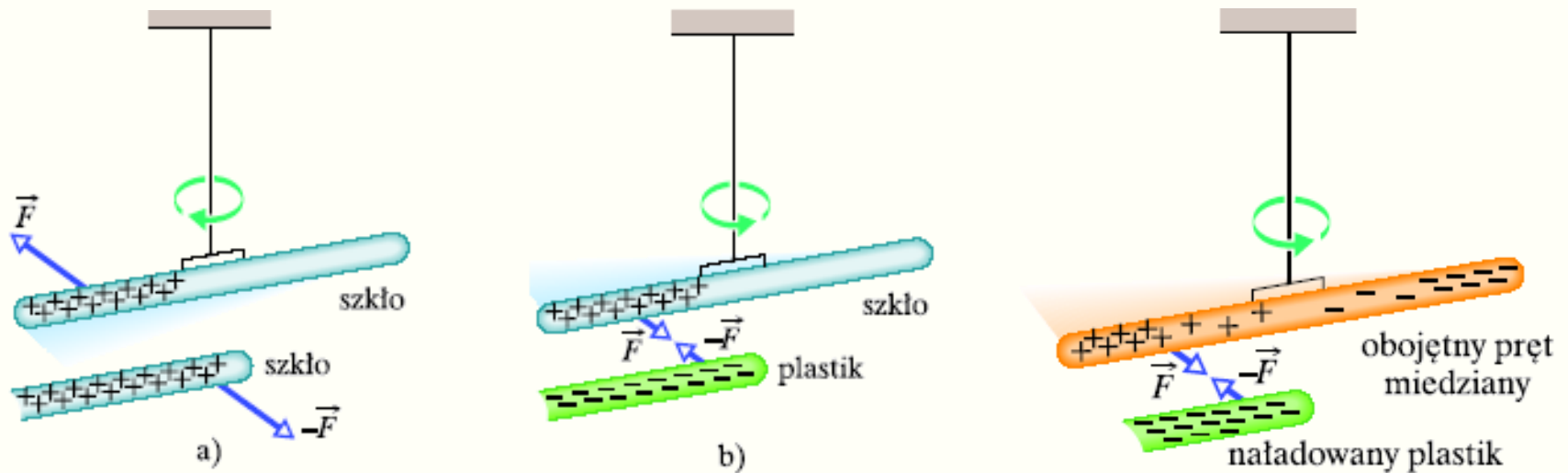
Telefon komórkowy



Smartfon – schemat blokowy



Początki nauki o elektryczności sięgają starożytności. Już wówczas zauważono, że potarty bursztyn przyciąga drobne przedmioty np. trawę. **Naelektryzowanie przedmiotu może nastąpić przez potarcie, dotknięcie przez inny naelektryzowany przedmiot, indukcję elektryczną (zbliżenie naładowanego przedmiotu).**



Beniamin Franklin (1706-1790) stwierdził, że są **dwa rodzaje ładunków elektrycznych:**

ładunki gromadzące się na potartym szkłe nazwał dodatnimi, zaś na potartym ebonicie – ujemnymi. Ładunki elektryczne oddziałują na siebie, przy czym ładunki jednoimienne odpychają się, a różnoimienne – przyciągają.

Zasada zachowania i kwantyzacji ładunku.

W układach izolowanych elektrycznie od wszystkich innych ciał ładunek może być przemieszczany z jednego ciała do drugiego, ale jego całkowita wartość nie ulega zmianie.

Wielkość ładunku elektrycznego jest wielokrotnością ładunku elementarnego **e**.

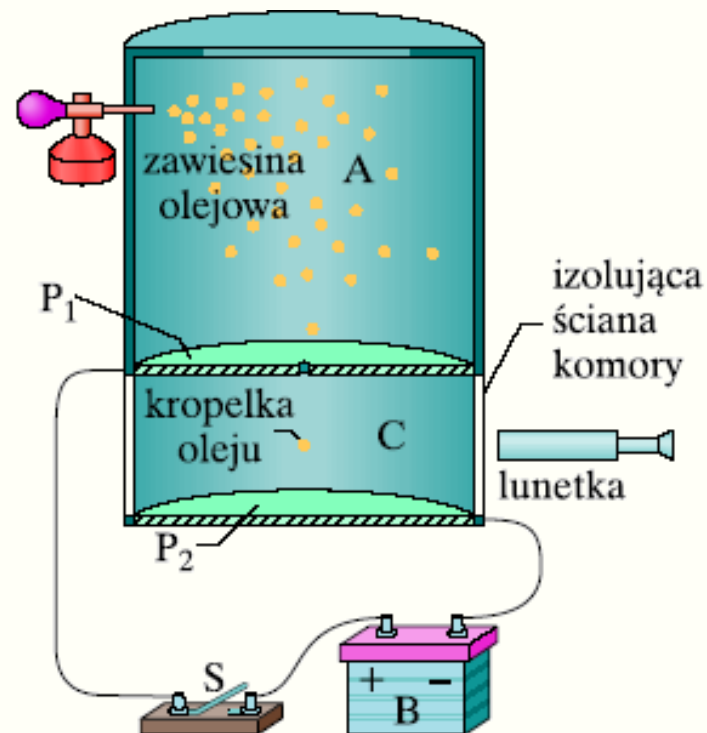
$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} [C], \quad Q = n \cdot e, \quad n \in N$$

Dodatni ładunek elektryczny posiadają **protony**, zaś ujemny **elektrony**.

Ciało naelektryzowane jest to ciało, którego suma ładunków elementarnych dodatnich jest różna od sumy ładunków elementarnych ujemnych.

Doświadczenie Millikana

- pomiar ładunku elektronu



Rys. 23.13. Aparatura do pomiaru ładunku elementarnego e w doświadczeniu Millikana z kropelkami oleju. Gdy naładowana kropelka oleju przejdzie do komory C przez otwór w płycie P_1 , na jej ruch wpływa zamknięcie lub otwarcie klucza S, czyli włączenie lub wyłączenie pola elektrycznego w komorze C. Lunetka służy tu do oglądania kropli i pozwala śledzić jej ruch

Siła z jaką ładunki oddziałują na siebie określona jest przez **prawo Coulomba** (1785):

$$F_C = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$$

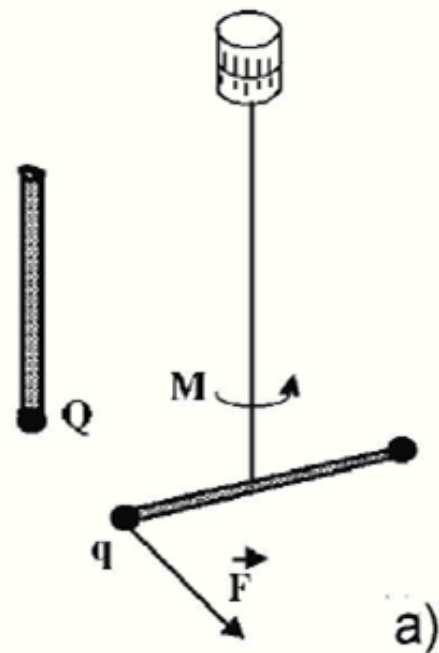
gdzie: F_C - siła Coulomba;
 k - stała elektrostatyczna;
 Q - pierwszy ładunek;
 q - drugi ładunek;
 r - odległość pierwszego ładunku od drugiego;

Stała elektrostatyczna jest to współczynnik proporcjonalności, wielkość równa liczbowo sile, z jaką oddziałują na siebie dwa ładunki 1 C znajdujące się w odległości 1m.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \left[N \cdot \frac{m^2}{C^2} \right]$$

Przenikalność elektryczna próżni
(stała dielektryczna):

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right]$$



Prąd elektryczny

Jest to uporządkowany ruch swobodnych ładunków wywołany różnicą potencjałów.

Warunki powstania prądu elektrycznego:

- nośniki ładunku muszą mieć możliwość poruszania się w przestrzeni tzn. nie być unieruchomione w sieci krystalicznej
- musi istnieć przyczyna ruchu (siła elektryczna $F_E = qE$, dyfuzja, unoszenie)

Nośniki prądu elektrycznego.

substancja przewodząca	nośnik
przewodnik	elektrony walencyjne
elektrolit	jony + i -
gaz	jony i elektrony
półprzewodnik	elektrony i dziury
próżnia	dowolny rodzaj ładunków

Skąd się biorą ruchome nośniki ładunku?

- Istnieją w przewodniku jako gaz elektronowy w przestrzeni międzywęzłowej sieci krystalicznej
- Są uwalniane z atomów (lub jonów) sieci (lub z innych centrów generacyjno-rekombinacyjnych) pod wpływem drgań termicznych lub optycznych lub sił elektrycznych.

Skutki prądu elektrycznego

- ciepło
- pole magnetyczne
- praca mechaniczna
- zmiany chemiczne (elektroliza)
- światło (dioda świecąca)

Źródła siły elektromotorycznej

- Elektromagnetyczna (prawo Faradaya, drugie prawo Maxwella)
generatory w elektrowniach
- Elektrochemiczna (prawa elektrolizy Faradaya) bateria,
akumulatory
- Fotoelektryczna ogniwa słoneczne
- Termoelektryczna termopara

Praca prądu elektrycznego stałego.

$$W = U \cdot I \cdot T = \frac{U^2 T}{R} = I^2 R T \quad [VAs = J]$$

Oznaczenia

W - praca; R- rezystancja; U - różnica potencjałów (napięcie);
T - czas przepływu; I - natężenie;

Moc prądu elektrycznego stałego.

$$P = \frac{W}{T} = U \cdot I \quad \left[\frac{J}{s} = W \right]$$

Oznaczenia

P - moc; W - praca; U - różnica potencjałów (napięcie);
T - czas wykonywania pracy; I – natężenie prądu;

Prawo Joula-Lenza.

Ilość wydzielonego ciepła na przewodniku jest równa pracy prądu elektrycznego, jaką on wykonał podczas przejścia przez obwód:

$$Q = W$$

Jeżeli w obwodzie zmienia się temperatura, to ciepło liczymy wg

wzoru: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

Oznaczenia

Q - ilość wydzielonego ciepła na przewodniku;

W - praca; m - masa;

c - ciepło właściwe (cecha charakterystyczna danej substancji);

ΔT - zmiana temperatury

Sprawność urządzeń elektrycznych.

Sprawność urządzenia elektrycznego:

$$\eta = \frac{P_Z}{P_P} \cdot 100\%$$

Oznaczenia

η - sprawność urządzenia elektrycznego;

P_Z - moc zużyta do przez urządzenie;

P_P - moc pobrana przez urządzenie

Natężenie prądu elektrycznego stałego.

Jest to stosunek ładunku przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika do czasu jego przepływu :

$$I = \frac{Q}{T} \quad \left[A = \frac{C}{s} \right]$$

Jeden Amper to natężenie takiego prądu, który płynąc w dwóch nieskończenie cienkich, długich, umieszczonych w próżni, równoległych przewodnikach wywołuje oddziaływanie tych przewodników na siebie siłą $F = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ na każdy metr długości.

Gęstością prądu elektrycznego nazywamy stosunek natężenia prądu do powierzchni przekroju poprzecznego przewodnika przez który prąd płynie.

Kierunek przepływu prądu.

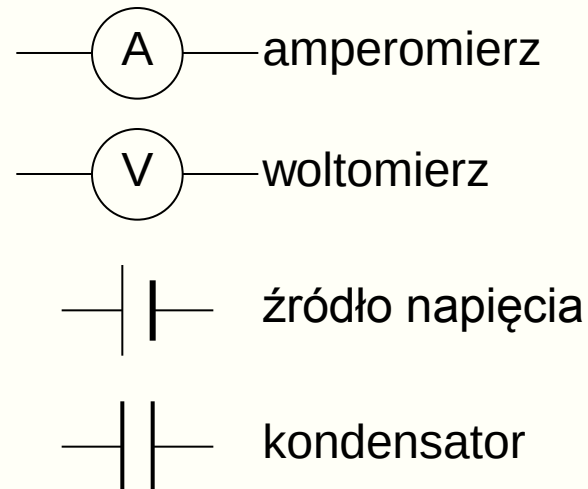
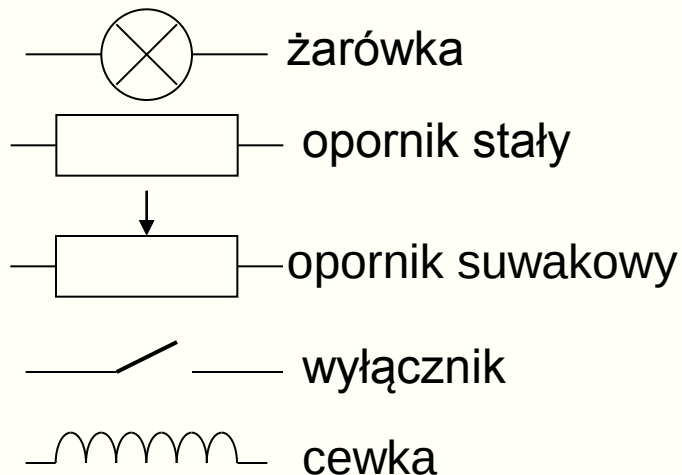
Na schematach elektrycznych określamy umowny kierunek przepływu prądu **od + do -**

Obwód elektryczny tworzą elementy połączone ze sobą w taki sposób, że istnieje co najmniej jedna droga zamknięta dla przepływu prądu.

Elementy obwodów dzielimy na pasywne i aktywne

Elementy aktywne dostarczają do obwodu energię elektryczną – źródła napięciowe lub prądowe.

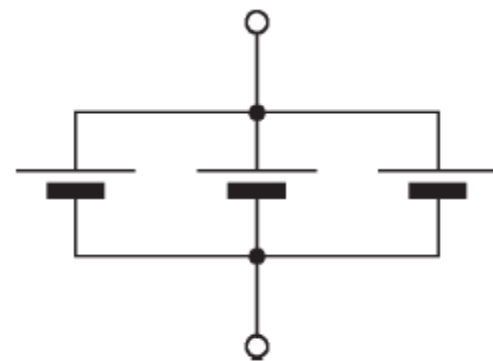
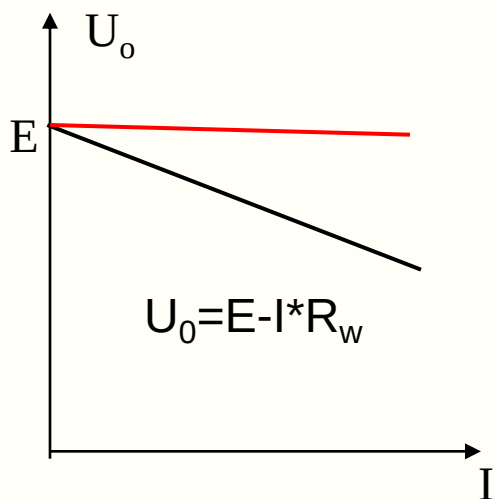
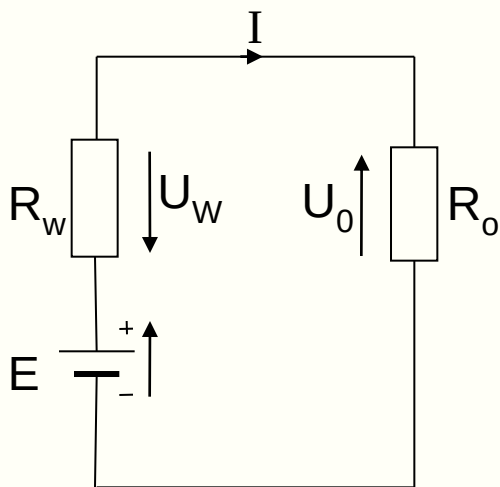
Elementy pasywne rozpraszają energię elektryczną (zamieniają na inny rodzaj energii, np. **rezystory**) lub magazynują energię pod postacią energii pola w polu elektrycznym (**kondensatory**) lub magnetycznym (**indukcyjności**).



Źródła napięciowe idealne są dwójnikami aktywnymi, które na zaciskach utrzymują **stałe napięcie** niezależnie od pobieranego natężenia prądu.

Źródło napięciowe rzeczywiste charakteryzuje się występowaniem spadku napięcia przy wzroście prądu.

Schemat zastępczy źródła rzeczywistego składa się z szeregowego połączenia źródła idealnego i rezystancji wewnętrznej.



**Szeregowe i równoległe
połączenie źródeł napięcia**

Prawo Ohma

Natężenie prądu zależy wprost proporcjonalnie od napięcia i odwrotnie proporcjonalnie od rezystancji:

$$I = \frac{U}{R} \quad \left[A = \frac{V}{\Omega} \right]$$

Prawo Ohma jest spełnione tylko wtedy, gdy rezystancja nie zależy od napięcia ani od natężenia prądu.

Oznaczenia

R - rezystancja;

U - różnica potencjałów (napięcie);

I - natężenie prądu

Prawo Ohma dla obwodu zamkniętego:

$$I = \frac{E}{R + r_w}$$

Oznaczenia

R - rezystancja obciążenia; E - siła elektromotoryczna ogniwa; I - natężenie prądu; r_w - rezystancja wewnętrzna ogniwa.

Opór elektryczny.

Opór elektryczny (**rezystancja**) to wynik oddziaływania elektronów przewodnictwa z jonami sieci krystalicznej.

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad [\Omega]$$

Opór elektryczny ma wartość 1 Ω gdy natężenie przy napięciu 1 V ma wartość 1 A. Jest to zależność empiryczna i obowiązuje w ograniczonym zakresie, gdyż rezystancja elementów zależy od wielu czynników takich jak temperatura, wartość napięcia i prądu, częstotliwość itd. Zależność ta jest bardzo często nieliniowa. Spotyka się też pojęcie rezystancji dynamicznej

$$r = \frac{du}{di}$$

Odwrotnością oporu elektrycznego (rezystancji) jest **przewodność** (konduktancja):

$$G = \frac{1}{R} \quad \text{jej jednostką jest siemens [1S]}$$

Odwrotnością oporu właściwego (rezystywności) jest **przewodność właściwa** (konduktywność) :

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad \text{jej jednostką jest} \quad [\gamma] = \frac{S}{m}$$

Opór właściwy ρ w temperaturze 20⁰ C

Metale	$\rho \times 10^{-6} \Omega \text{ m}$	Metale	$\rho \times 10^{-6} \Omega \text{ m}$
Aluminium	0,0282	Platyna	0,111
Cyna	0,114	Rtęć	0,958
Cynk	0,0522	Srebro	0,0162
Miedź	0,0168	Wolfram	0,055
Ołów	0,22	Żelazo (czyste)	0,0978

Izolatory	$\rho \times \Omega \text{ m}$	Stopy	$\rho \times 10^{-6} \Omega \text{ m}$
Bakelit	$10^{12} - 10^{14}$	Brąz fosforowy	0,038 – 0,17
Bursztyn	$10^{20} - 10^{22}$	Mosiądz	0,08 – 0,07
Ebonit	$10^{18} - 10^{20}$	Stal	0,07 – 0,1
Szkło	$10^{16} - 10^{17}$	Żeliwo	2,0 – 5,0

Stopy oporowe	$\rho \times 10^{-6} \Omega \text{ m}$
Konstantan (Cu, Ni)	0,47 – 0,50
Nikielina (Cu, Ni, Zn)	0,33
Manganian (Cu, Mn, Ni)	0,43 – 0,45
Chromonikielina (Cr, Ni, Fe)	1,06
Kantal (Fe, Cr, Al.)	1,35 – 1,45

Wartość rezystancji zależy od temperatury

$$R = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

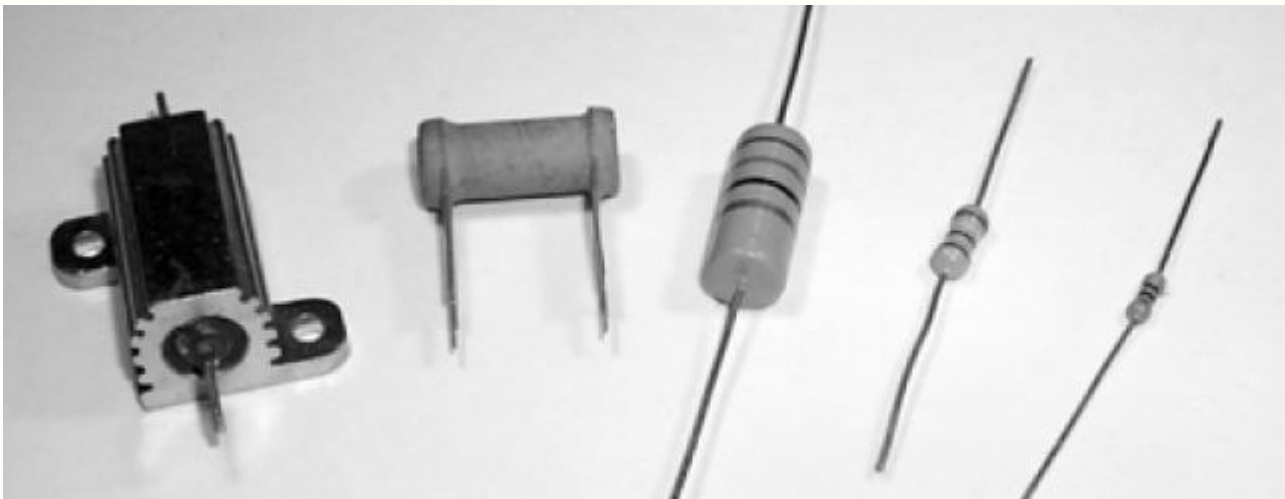
Oznaczenia

R - opór; ρ - opór właściwy (cecha charakterystyczna substancji);
l - długość przewodnika; S - pole powierzchni przekroju poprzecznego przewodnika;

R_0 - opór w danej temperaturze;

α - temperaturowy współczynnik oporu (cecha charakterystyczna substancji);

ΔT - różnica temperatur;



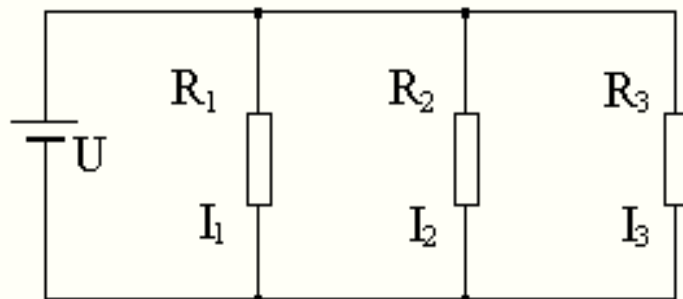
Łączenie rezystorów

Łączenie równoległe:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

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



Oznaczenia

R - rezystancja wypadkowa układu;

R_1, R_2, R_3 - rezystancje poszczególnych rezystorów;

U - różnica potencjałów (napięcie);

I_1, I_2, I_3 - natężenia prądu
w poszczególnych rezystorach;

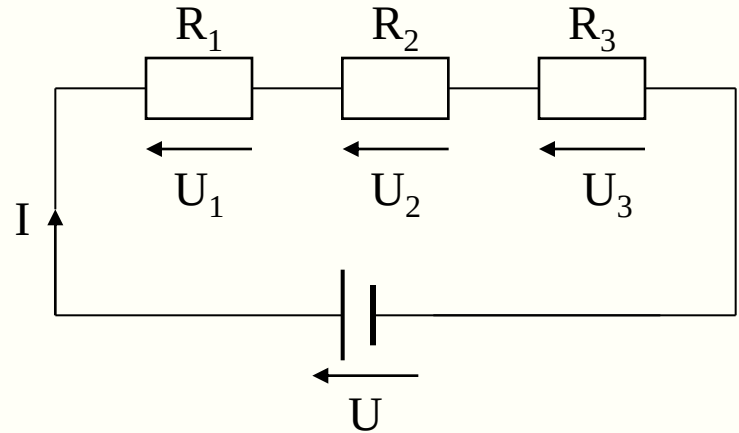
Łączenie rezystorów

Łączenie szeregowe:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$I \cdot R = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$



Oznaczenia

R - rezystancja wypadkowa układu;

R_1, R_2, R_3 - rezystancje poszczególnych oporników;

U - różnica potencjałów (napięcie);

U_1, U_2, U_3 – spadki napięć na poszczególnych rezystorach;

Kondensator

Kondensatorem nazywamy układ dwóch przewodników oddzielonych od siebie izolatorem.

Jeżeli do układu tego doprowadzimy napięcie to na okładkach zgromadzą się ładunki jednakowe co do wartości lecz o przeciwnych znakach. Ilość zgromadzonego ładunku zależy od przyłożonego napięcia U i cech konstrukcyjnych kondensatora określanych przez **pojemność C** .

$$Q = C \cdot U$$

Jednostką pojemności jest Farad (1F).

$$1 \text{ mF} = 10^{-3} \text{ F}$$

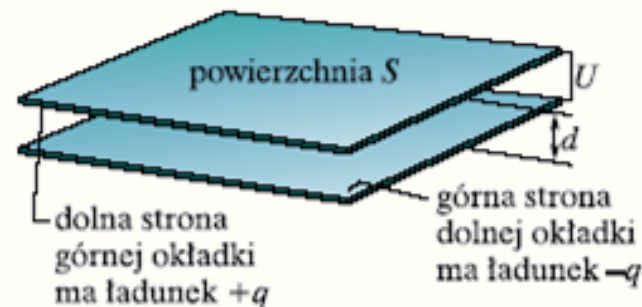
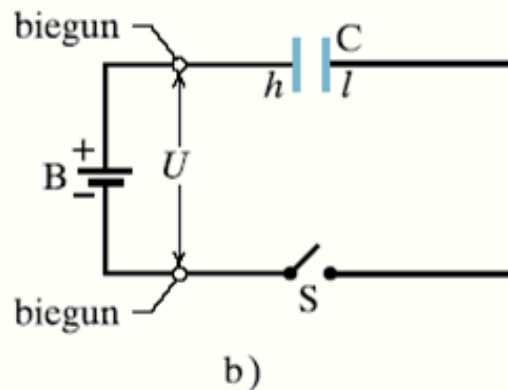
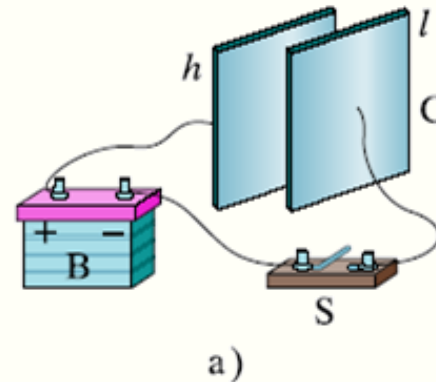
$$1 \text{ }\mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

Wzór na pojemność kondensatora płaskiego

$$C = \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{d}$$



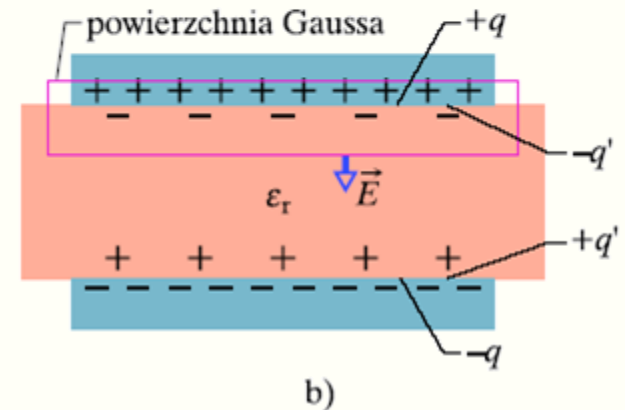
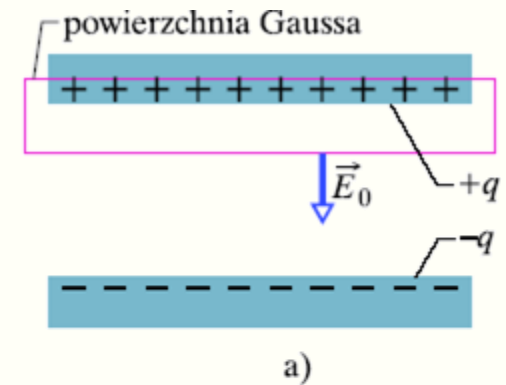
Kondensator płaski z dielektrykiem

Wprowadzenie pomiędzy płyty kondensatora warstwy dielektryka spowoduje wyindukowanie w dielektryku ładunku q' , co spowoduje zmniejszenie natężenia pola istniejącego pomiędzy okładkami kondensatora i wzrost jego pojemności.

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d}$$

Stosunek pojemności kondensatora z dielektrykiem do pojemności bez dielektryka nazywamy stałą dielektryczną ε_r . Dla przykładowych dielektryków jej wartość wynosi:

próżnia	1,00000
powietrze	1,00054
woda	78
kwarc topiony	3,8
papier	3,5
mika rubinowa	5,4
porcelana	6,5



Połączenie równoległe kondensatorów

Napięcie na każdym z kondensatorów jest jednakowe.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$C \cdot U = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U + C_3 \cdot U$$

Pojemność wypadkowa układu:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

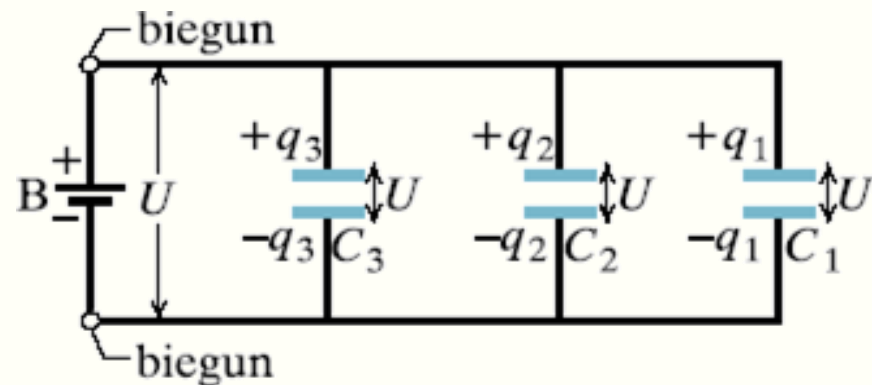
Oznaczenia

C - pojemność wypadkowa układu;

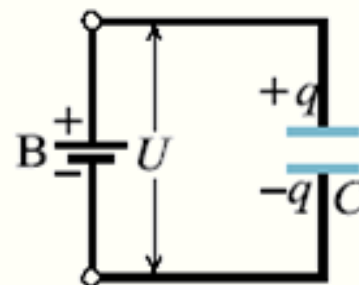
C_1, C_2, C_3 - pojemności poszczególnych kondensatorów;

U - różnica potencjałów (napięcie);

Q_1, Q_2, Q_3 - ładunek zgromadzony na poszczególnych kondensatorach;



a)



b)

Trzy kondensatory podłączone równoległe do źródła napięcia. Równoważny kondensator zastępuje układ połączonych kondensatorów

Połączenie szeregowe kondensatorów

Ładunek na każdym z kondensatorów jest jednakowy.

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

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

Pojemność wypadkowa układu:

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

Oznaczenia

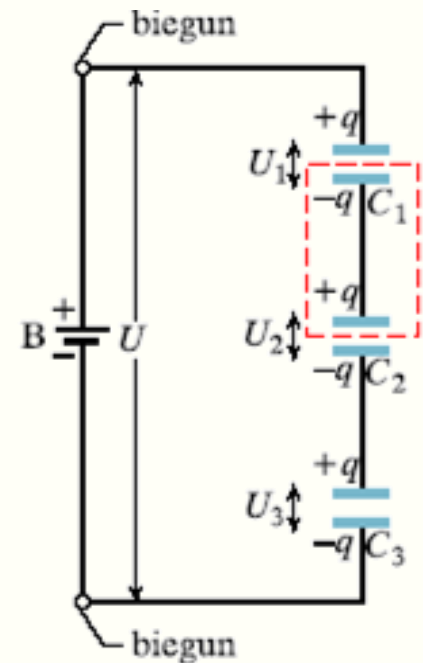
C - pojemność wypadkowa układu;

C_1, C_2, C_3 - pojemności poszczególnych kondensatorów;

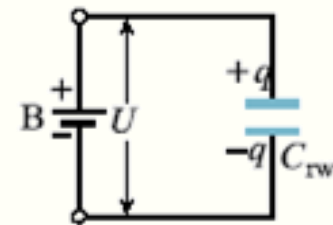
U - różnica potencjałów (napięcie);

U_1, U_2, U_3 - różnice potencjałów na poszczególnych kondensatorach;

Q - ładunek zgromadzony na każdym kondensatorze;



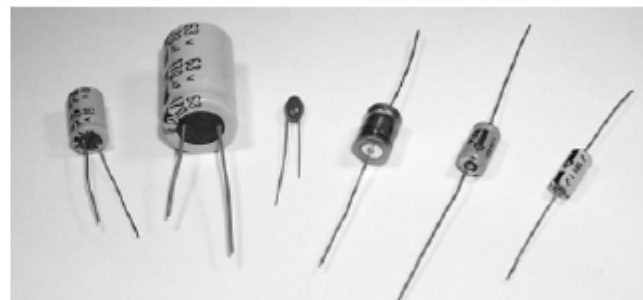
a)



b)

Trzy kondensatory połączone szeregowo do źródła napięcia. Równoważny kondensator zastępuje układ połączonych kondensatorów

właściwości	rodzaj dielektryka				
	ceramika	elektrolit	poliester	mika	polistyren
Zakres pojemności (F)	2,2pF – 100nF	100nF – 10mF	10nF – 2,2μF	47pF – 22nF	10pF – 22nF
Tolerancja (%)	±10 lub ±20	-10 do +50	±10	±1	±5
Zakres napięć	50V – 200V	6,3V – 400V	100V – 400V	350V	100V
Temp. wsp. poj. (ppm/°C)	+100 do -4700	+1000	+100 do +200	+50	+250
Stabilność	przeciętna	słaba	dobra	doskonała	Dobra
Zakres temperatur . (°C)	-85 do +85	-40 do +80	-40 do +100	-40 do +125	-40 do +100
Typowe zastosowania	układy w.cz.	filtracja i sprzęganie	ogólnego przeznaczenia	obwody strojone i oscylatory	ogólnego przeznaczenia



Energia kondensatorów.

Energia zmagazynowana w kondensatorze:

$$E = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{Q^2}{2C}$$

Oznaczenia

C - pojemność kondensatora;

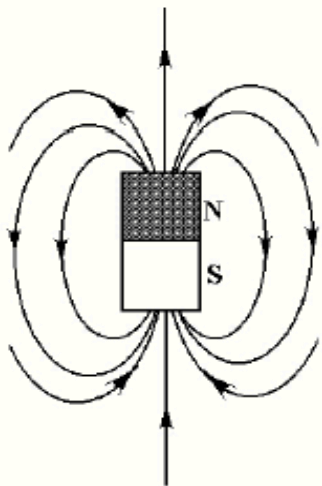
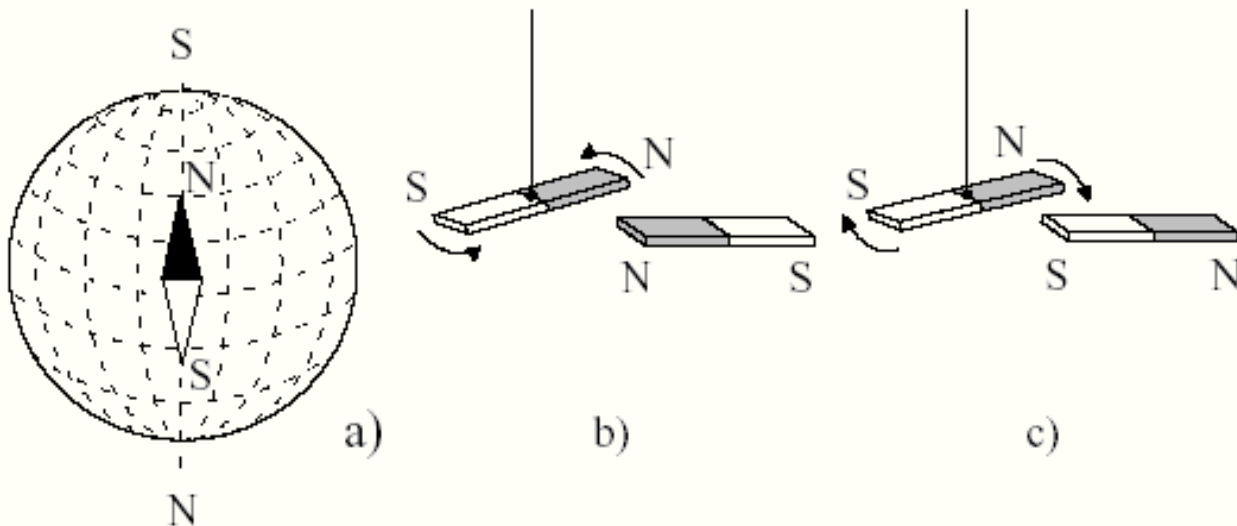
U - różnica potencjałów (napięcie);

Q - ładunek zgromadzony na okładkach kondensatora;

E - energia;

Pole magnetyczne.

Pole magnetyczne jest to taka własność przestrzeni, w której na umieszczone w niej magnesy, przewodniki z prądem i poruszające się ładunki działają siły magnetyczne. Istnieje ono wokół przewodników z prądem, wokół magnesów stałych i wokół poruszającego się ładunku.

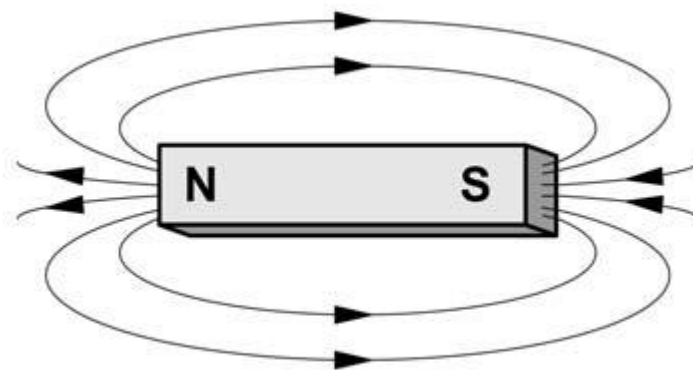
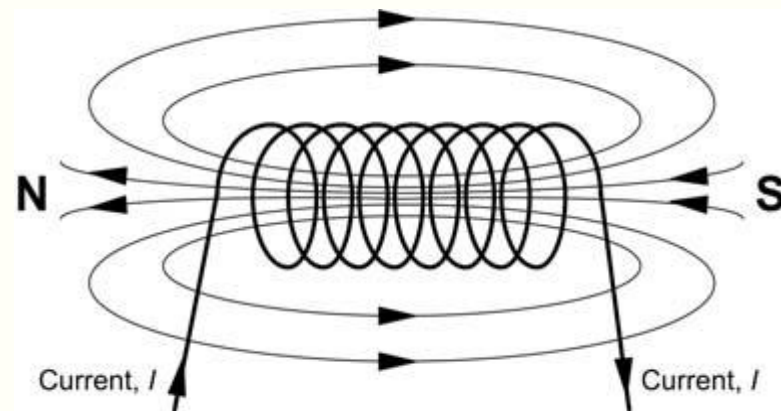
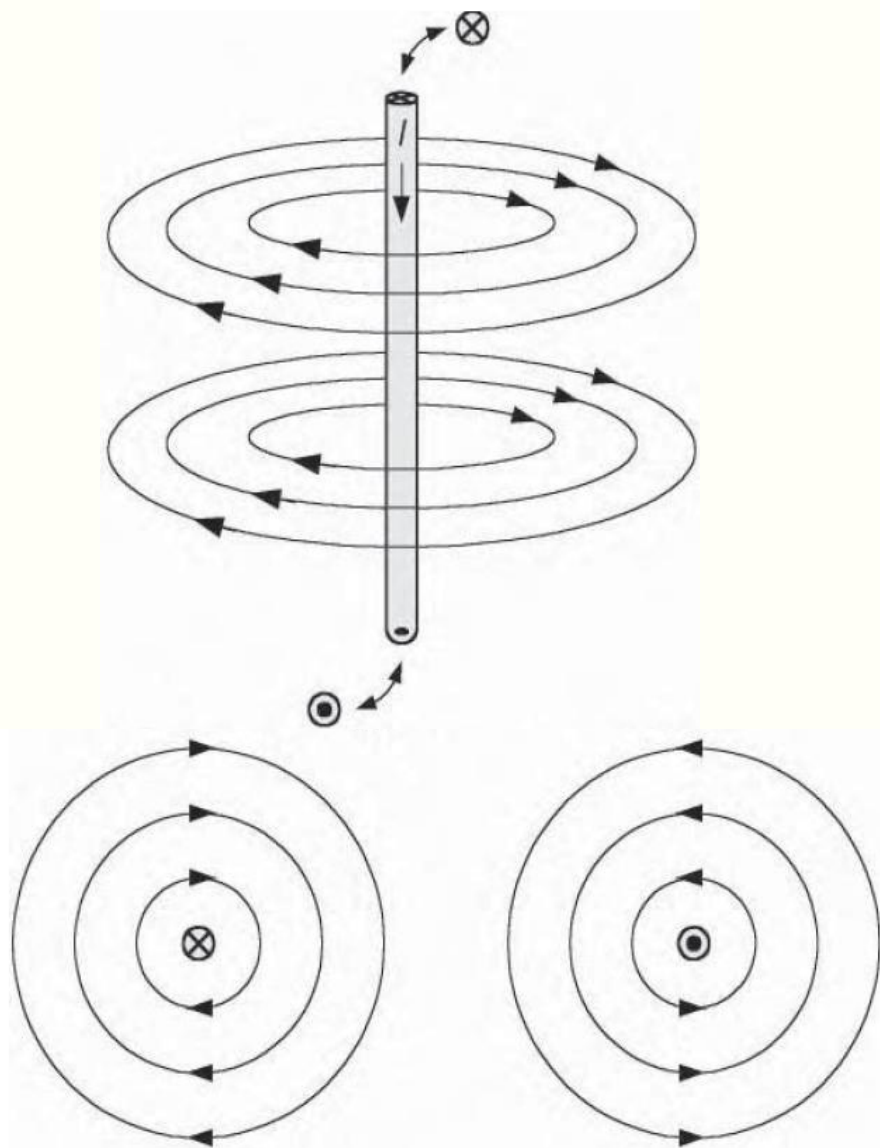


Linie pola magnetycznego są to krzywe, do których styczne w każdym punkcie pokrywają się z kierunkiem indukcji magnetycznej.

Własności linii pola magnetycznego.

- są to krzywe zamknięte biegnące od bieguna N do S
- ich gęstość jest proporcjonalna do wartości indukcji
- można je wystawić w każdym punkcie pola
- nie można rozdzielić pola magnetycznego (bieguny występują zawsze parami)

Pole magnetyczne przewodnika z prądem, selenoidu, magnesu trwałego



Reguła prawej ręki wyznaczania kierunku linii pola magnetycznego

Indukcja pola magnetycznego.

Jest miarą siły pola magnetycznego. Jedną z definicji określa, że indukcja pola magnetycznego jest równa maksymalnej wartości siły elektrodynamicznej przypadającej na jednostkę iloczynu natężenia prądu i długości przewodnika :

$$B = \frac{F_{MAX}}{IL} \quad \left[\frac{N}{Am} = T \right]$$

Oznaczenia

F_{MAX} - maksymalna wartość siły elektrodynamicznej;

B - indukcja pola elektromagnetycznego;

I - natężenie prądu; L - długość przewodnika

Siła elektrodynamiczna.

Jest to siła działająca na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym :

$$\vec{F} = I(\vec{L} \times \vec{B}) = BIL \cdot \sin(\vec{L}, \vec{B})$$

Oznaczenia

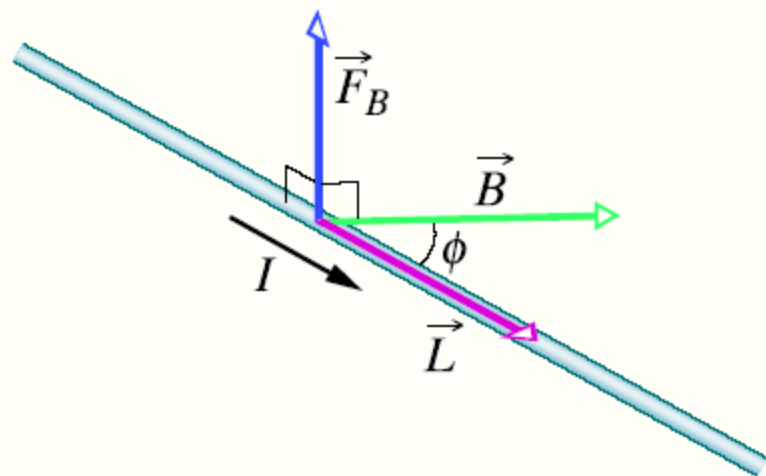
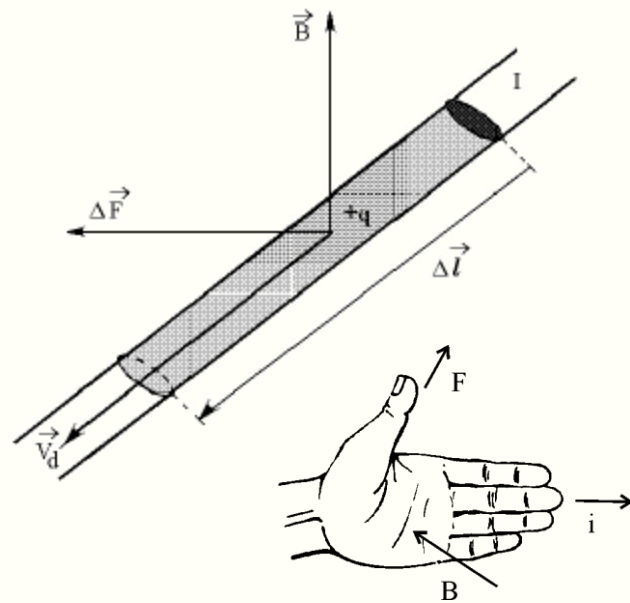
F - siła elektrodynamiczna; I - natężenie prądu;

L - długość przewodnika umieszczonego w polu magnetycznym;

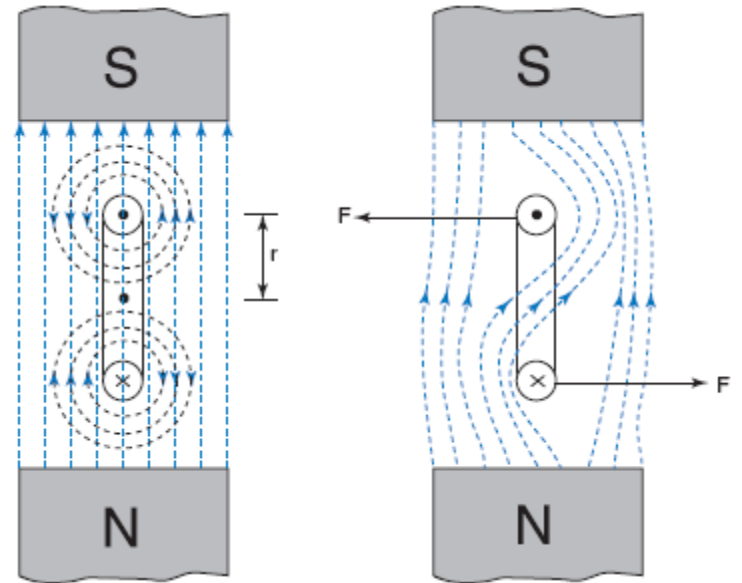
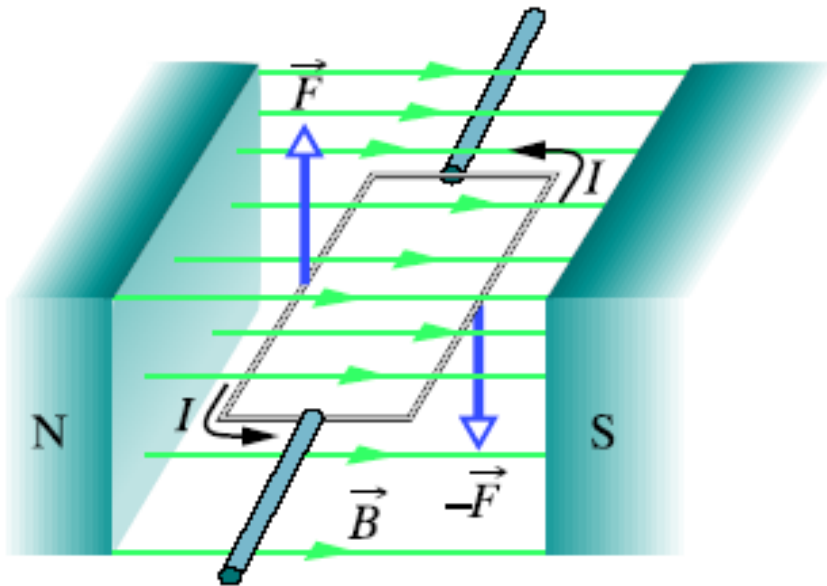
B - indukcja pola elektromagnetycznego

Reguła Fleminga (lewej dłoni).

Jeśli znamy kierunek indukcji i przepływu prądu, to możemy w następujący sposób określić kierunek działającej siły: oznaczmy palce lewej ręki od strony lewej: kciuk, palec drugi, trzeci, czwarty, piąty. Ustawiamy drugi palec w kierunku indukcji, a trzeci w kierunku natężenia prądu. Wyciągnięty pod kątem 90° do palców 2 i 3 kciuk wskaże nam kierunek działającej siły.



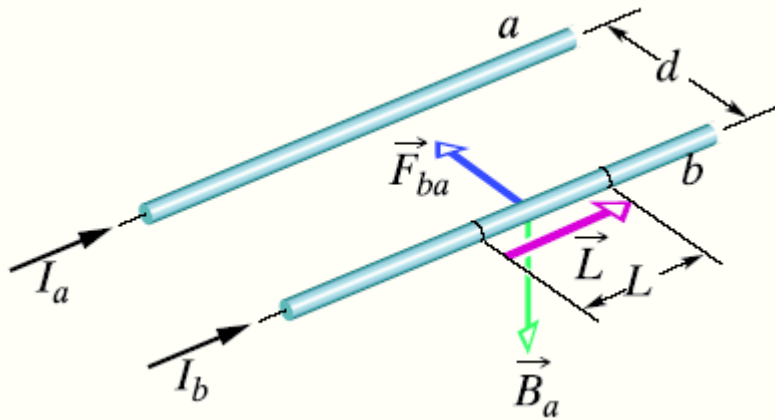
Silnik elektryczny



Części składowe silnika elektrycznego. Prostokątna ramka, w której płynie prąd elektryczny i która może się swobodnie obracać wokół stałej osi, umieszczona jest w polu magnetycznym.

Siły magnetyczne, działające na przewód wytwarzają moment siły, który powoduje obrót ramki. Komutator (nie pokazany na rysunku) odwraca kierunek prądu co pół obrotu, tak aby moment siły działał zawsze w tą samą stronę

Dwa równoległe przewody, w których płyną prądy w tym samym kierunku, wzajemnie się przyciągają. B_a jest wektorem indukcji magnetycznej pola w miejscu, w którym znajduje się przewód b, a wytworzonego przez prąd w przewodzie a. F_{ba} jest siłą, która działa na przewód b, gdyż płynie w nim prąd, a przewód znajduje się w polu o indukcji B_a

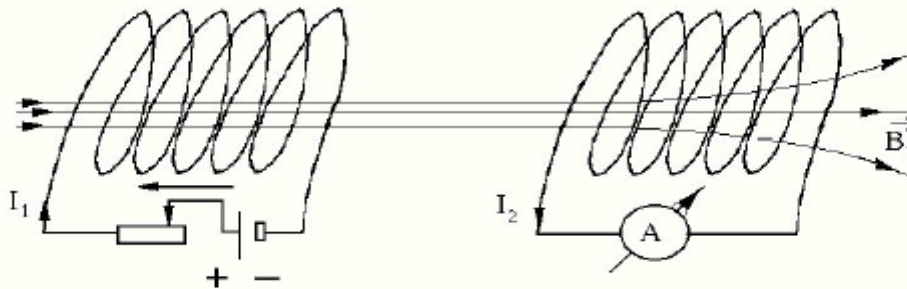
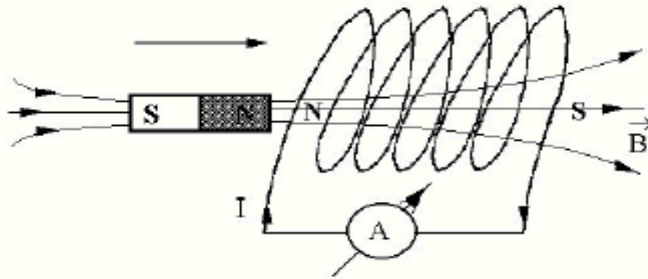


Dwa nieskończenie długie, cienkie, równoległe, umieszczone w próżni przewodniki z prądem elektrycznym oddziałują na siebie siłą:

$$F = \frac{\mu_0 I_a I_b L}{2\pi d}$$

Indukcja elektromagnetyczna.

Jest przyczyną pojawienia się prądu w obwodzie bez źródła prądu, gdy nastąpi zmiana strumienia pola elektromagnetycznego.



$$E = - \frac{d\phi}{dt}$$

$$E = -M \frac{dI}{dt}$$

Prawo Faraday'a dla przewodnika.

Siła elektromotoryczna indukcji jest równa zmianie strumienia pola magnetycznego w czasie wziętej ze znakiem minus. Prawo Faraday'a jest zasadą zachowania energii.

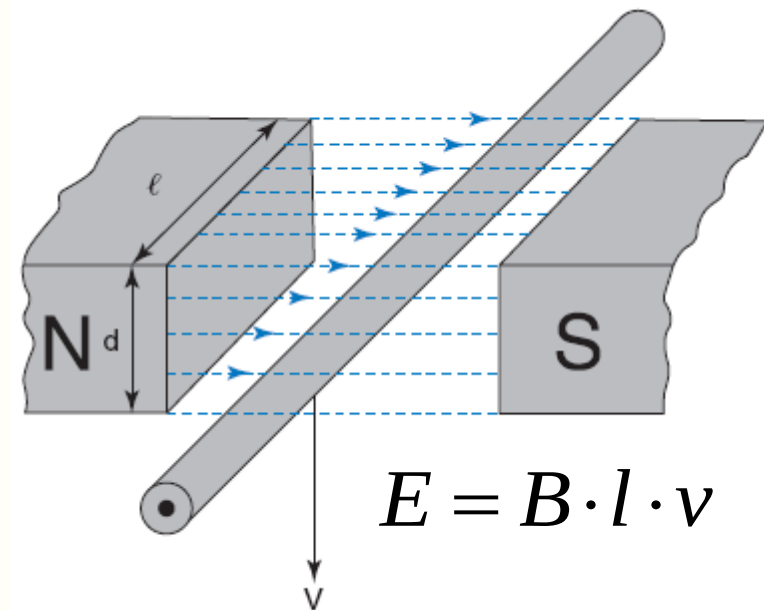
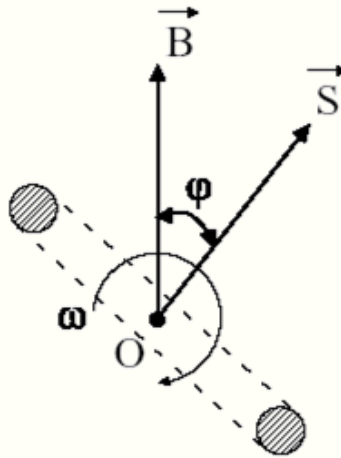
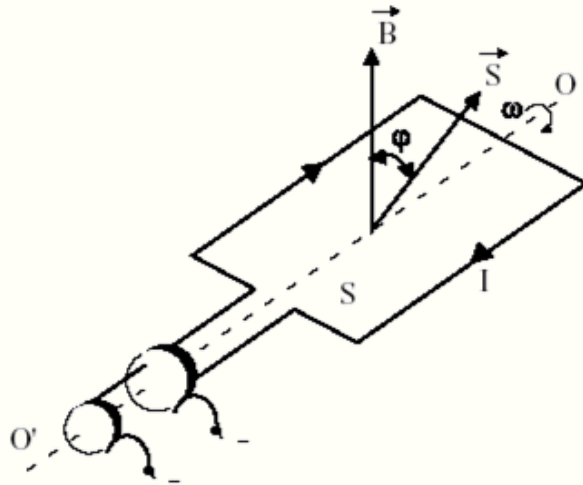
Oznaczenia

E - siła elektromotoryczna indukcji; ϕ - strumień pola magnetycznego; t - czas

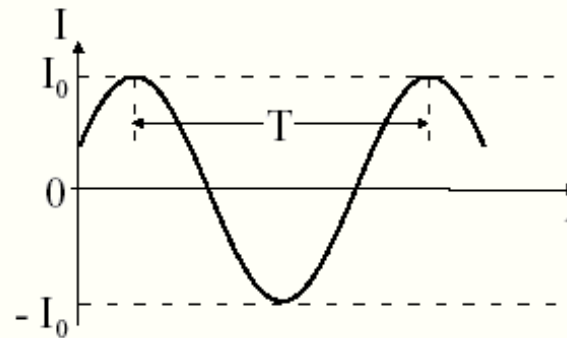
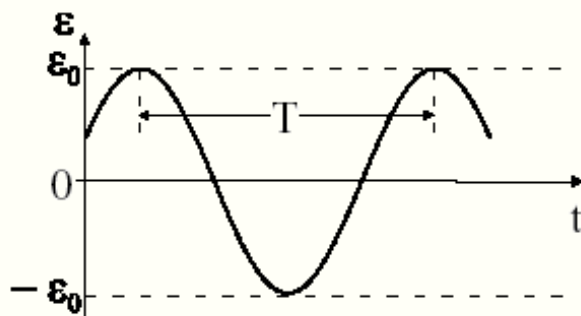
Reguła Lenza.

Prąd indukcyjny ma taki kierunek, że wytworzony przez ten prąd strumień pola magnetycznego sprzeciwia się zmianom strumienia, dzięki któremu powstał.

Generator prądu zmiennego.



Najprostszym generatorem prądu zmiennego jest ramka obracająca się w stałym polu magnetycznym. Obrót powoduje zmianę strumienia pola magnetycznego.



Siła elektromotoryczna ramki z prądem:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega \cdot t) \quad \varepsilon_0 = BS\omega$$

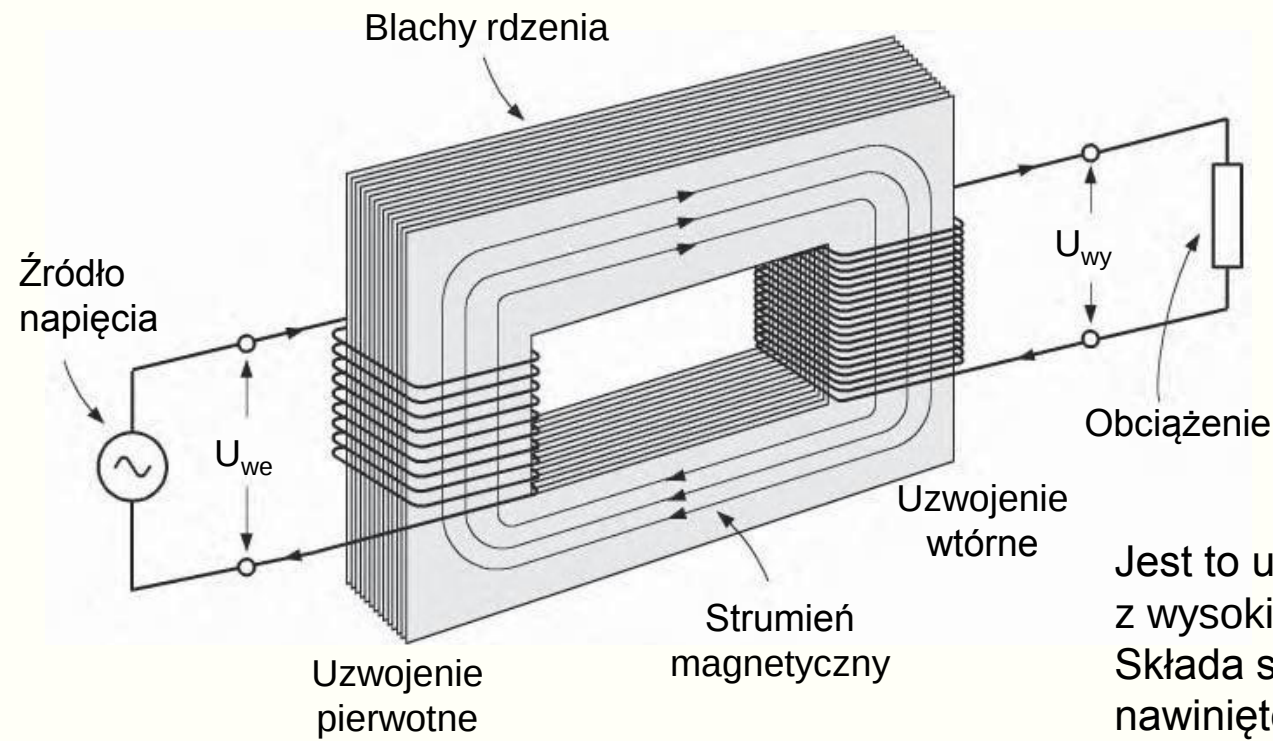
Zjawisko samoindukcji.

Podczas otwierania i zamykania obwodu z prądem mamy do czynienia ze zmianą strumienia pola magnetycznego i - zgodnie z prawem indukcji Faraday'a - w obwodzie pojawi się siła elektromotoryczna samoindukcji. W obwodzie popłynie krótkotrwały prąd indukcyjny :

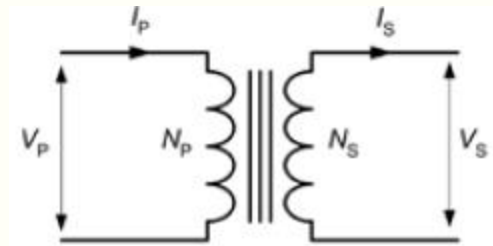
$$\varepsilon_{SI} = -L \frac{di}{dt} \qquad L = - \frac{\mu_0 n^2 s}{l} \qquad \left[\frac{VA}{S} = H(henr) \right]$$

Oznaczenia

ε_{SI} - siła elektromotoryczna samoindukcji; i - natężenie prądu elektrycznego przy zwarcu; t - czas; L – indukcja cewki; μ_0 - przenikalność magnetyczna próżni; n - ilość zwojów; s - pole powierzchni; l - długość cewki



Transformator.



Jest to urządzenie zamieniające napięcie z wysokiego na niskie (lub odwrotnie). Składa się z rdzenia, na który są nawinięte uzwojenia: pierwotne (ze źródłem prądu) i wtórne (z odbiornikiem). Działa na zasadzie indukcji wzajemnej.

Moc dostarczana do obciążenia

$$P = U_0 \cdot I$$

Moc tracona na przewodach łączących

$$P_{\text{str}} = I^2 \cdot R_p$$

Przekładnia transformatora:

$$k = \frac{U_P}{U_W} = \frac{n_P}{n_W} \quad \frac{I_P}{I_W} = \frac{n_W}{n_P}$$

Sprawność transformatora :

$$\eta = \frac{P_W}{P_P} \cdot 100\%$$

Oznaczenia

$U_{P(W)}$ - napięcie skuteczne w uzwojeniu pierwotnym (wtórnym);

$I_{P(W)}$ - natężenie skuteczne prądu elektrycznego w uzwojeniu pierwotnym (wtórnym);

k - przekładnia transformatora; $n_{P(W)}$ - ilość zwoi w uzwojeniu pierwotnym (wtórnym);

η - sprawność transformatora; $P_{P(W)}$ - moc w uzwojeniu pierwotnym (wtórnym);

Jednostki wielokrotne i podwielokrotne

Poniższa tabela przedstawia przedrostki i ich oznaczenia do wyrażania dziesiętnych wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar.

Przedrostek	Oznaczenie	Wartość	Liczba
eksa	E	$10^{18} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000$	trylion
peta	P	$10^{15} = 1\,000\,000\,000\,000\,000$	biliard
tera	T	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$	bilion
giga	G	$10^9 = 1\,000\,000\,000$	miliard
mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$	milion
kilo	K	$10^3 = 1\,000$	tysiąc
hekto	h	$10^2 = 100$	sto
deka	da	$10^1 = 10$	dziesięć
jednostka		$10^0 = 1$	jeden
decy	d	$10^{-1} = 0,1$	dziesiąta
centy	c	$10^{-2} = 0,01$	setna
mili	m	$10^{-3} = 0,001$	tysięczna
mikro	μ	$10^{-6} = 0,000\,001$	milionowa
nano	n	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$	miliardowa
piko	p	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$	bilionowa
femto	f	$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$	biliardowa
atto	a	$10^{-18} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,001$	trylionowa