

Wykład 1: sobota, 13 czerwca 2020

Sławomir Pawłowski

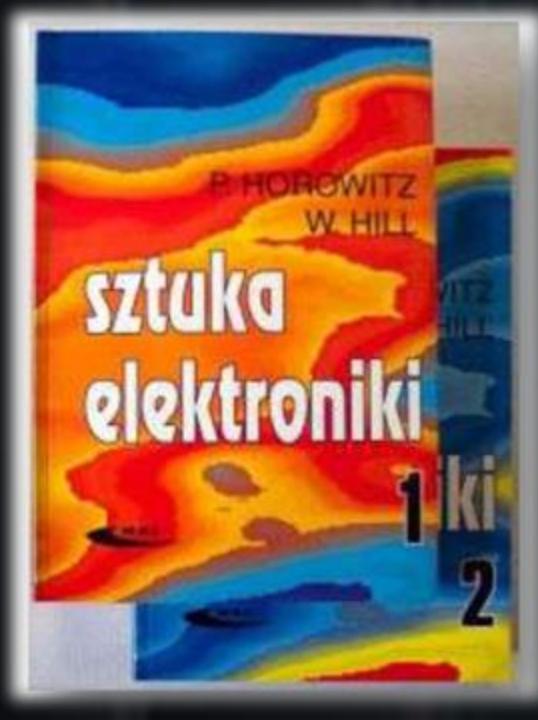
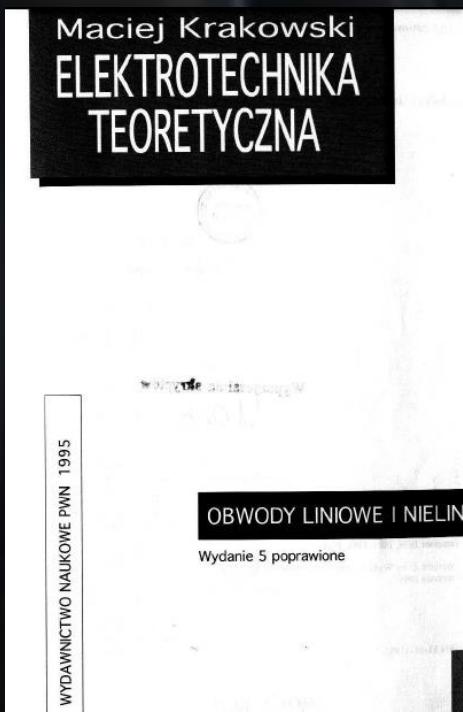
Podstawowe pojęcia i wielkości elektryczne.<sup>1</sup>

# Zakres materiału zagadnienia obowiązkowe na egzaminie.

1. Podstawowe pojęcia z nauki o elektryczności.
2. Obwody elektryczne.
3. Metody obliczania obwodów elektrycznych prądu stałego.
4. Pomiary wielkości elektrycznych
  - a. mierniki analogowe i cyfrowe.
  - b. oscyloskop jako podstawowy przyrząd pomiarowy w elektrotechnice.
5. Ogólne wiadomości o prądach zmiennych.
6. Nierozgałęziony obwód prądu sinusoidalnego.
7. Równoległy obwód prądu sinusoidalnego.
8. Moc prądu przemiennego.
9. Rezonans w obwodach elektrycznych.
10. Prądy trójfazowe.
  - Silnik asynchroniczny.
11. Silniki prądu stałego.
12. Silniki krokowe
13. Tranzystory bipolarne i unipolarne we wzmacniaczach małosygnalowych i wzmacniaczach prądu stałego.
14. Wzmacniacze operacyjne.
15. Układy zasilające.

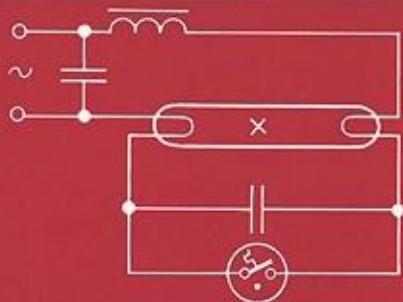
# Literatura

1. M. Krakowski „Elektrotechnika teoretyczna”, PWN 1995.
2. Paul Horowitz „Sztuka Elektroniki”.
3. Cezary Łycyk „Elektrotechika podstawowa”
4. Rydzewski „Pomiary oscyloskopowe”, WNT 1994.
5. U. Tietze „Układy półprzewodnikowe”, WNT 1996.



# m

PODRĘCZNIKI AKADEMICKIE • MECHANIKA



# elektrotechnika i elektronika dla nieelektryków



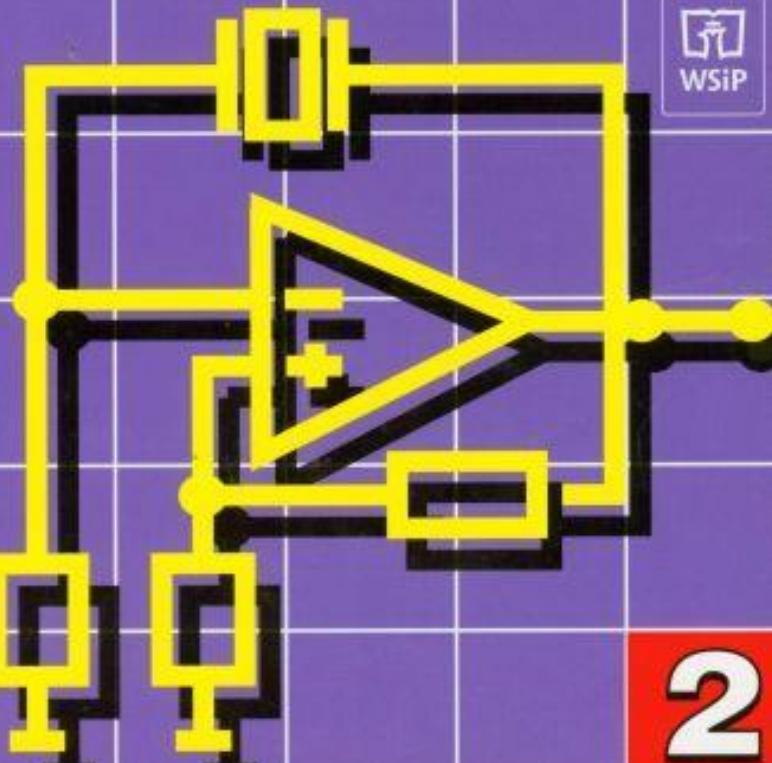
Wydawnictwa Naukowo-Techniczne

BARBARA PIÓRO  
MAREK PIÓRO

# PODSTAWY ELEKTRONIKI



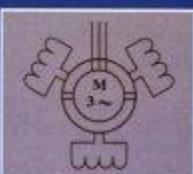
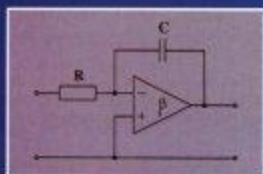
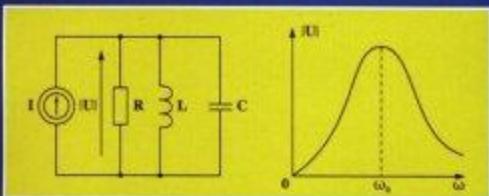
2



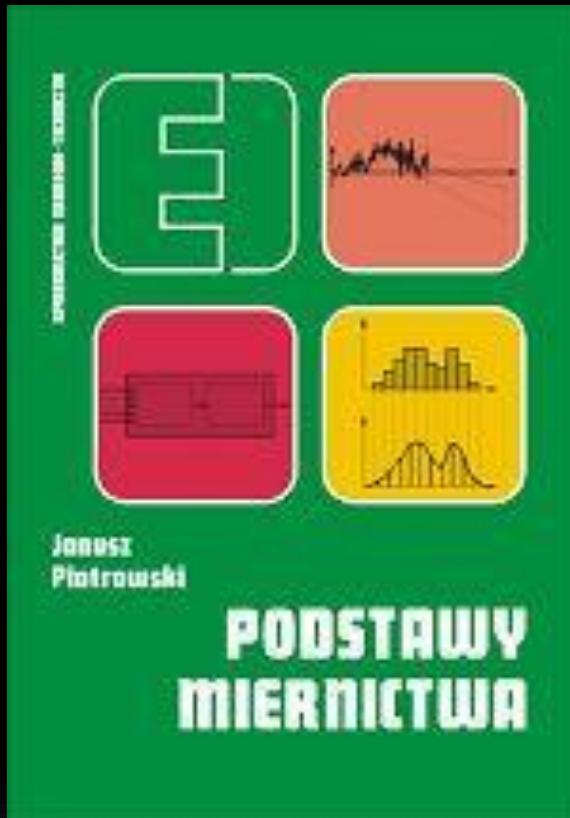
# ELEKTROTECHNIKA OGÓLNA

1

Marian PASKO Zygmunt PIĄTEK  
Lesław TOPÓR-KAMIŃSKI

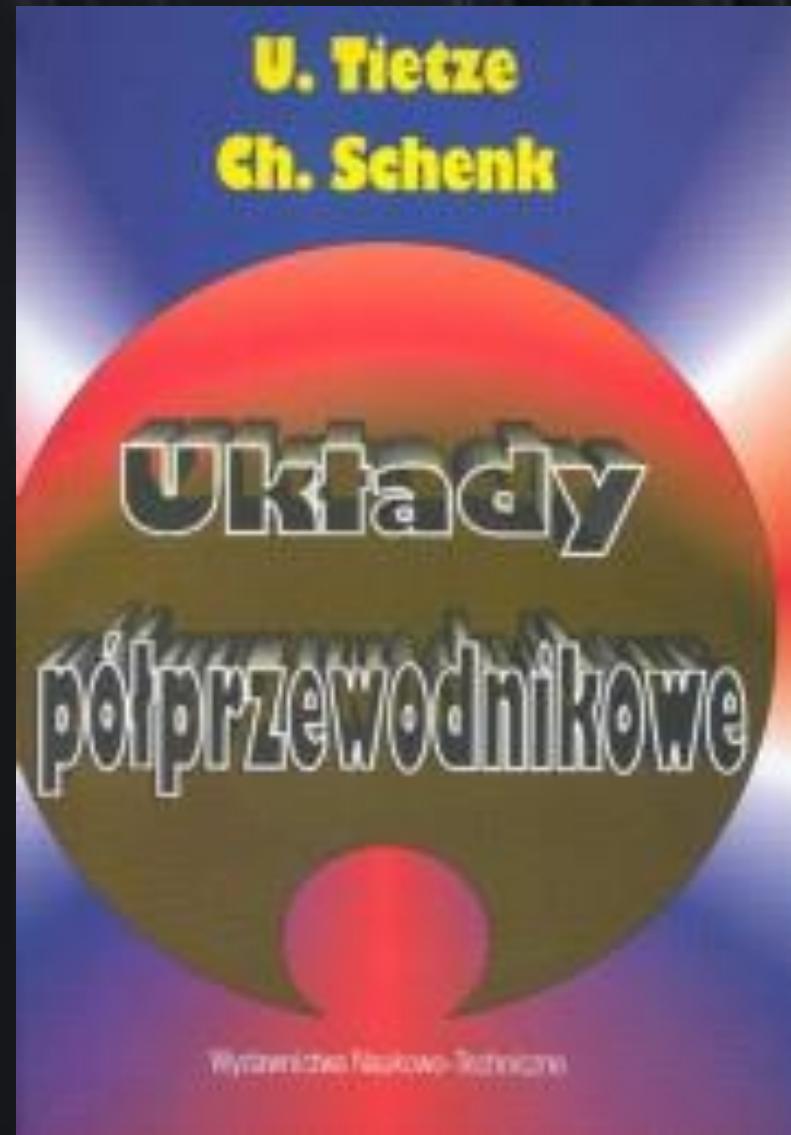
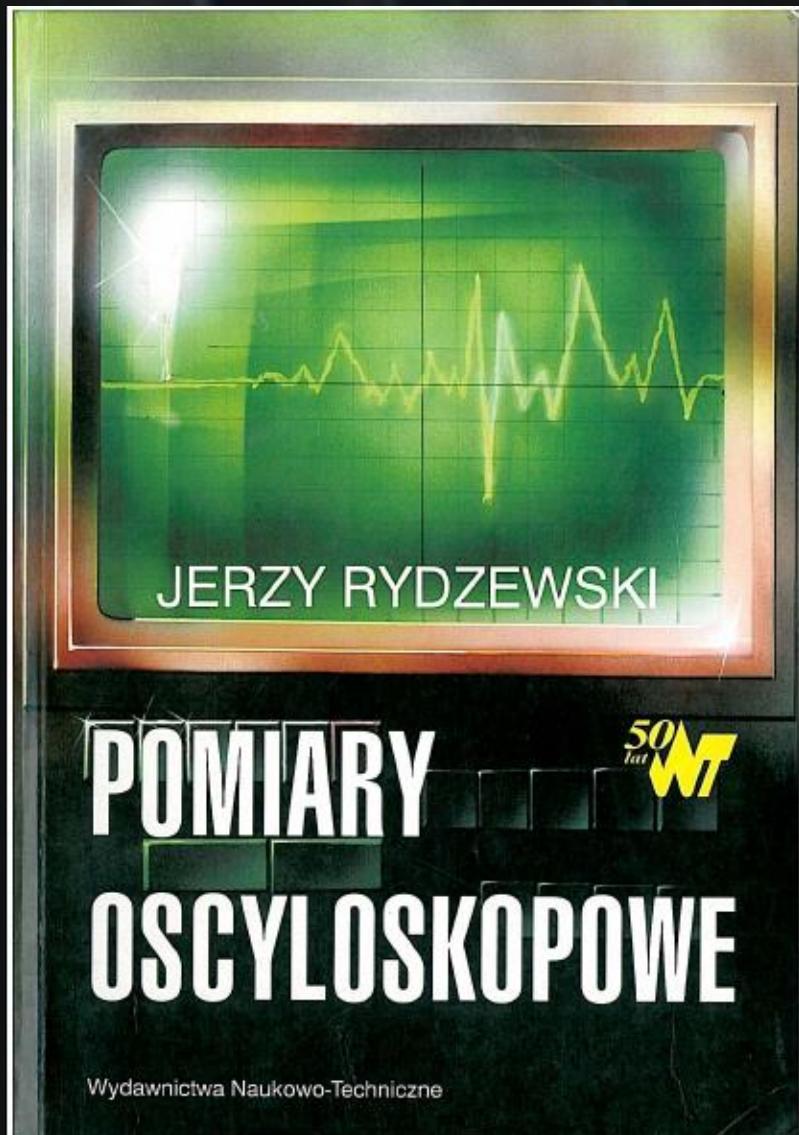


Gliwice 2004



Józef  
Piąkowski

PODSTAWY  
MIERNICTWA



# Warunki zaliczenia

1. Obecność na wykładach i laboratorium.
2. Pozytywna ocena z laboratorium.
3. Zaliczenie wykładu
  - odpowiedź ustna na trzy losowe pytania.

# Regulamin pracowni.

## REGULAMIN PRACOWNI ELEKTRONICZNEJ

1. Studenci wykonują ćwiczenia w pracowni elektronicznej (PE) w grupach składających się z zespołów dwuosobowych lub w szczególnych przypadkach trzyosobowych pod kierunkiem pracownika Instytutu Fizyki, zwanego dalej prowadzącym kurs. Czas przeznaczony na wykonanie ćwiczenia to 3 godziny lekcyjne (135 min dla ćwiczeń z podstaw elektroniki i 90 min dla ćwiczeń z elektroniki cyfrowej). Student wykonuje ćwiczenia zgodnie z harmonogramem ustalonym przez prowadzącego.
2. Funkcję kierownika wszystkich grup laboratoryjnych pełni jeden z prowadzących kurs wybrany przez wykładowcę prowadzącego na danym kierunku wykład z wstępem do elektroniki współczesnej lub elektroniki cyfrowej.
3. Na początku zajęć prowadzący może sprawdzić stopień przygotowania teoretycznego studenta do wykonywania ćwiczenia. Przygotowanie do ćwiczenia obejmuje znajomość:
  - a. podstawowych praw i zjawisk fizycznych związanych z wykonywanym ćwiczeniem
  - b. zasad pomiarów i działania układu pomiarowego,

Prowadzący kurs może wystawić studentowi ocenę cząstkową określającą stopień przygotowania teoretycznego.

# Regulamin pracowni.

4. W przypadku niedostatecznego przygotowania teoretycznego prowadzący może nie dopuścić studenta do samodzielnego wykonywania pomiarów. Przypadek taki jest równoznaczny z nieobecnością nieusprawiedliwioną.
5. Student który nie został dopuszczony do wykonywania ćwiczenia ma prawo uczestniczyć w wykonywaniu ćwiczenia, jednak bez możliwości oddania raportu i sprawozdania. Takie ćwiczenie musi być powtórzone w czasie wyznaczonym przez prowadzącego w ramach limitu nieobecności nieusprawiedliwionych.
6. Student nie może przystąpić do wykonywania ćwiczenia bez zgody prowadzącego zajęcia. W szczególności nie może włączać aparatury pomiarowej przed sprawdzeniem prawidłowości połączeń przez prowadzącego zajęcia. W razie stwierdzenia w czasie wykonywania pomiarów wadliwej pracy aparatury pomiarowej lub jej uszkodzenia, student powinien natychmiast powiadomić prowadzącego zajęcia. Student ponosi pełną odpowiedzialność materialną za szkody wynikające z jego winy.
7. W czasie zajęć w laboratorium student sporządza protokół pomiarów, który po zakończeniu pomiarów przedstawia prowadzącemu do zatwierdzenia. Zatwierdzenie protokołu oznacza zaliczenie części pomiarowej danego ćwiczenia. Dalszemu opracowaniu podlegają wyłącznie wyniki z zatwierdzonego protokołu.
8. Po skończonych ćwiczeniach student zobowiązany jest:
  - a. wyłączyć zasilanie przyrządów,
  - b. zwrócić pobrany sprzęt pomiarowy i materiały prowadzącemu zajęcia,
  - c. uporządkować swoje stanowisko pomiarowe.

# Regulamin pracowni.

9. Każde ćwiczenie podlega odrębnemu zaliczeniu.
10. Student przedstawia sprawozdanie z ćwiczenia w formie raportu zawierającego między innymi :
  - a. krótki wstęp teoretyczny,
  - b. wyniki otrzymane w czasie pomiarów (w miarę możliwości w postaci tabel) oraz tam gdzie jest to wskazane w postaci odpowiednich wykresów,
  - c. wynik końcowy,
  - d. przykładowe obliczenia wyznaczonej wielkości,
  - e. wnioski końcowe.

Szczegółowe zasady wykonywania sprawozdania określa prowadzący kurs.

# Regulamin pracowni.

11. Sprawozdanie, wraz z zatwierdzonym protokołem pomiarów, student ma obowiązek przedstawić prowadzącemu do oceny na drugich z kolejnych zajęciach. Warunkiem koniecznym zaliczenia ćwiczenia jest oddanie poprawnie wykonanego sprawozdania. Ostateczny termin oddania poprawnie wykonanego sprawozdania wyznacza prowadzący. Termin ten nie może być krótszy niż dwa tygodnie licząc od dnia wykonywania pomiarów.
12. W przypadku gdy student nie odda poprawnie wykonanego sprawozdania w terminie ustalonym przez prowadzącego kurs prowadzący może anulować całe ćwiczenie. Anulowane ćwiczenie musi być wykonane ponownie. Powtarzanie to jest wliczane do limitu nieobecności nieusprawiedliwionych.
13. Prowadzący kurs wystawia studentowi ocenę końcową z danego ćwiczenia uwzględniającą stopień przygotowania teoretycznego, sprawność wykonania pomiarów oraz poprawność wykonania sprawozdania.
14. Student nie zgadzający się z wystawioną przez prowadzącego oceną ma prawo odwołać się w kolejności do: kierownika grupy laboratoryjnej oraz wykładowcy. Ocena wystawiona przez wykładowcę jest oceną ostateczną.
15. Warunkiem zaliczenia kursu jest zaliczenie wszystkich z wyjątkiem jednego ćwiczeń przewidzianych harmonogramem zajęć.
16. Obecność na zajęciach jest obowiązkowa.
17. W ciągu całego semestru student ma prawo do odrabiania:  
2 ćwiczeń w przypadku kursu 30 godzinnego przy 12 wykonywanych ćwiczeniach,  
2 ćwiczeń w przypadku kursu 45 godzinnego przy 12 wykonywanych ćwiczeniach,

# Pojęcia podstawowe

$$\vec{E} = -\nabla \phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad \text{and} \quad \vec{B} = \nabla \times \vec{A}$$

$$[A_i(\vec{x}), E_j(\vec{y})] = i \int \frac{d^3 p}{(2\pi)^3} \left( \delta_{ij} - \frac{p_i p_j}{|\vec{p}|^2} \right) i p_i e^{i \vec{p} \cdot (\vec{x} - \vec{y})} = 0$$

$$F_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & E_x & E_y & E_z \\ -E_x & 0 & -B_z & B_y \\ -E_y & B_z & 0 & -B_z \\ -E_z & -B_y & B_z & 0 \end{pmatrix}$$

$$A_\mu^+(x) = \int \frac{d^3 p}{(2\pi)^3} \frac{1}{\sqrt{2|\vec{p}|}} \sum_{\lambda=0}^3 \epsilon_\mu^\lambda a_p^\lambda e^{-ip_\mu x}$$

$$A_\mu^-(x) = \int \frac{d^3 p}{(2\pi)^3} \frac{1}{\sqrt{2|\vec{p}|}} \sum_{\lambda=0}^3 \epsilon_\mu^\lambda a_p^\lambda e^{+ip_\mu x}$$

$$\alpha^\mu D_{\mu\nu} \beta^\nu = i \left( \frac{\vec{\alpha} \cdot \vec{\beta}}{k^2} - \frac{(\vec{\alpha} \cdot \vec{k})(\vec{\beta} \cdot \vec{k})}{k^2 |\vec{k}|^2} + \frac{\alpha^0 \beta^0}{|\vec{k}|^2} \right)$$

$$= i \left( \frac{\vec{\alpha} \cdot \vec{\beta}}{k^2} - \frac{k_0^2 \alpha_0 \beta_0}{k^2 |\vec{k}|^2} + \frac{\alpha_0 \beta_0}{|\vec{k}|^2} \right)$$

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\nabla \times \vec{E} \quad \left( \frac{\vec{\alpha} \cdot \vec{\beta}}{k^2} - \frac{1}{k^2 |\vec{k}|^2} (k_0^2 - k^2) \alpha_0 \beta_0 \right)$$

$$\alpha \cdot \beta = \alpha^\mu \left( -\frac{i \eta_{\mu\nu}}{k^2} \right) \beta^\nu$$

# Czym zajmuje się elektrotechnika



**Elektrotechnika** (inżynieria elektryczna) - dziedzina techniki i nauki, która zajmuje się zagadnieniami związanymi z wytwarzaniem, przetwarzaniem (przekształcaniem), przesyłaniem, rozdziałem, magazynowaniem i użytkowaniem energii elektrycznej.

# Czym zajmuje się elektronika



Elektronika – dziedzina techniki i nauki zajmująca się wytwarzaniem i przetwarzaniem sygnałów w postaci prądów i napięć elektrycznych, lub pól elektromagnetycznych.

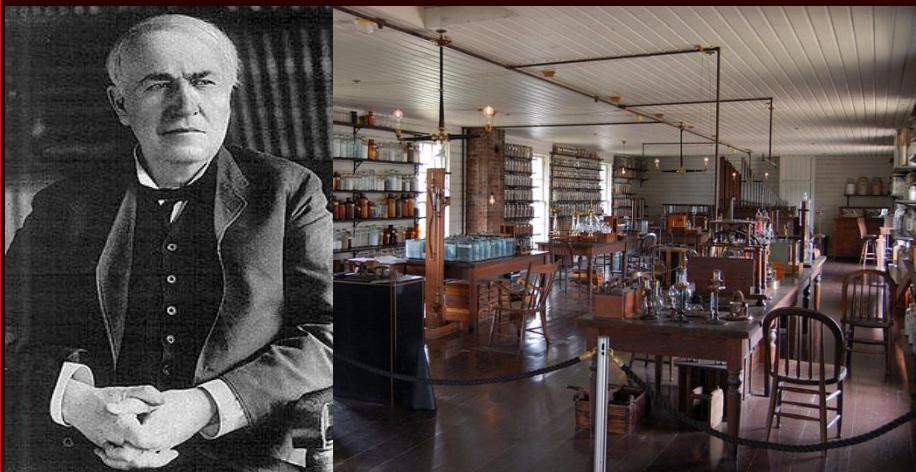
# Trochę historii

- Już Starożytni Grecy poznali pierwsze zjawiska elektrostatyki. Zauważyli, że pocierając bursztyn (gr. elektron – ἐλέκτρον) kawałkiem futra, nadają temu kamieniowi zdolność przyciągania drobnych i lekkich przedmiotów, takich jak pyłki czy włosy.
- Termin elektryczność, pochodzi od greckiego słowa elektron, tj. bursztyn wprowadzony w 1600 r. przez Williama Gilberta.
- W 1663 r. Otto von Guericke zbudował pierwszą *maszynę elektrostatyczną*.
- W 1727 r. Stephen Gray odkrył zjawisko *indukcji elektrostatycznej*.
- W 1745 r. Pieter van Muschenbroek wynalazł pierwszy *kondensator* (tzw. butelkę lejdejską ).
- W 1758 r. Charles Coulomb ogłosił prawo dotyczące *oddziaływania ładunków punktowych*.
- W 1800 r. Alessandro Volta, zainspirowany wynikami doświadczeń Luigiego Galwaniego (1789 r.), zbudował pierwszą baterię elektryczną.
- W 1819 r. Hans Christian Oersted wykonał eksperyment świadczący o wzajemnym *oddziaływaniu elektryczności i magnetyzmu*.
- W 1820 r. Andre Maria Amper opisał zjawisko elektrodynamicznego oddziaływania przewodników.
- W 1826 r. Georg Ohm ustalił zależność miedzy opornością, napięciem i natężeniem prądu.
- W 1831 r. Michael Faraday odkrył zjawisko i sformułował zasadę *indukcji elektromagnetycznej*,

# Ojcowie elektrotechniki

**Thomas Alva Edison** (ur. 11 lutego 1847, zm. 18 października 1931)

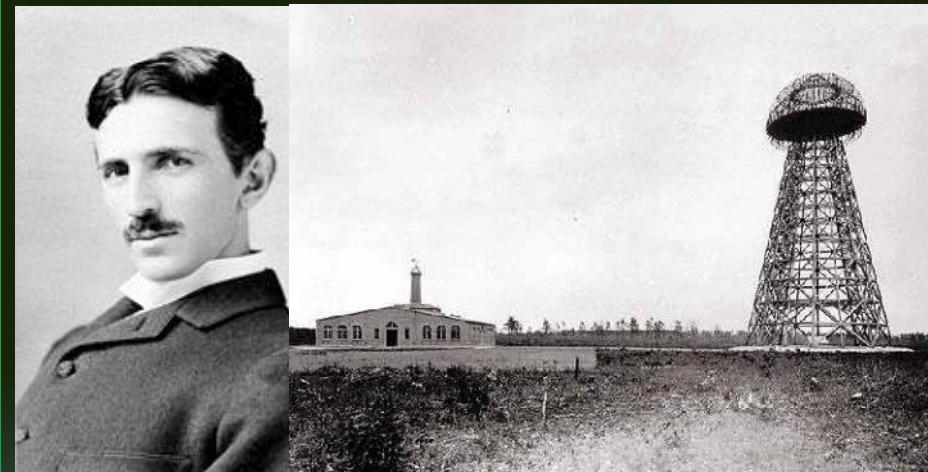
Dorobek założonych i administrowanych przez niego laboratoriów to ponad 1000 patentów



Fonograf, silnik prądu stałego, prądnica prądu stałego, oscyloskop, płyta gramofonowa, perforowana taśma filmowa, kamera filmowa z jednoczesną rejestracją dźwięku na taśmie filmowej, projektor filmowy do filmów dźwiękowych, betoniarka, lodówka, suche baterie alkaliczne, dyktafon, pióro elektryczne, pierwsza na świecie guma syntetyczna tzw. buna, krzesło elektryczne, wyrzynarka do wewnętrznego wyrzynania, żarówka.

**Nikola Tesla** (ur. 10 lipca 1856 w Silwanie, zm. 7 stycznia 1943 w Nowym Jorku).

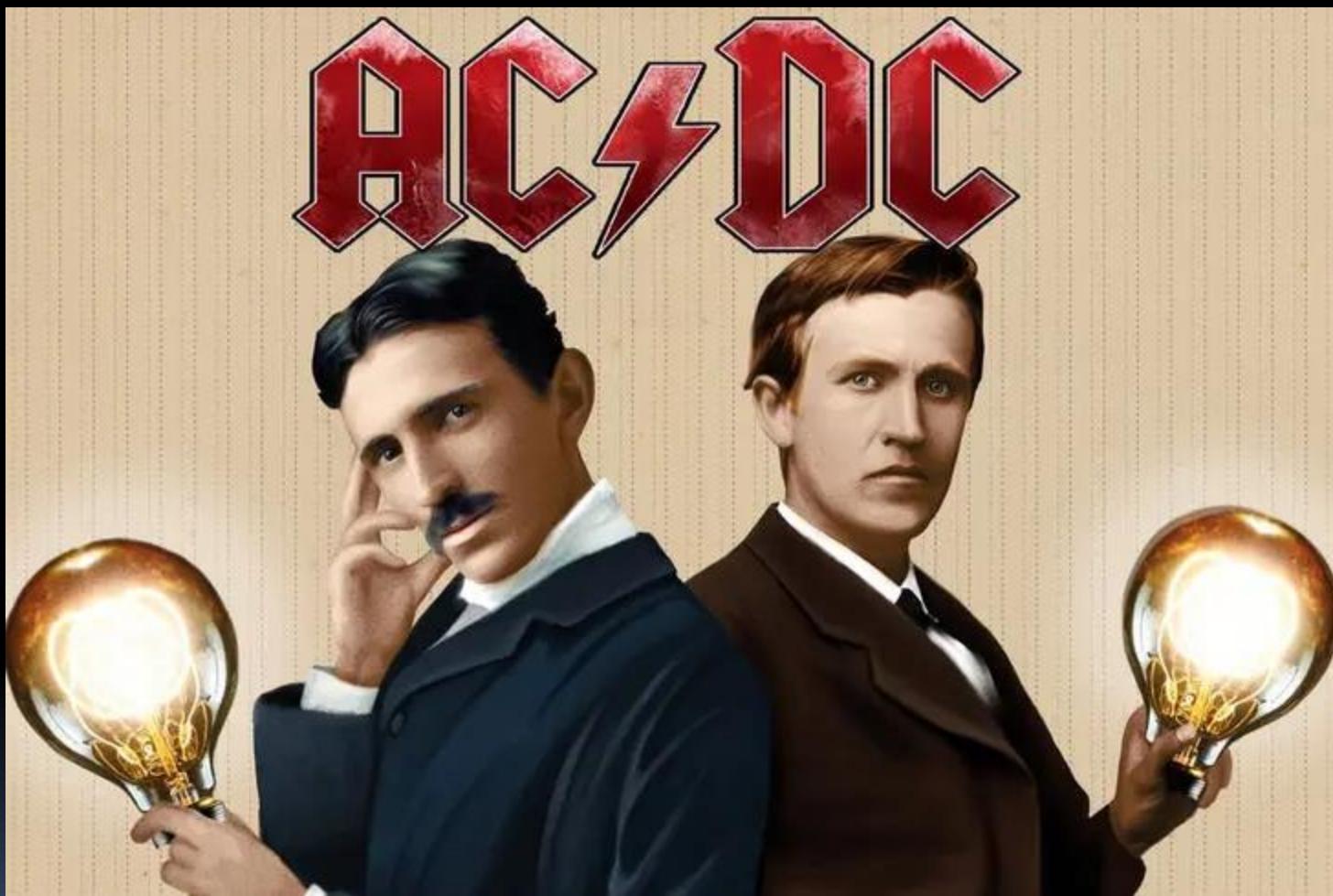
Jest autorem blisko 300 patentów, które chroniły jego 125 wynalazków w kilkudziesięciu krajach



Silnik prądu przemiennego, prądnica prądu przemiennego, radio, świetłówka, turbina wodna, pilot radiowy, robot mobilny.

*Tesla zbudował wieżę, która miała ok. 57 m. wysokości i była wkopana w głęb ziemi na kolejne 37 m. – po to, aby przeprowadzać eksperymenty z wysyłaniem energii elektrycznej bez użycia przewodów i kabli. Koszt jej zbudowania sięgnął prawie 200 tys. dolarów.*

Pojedynek dwóch gigantów elektryczności!

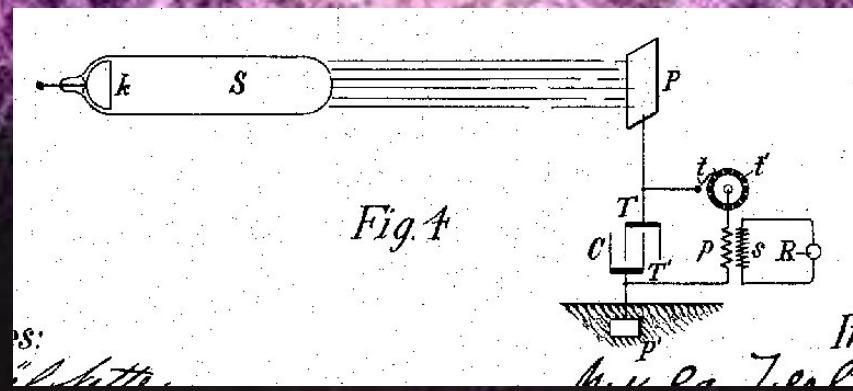


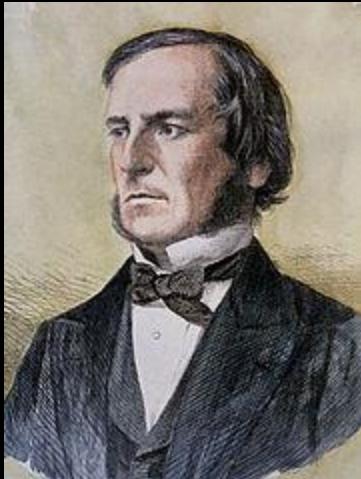
# Koncepcja wolnej energii

Tesla twierdził:

*(...)ujarzmiłem promienie kosmiczne i sprawiłem, by służyły jako napęd (...). Ciężko pracowałem nad tym przez ponad 25 lat, a dziś mogę stwierdzić, że się udało.* (cytat z 10 lipca 1931 r. z Brooklyn Eagle).

W 1901 r. opatentował odbiornik wolnej energii nazwany *Aparatem do Wykorzystywania Energii Promienistej*. Patent odnosi się do Słońca jak i innych źródeł energii promienistej, jak promienie kosmiczne.





# George Boole

ur. 2 listopada 1815 r. Lincoln, Anglia, zm. 8 grudnia 1864 r. w Ballintemple, hrabstwo Cork, Irlandia) – angielski matematyk, filozof

Badanie praw myślenia, na których oparte są matematyczne teorie logiki i prawdopodobieństwa.

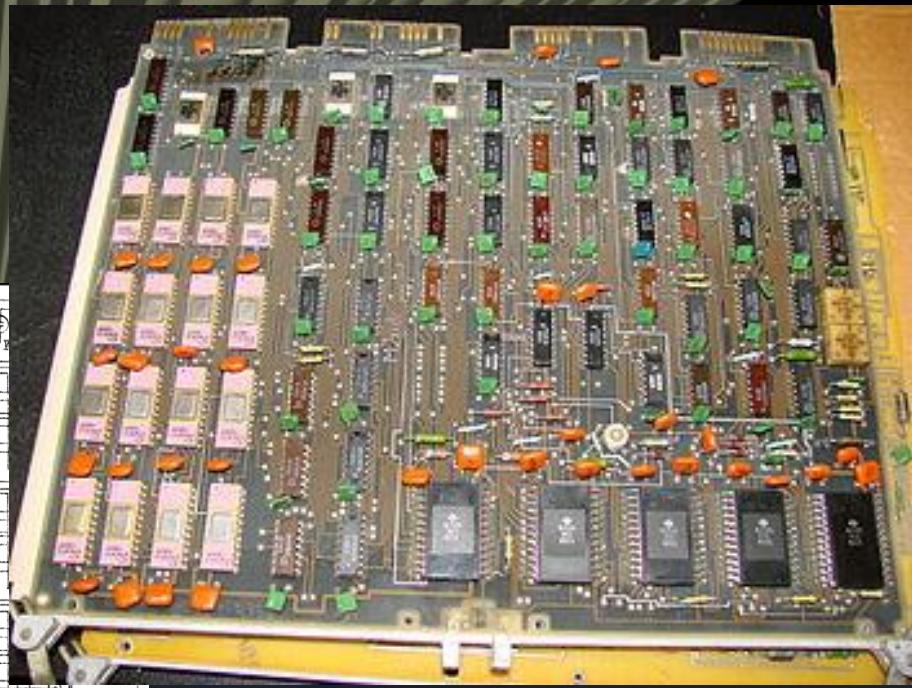
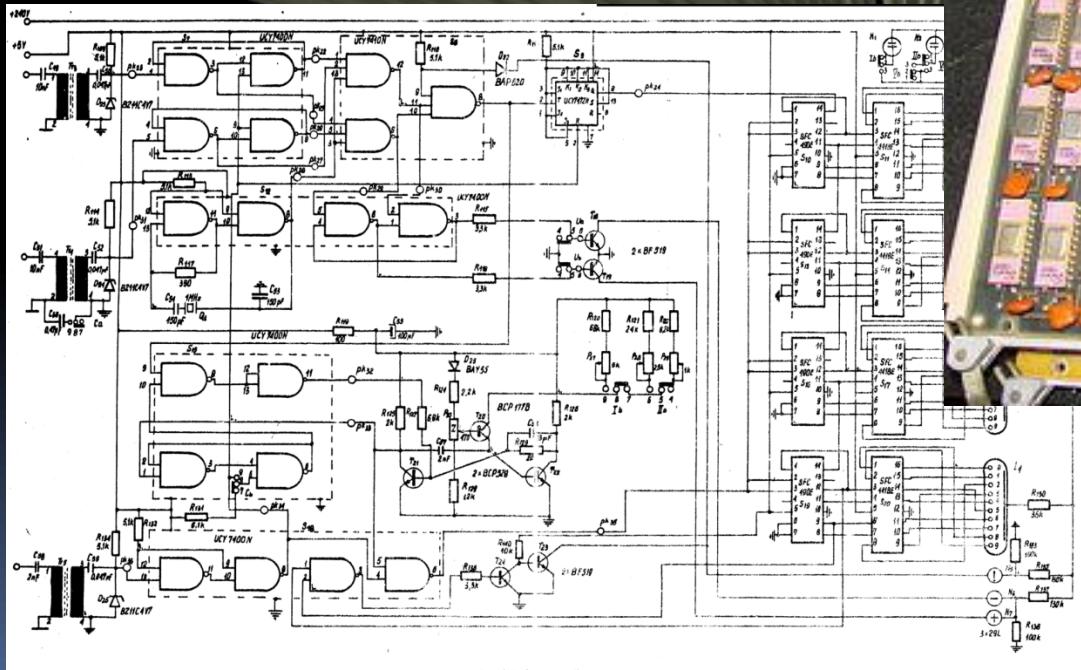


# Claude E. Shannon

ur. 30 kwietnia 1916, zm. 24 lutego 2001 – amerykański matematyk i inżynier, profesor Massachusetts Institute of Technology (MIT)

Jeden z twórców teorii informacji. Jako jeden z pierwszych pojął ważność kodu binarnego i już jako młody człowiek twierdził, że ciągami zer i jedynek da się opisać tekst, obraz i dźwięk.

**Yak to było dawniej czyli 20-30 lat temu!!!**



# Adzisiaja

# Very High (Speed Integrated Circuits) Description Language

- Początek: lata 80-te XX w. Realizacja programu projektowania bardzo szybkich układów scalonych VHSIC na zlecenie Departamentu Obrony USA (Department of Defense, USA).
- 1987 rok organizacja IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) uznała język VHDL za oficjalny standard i nadała mu numer 1076.
- 1993 uaktualniono i zaproponowano nowy standard języka VHDL IEEE 1164.
- Norma IEEE Std 1164: pakiet std\_logic\_1164.

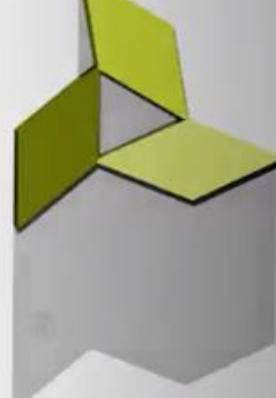
# VHDL i FPGA

```
entity Dec2to4_VHDL is
    Port ( S1,S0 :          in  std_logic;
           An3,An2,An1,An0 : out std_logic);
end Dec2to4_VHDL;

architecture Behavioral of Dec2to4_VHDL is
-- Signal Sel: std_logic_vector(1 downto 0)
begin
    process (S1,S0)
        Variable Sel: std_logic_vector(1 down
    begin
        Sel := S1&S0;
        An3 <= '1'; An2 <= '1'; An1 <= '1';
        case Sel is
            when "00"    => An0 <= '0';
            when "01"    => An1 <= '0';
            when "10"    => An2 <= '0';
            when "11"    => An3 <= '0';
            when others => null;
        end case;
    end process;
end Behavioral;
```



# VIVADO



**BLOCK DESIGN - base\_mb**

**PROJECT MANAGER**

- Settings
- Add Sources
- Language Templates
- IP Catalog

**IP INTEGRATOR**

- Create Block Design
- Open Block Design
- Generate Block Design

**SIMULATION**

- Run Simulation

**RTL ANALYSIS**

- Open Elaborated Design

**SYNTHESIS**

- Run Synthesis
- Open Synthesized Design

**IMPLEMENTATION**

- Run Implementation
- Open Implemented Design

**PROGRAM AND DEBUG**

- Generate Bitstream
- Open Hardware Manager

**Diagram**

**Example MicroBlaze Design in IP Integrator**

**Properties**

Select an object to see properties

**Tcl Console**

```

Adding cell -- xilinx.com:ip:blk_mem_gen:8.4 - lmb_bram
Successfully read diagram <base_mb> from BD file <C:/Xilinx/plikisamou/project_1/project_1.srcs/sources_1/bd/base_mb/base_mb.bd>
open_bd_design: Time (s): cpu = 00:00:10 ; elapsed = 00:00:09 . Memory (MB): peak = 1227.289 ; gain = 58.402
Wrote : <C:/Xilinx/plikisamou/project_1/project_1.srcs/sources_1/bd/base_mb/ui/bd_c2e9b563.ui>
instantiate_example_design: Time (s): cpu = 00:00:29 ; elapsed = 00:00:31 . Memory (MB): peak = 1233.059 ; gain = 467.520
update_compile_order -fileset sources_1
update_compile_order -fileset sim_1

```

Type a Tcl command here

**rozwój elektroniki  
a zmiany kulturowe**

# RADIO

*muzyka która była dobrem luksusowym stała się powszechna*

**transmisje na żywo**

*gwiazda medialna, prezenter*

**rozwój elektrotechniki i elektroniki  
a zmiany kulturowe**

# **TELEWIZJA**

*osoba jest mądra i jest autorytetem dla tego że bywa w telewizji*

**telenowela - konieczność oglądania**

**reality show**

*naciąganie rzeczywistości 'pod telewizję'*

rozwój elektrotechniki i elektroniki  
a zmiany kulturowe

## INTERNET

Portale społecznościowe

**Czyżby zmierzch prywatności?**

**ASV  
Syndetia  
Kultury  
mauki**



Pablo Picasso

malarz

namalował kilkanaście/dziesiąt obrazów



sztuka byłaby uboższa o.... - dziesięć obrazów



John Bardeen

fizyk

jeden z twórców tranzystora

iPod

MP4

GPS

Laptop

PC

Komórka

DVD/VIDEO

Cyfrowy aparat fotograficzny

Telewizja cyfrowa

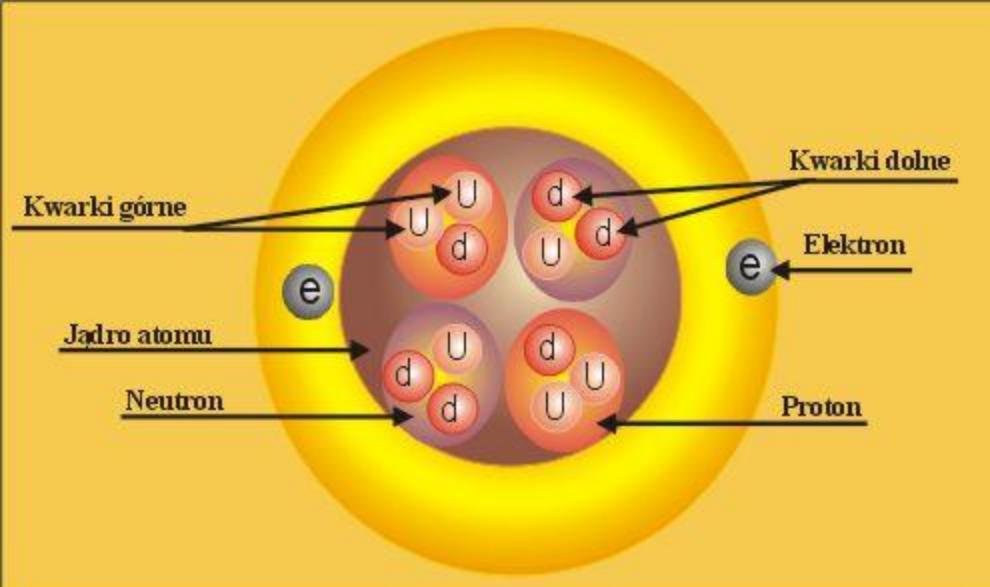
Samoloty fly-by-wire

Sondy kosmiczne

Tomografia komputerowa

# Podstawy elektryczności

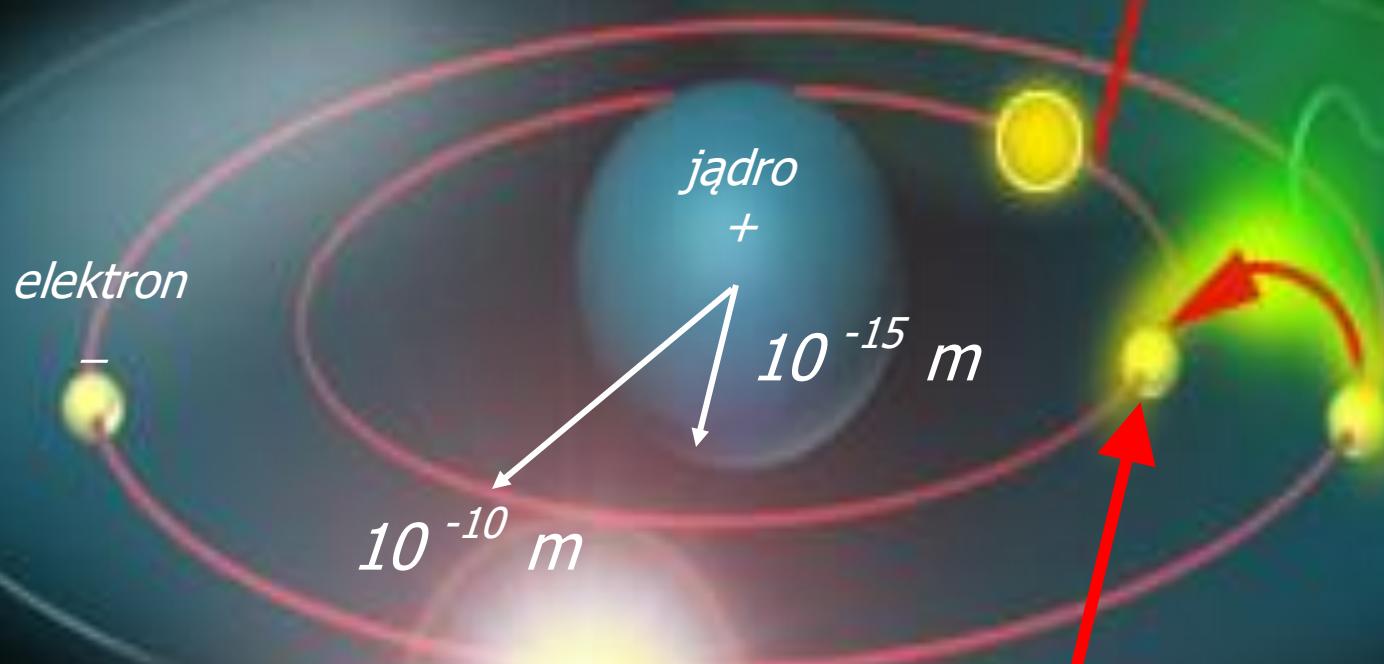




**Ładunek elektryczny jest wielkością skwantowaną**, oznacza to że każdy ładunek jest całkowitą wielokrotnością ładunku elementarnego za który uznaje się ładunek elektronu. Rozróżnia się dwa rodzaje ładunków. Ładunek elektronu określa się jako ujemny (-1), a protonu dodatni (+1). W teorii kwarków, kwarki mają ładunek ułamkowy równy  $-1/3$  lub  $+2/3$  ładunku elementarnego, a antycząstki posiadają ładunek o znaku przeciwnym. **Całkowita suma ładunków w układzie zamkniętym jest stała**, stwierdzenie to nosi nazwę **zachowania ładunku elektrycznego**. W układzie SI jednostką ładunku jest kulomb równy  $6,24 \cdot 10^{18}$  ładunków elementarnych (ładunków elektronów lub protonów  $1,602 \cdot 10^{-19} C$ ). Istnienie najmniejszych porcji ładunku odkrył w 1909 Robert Milikan w doświadczeniu z ruchem kropel oleju w polu elektrostatycznym.

Przez **ładunek zgromadzony w ciele**, np. na okładzinie kondensatora, rozumie się więc ładunek występujący w nim poza wewnętrznie zrównoważonymi strukturami cząsteczkowymi.

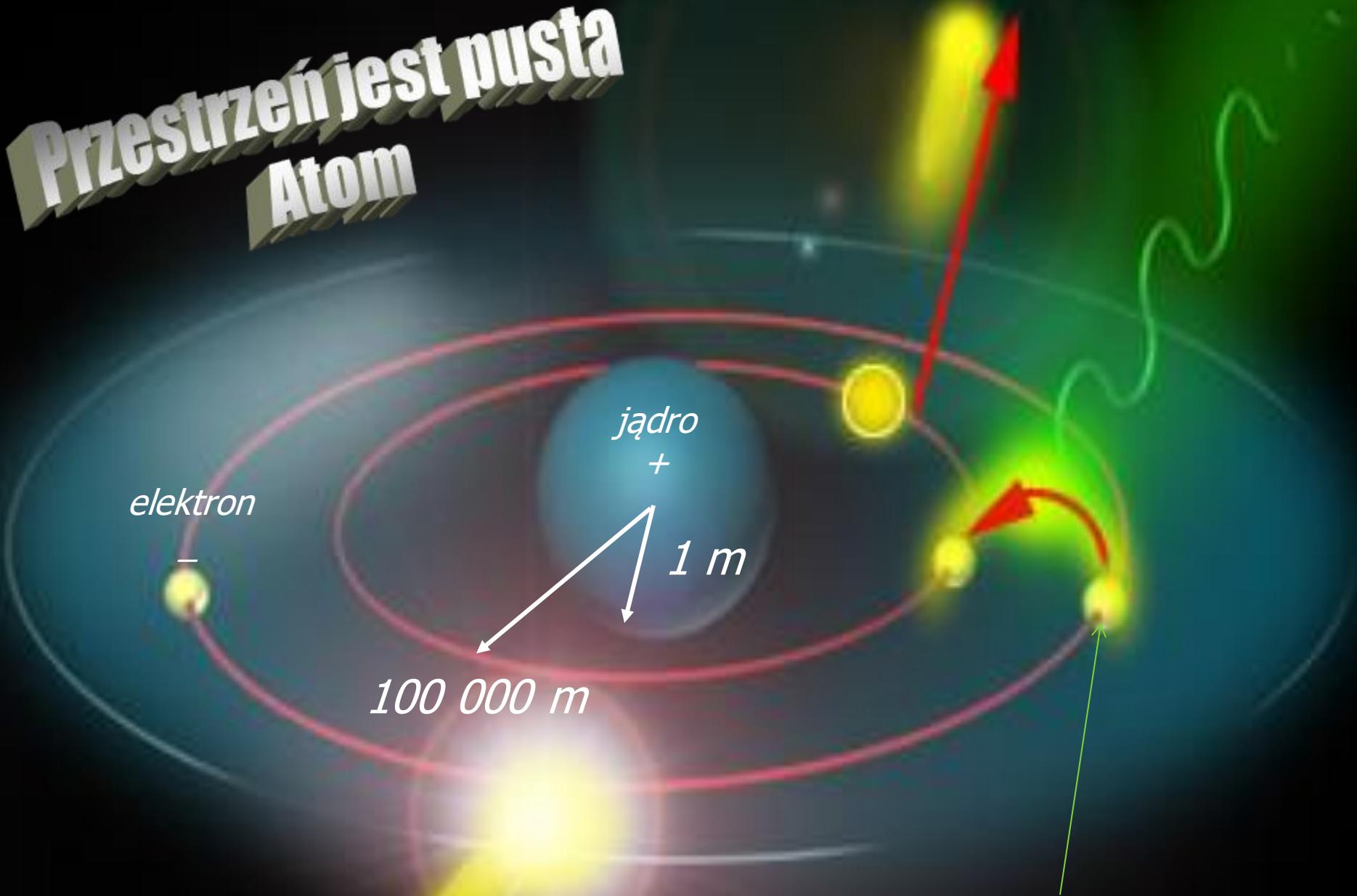
# Przestrzeń jest pusta Atom



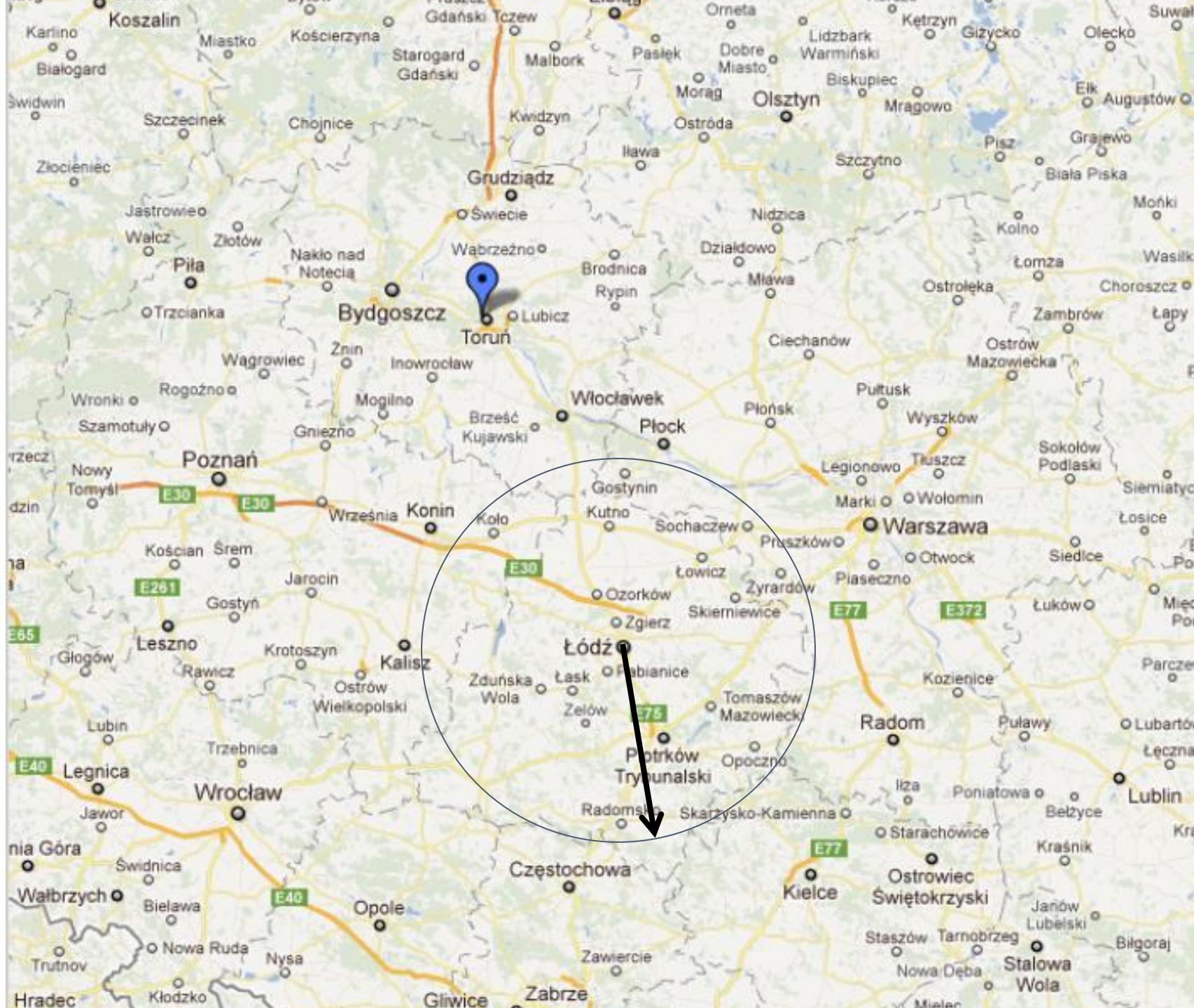
Doświadczenia z pułapkowaniem elektronów w polu magnetycznym wykazały, że promień elektronu jest mniejszy niż

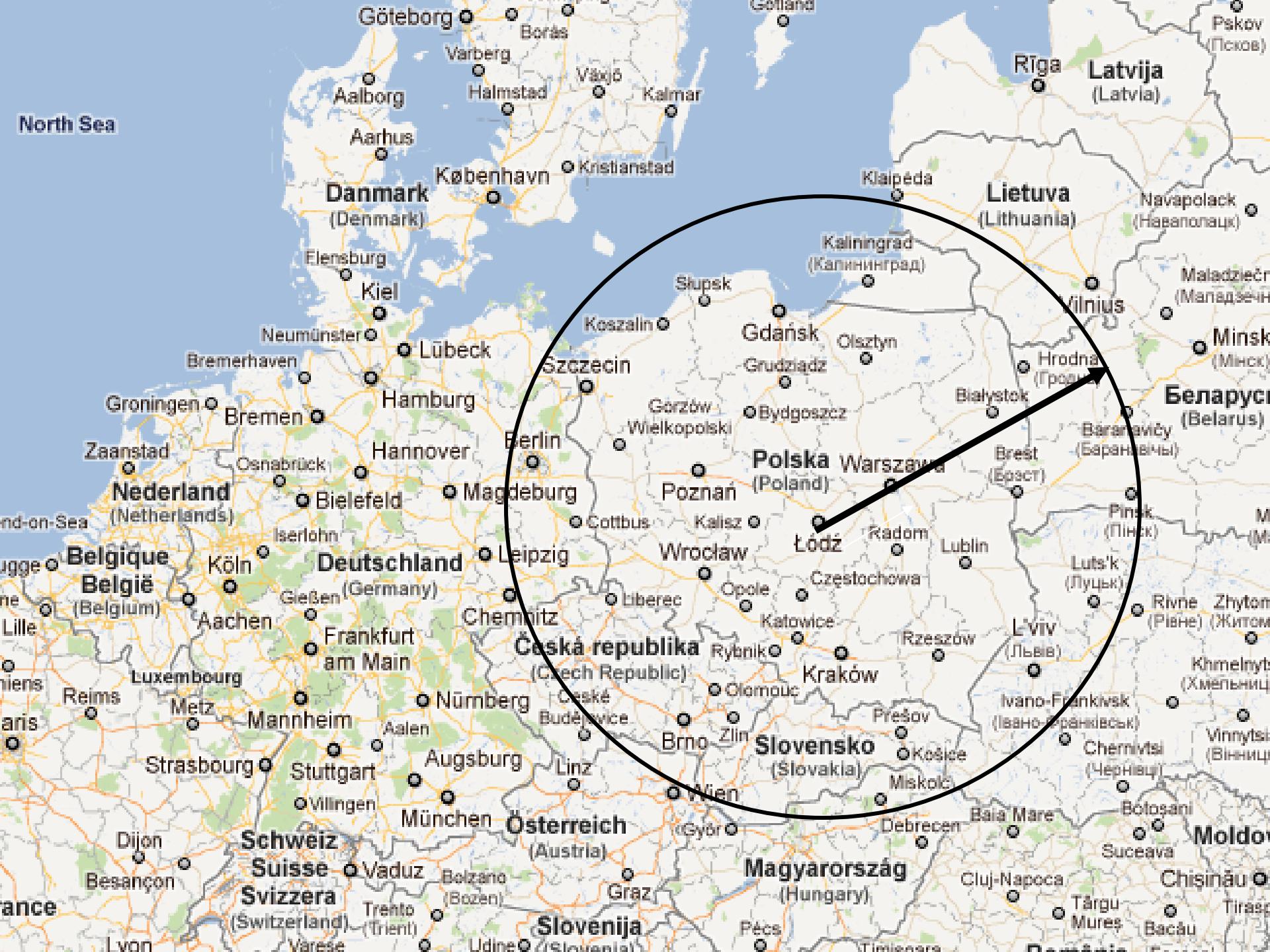
$$10^{-22} \text{ m}$$

# Przestrzeń jest pusta Atom



Kulka o średnicy około 500 razy mniejszej  
od średnicy ludzkiego włosa.





North Sea

Göteborg

Borås

Växjö

Gotland

Pskov  
(Псков)

Aalborg

Aarhus

Varberg

Halmstad

Västervik

Kalmar

København

Kristianstad

Danmark  
(Denmark)

Elensburg

Kiel

Neumünster

Lübeck

Bremerhaven

Groningen

Bremen

Zaanstad

Nederland  
(Netherlands)

nd-on-Sea

Belgique  
België

(Belgium)

Köln

Aachen

Gießen

Iserlohn

Deutschland  
(Germany)

Frankfurt

am Main

Mannheim

Stuttgart

Aalen

Nürnberg

Augsburg

Linz

München

Österreich  
(Austria)

Trento  
(Trent)

Bolzano  
(Bozen)

Graz

Udine  
(Slovenia)

Schweiz

Suisse

Svizzera  
(Switzerland)

Taranto  
(Trient)

Varese

Pécs

Tišnov

Cluj-Napoca

Timișoara

Riga

Latvija

(Latvia)

Klaipėda

Kaliningrad  
(Калининград)

Štupsk

Koszalin

Szczecin

Gdańsk

Grudziądz

Bydgoszcz

Wielkopolski

Poznań

Kalisz

Łódź

Radom

Lublin

Częstochowa

Wrocław

Opole

Katowice

Rzeszów

Brno

Olomouc

Zlín

Prešov

Košice

Miskolc

Debrecen

Bala Mare

Suceava

Târgu Mureș

Bacău

Chișinău

Tiraspol

Chișinău

Bălți

Orhei

Ucraina

Ukraine

Navapolack  
(Наваполацк)

Maladziečna  
(Маладзечна)

Minsk  
(Мінск)

Беларусь  
(Belarus)

Barysawiczy  
(Барысавічы)

Pinsk  
(Пінск)

Lutsk  
(Луцьк)

Rivne  
(Рівне)

Zhytomyr  
(Житомир)

Khmelnytskyi  
(Хмельницький)

Ivano-Frankivsk  
(Івано-Франківськ)

Chernivtsi  
(Чернівці)

Vinnitsa  
(Вінниця)

Bolosani

Suceava

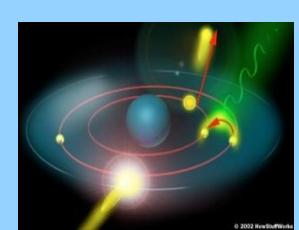
Chișinău

Tiraspol

Orhei

Ucraina

Ukraine

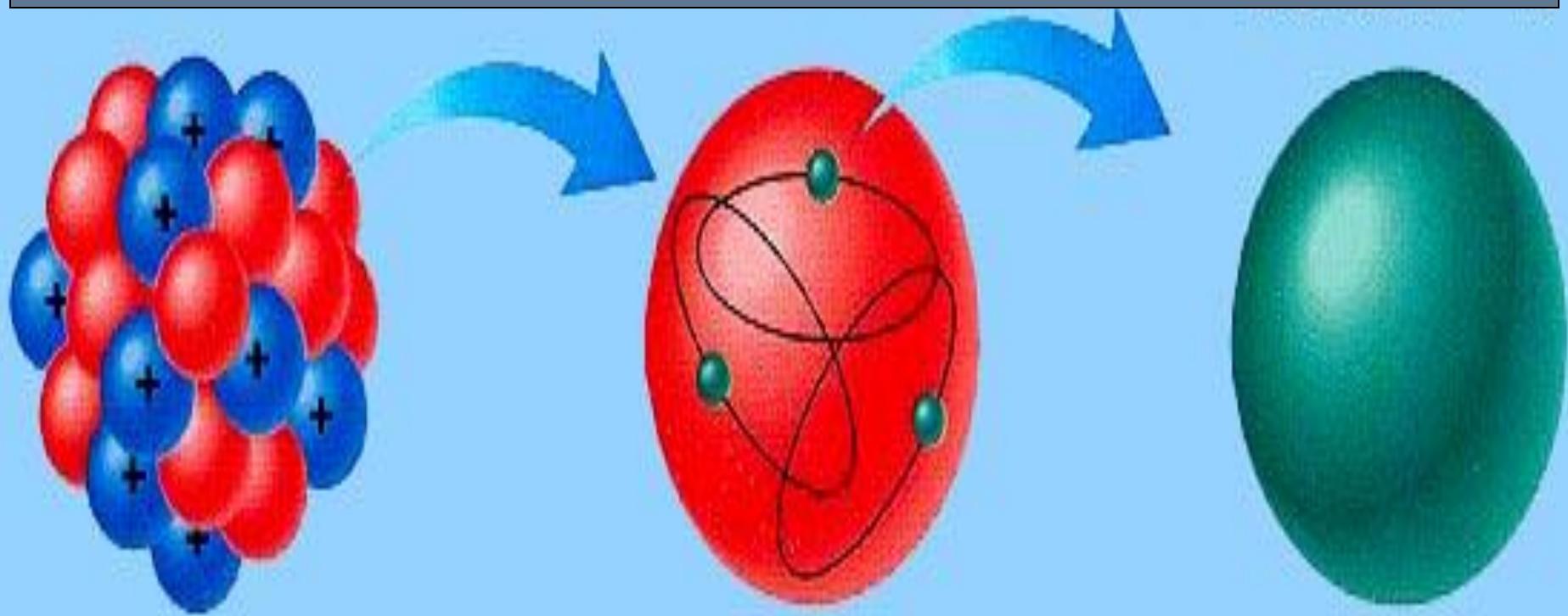


# Przestrzeń jest pusta

$10^{-15} - 10^{-14} \text{ m}$

$10^{-15} \text{ m}$

$< 10^{-18} \text{ m}$



jądro

neutron

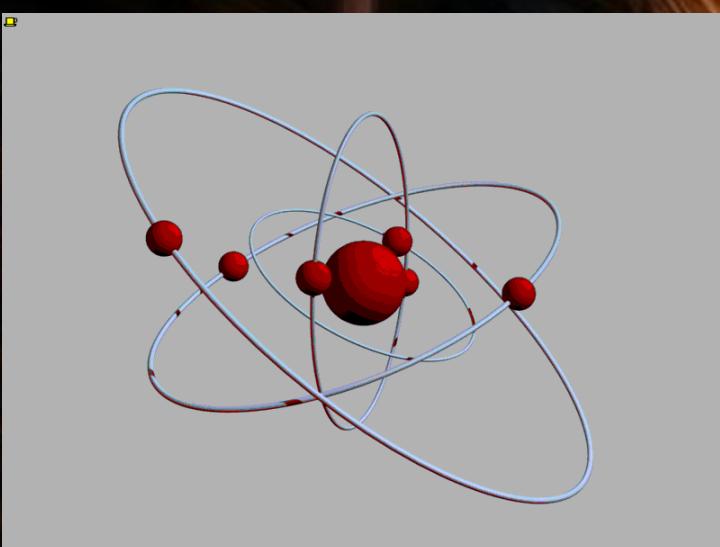
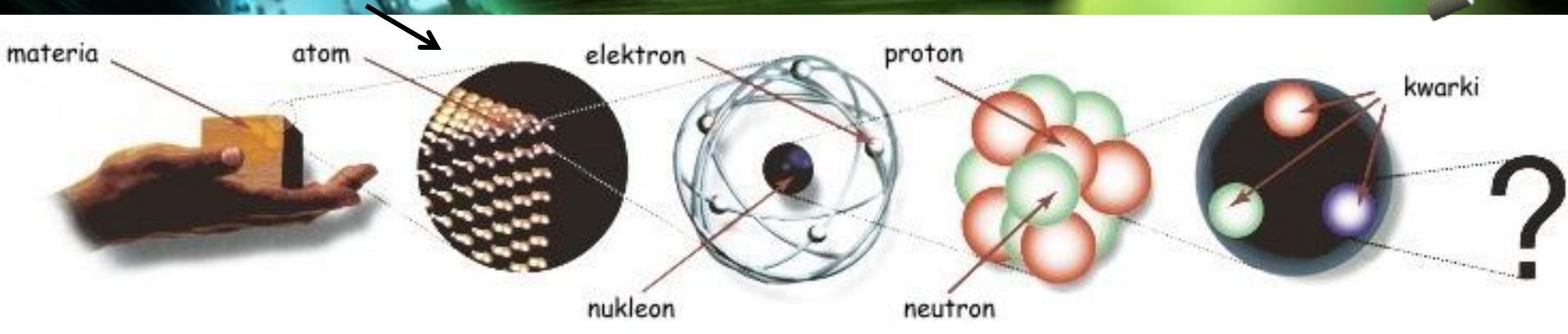
kwark

# Ładunki elektryczne

W układzie SI jednostką ładunku jest kulomb  
 $1\text{C}$  równy  $6,24 \cdot 10^{18}$  ładunków elementarnych.

Ładunek elektronu lub protonów jest równy  
 $1,602 \cdot 10^{-19}\text{C}$ .

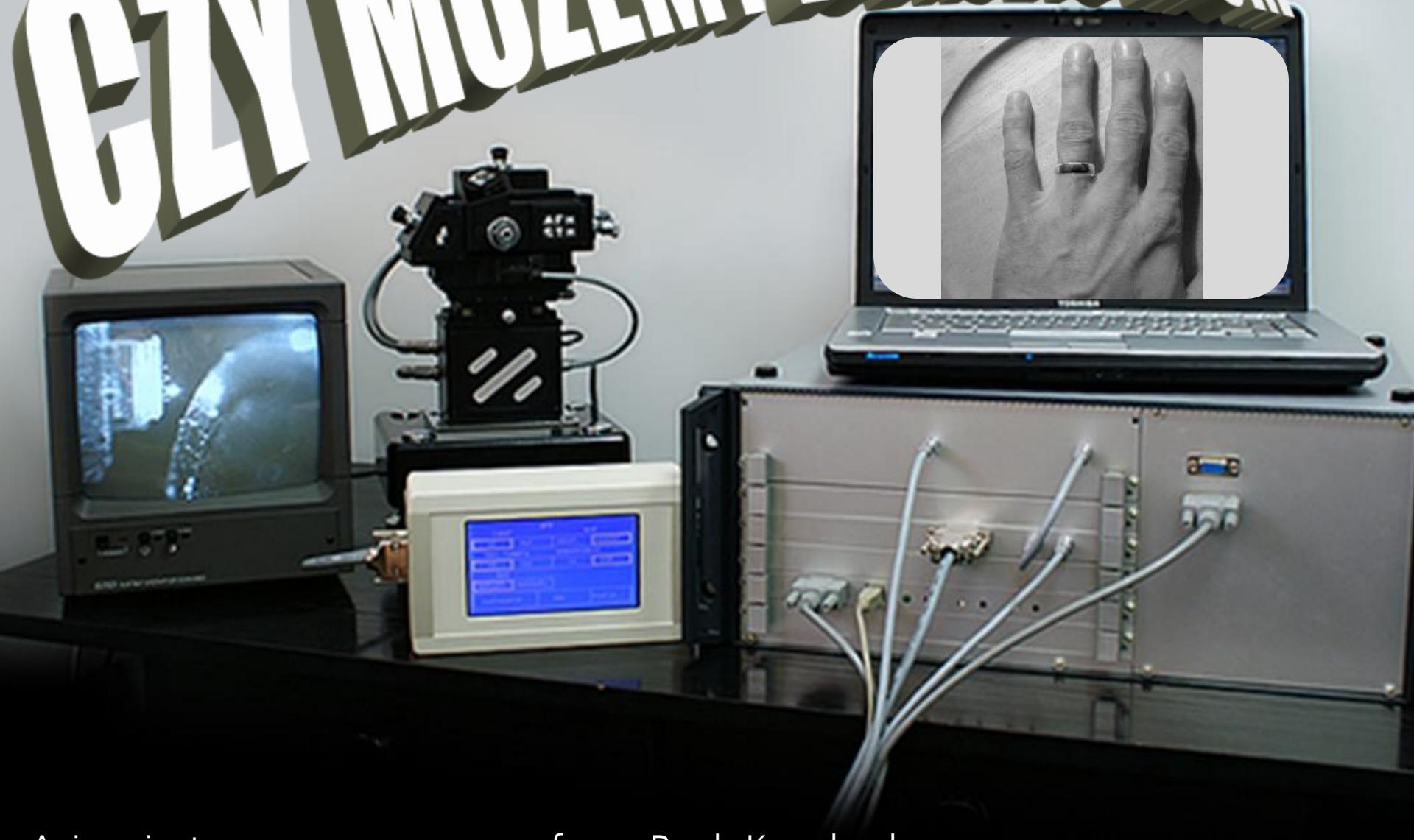
# Przewodniki, półprzewodniki i izolatory



Model atomu Bohra

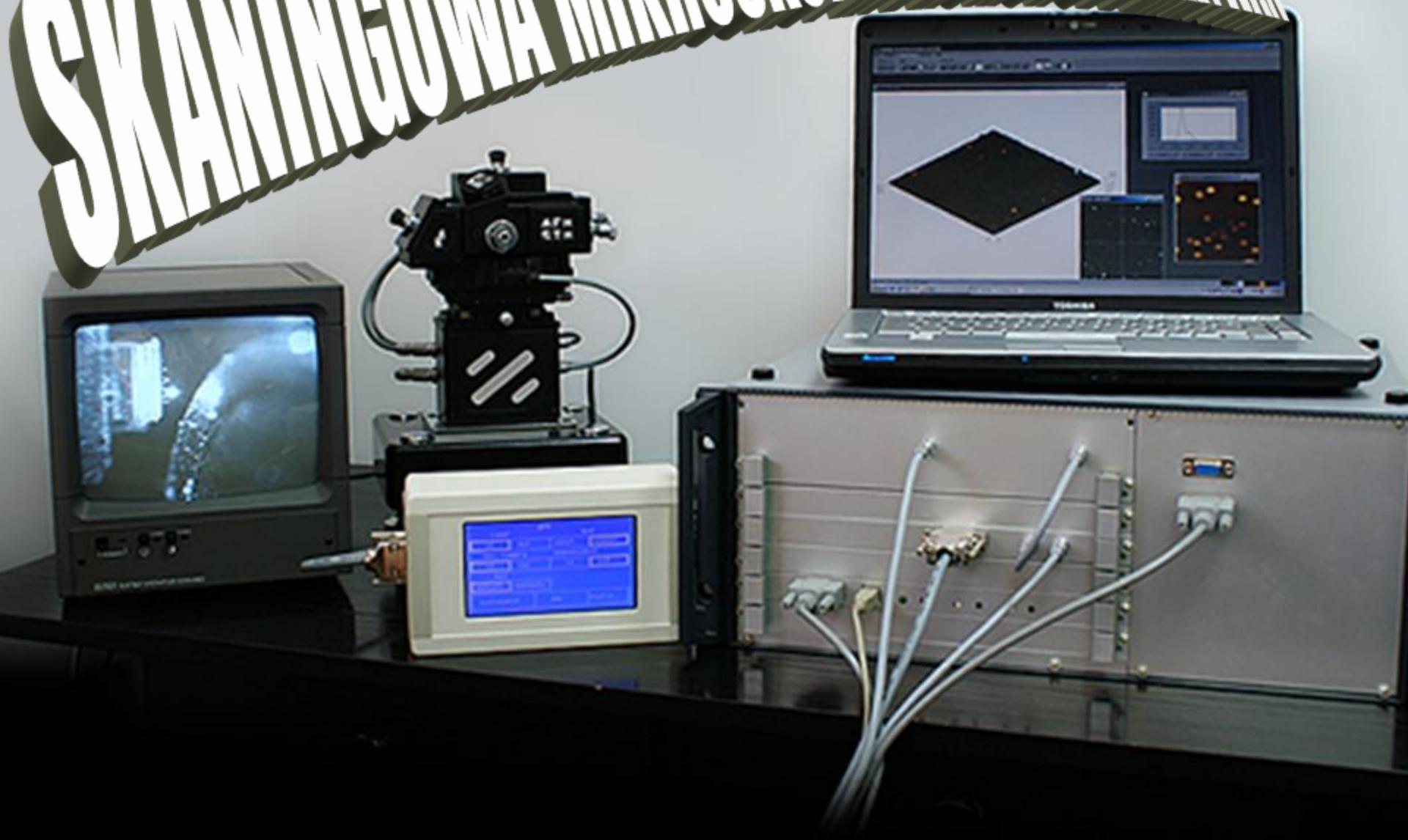


# CTY MOŻEMY ZOBACZYĆ NAJWIĘCEJ



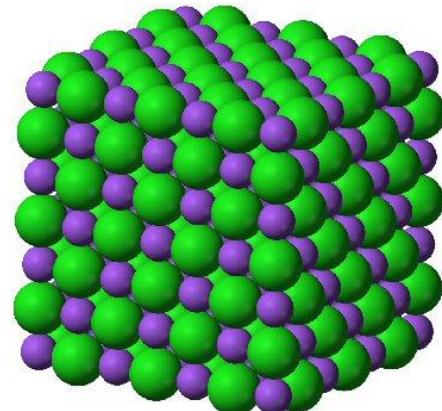
Animacja stworzona przez pana profesora Pawła Kowalczyka

# SKANINGOWA MIKROSKOPIA BLISKICH ODDELENIA

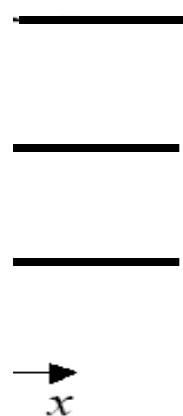
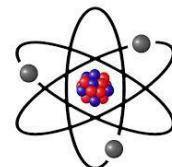


# Struktura pasmowa ciała stałego.

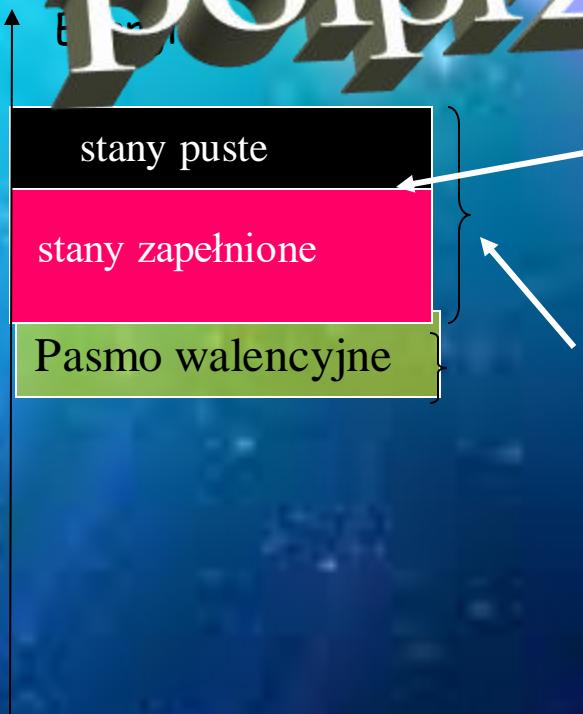
Przerwa energetyczna. Jej szerokość decyduje o tym, czy dany materiał jest przewodnikiem, półprzewodnikiem czy izolatorem. Dla klasycznych półprzewodników przerwa energetyczna wynosi  $\leq 2\text{eV}$



D. 2000



# Struktura pasmowa ciała stałego - półprzewodniki

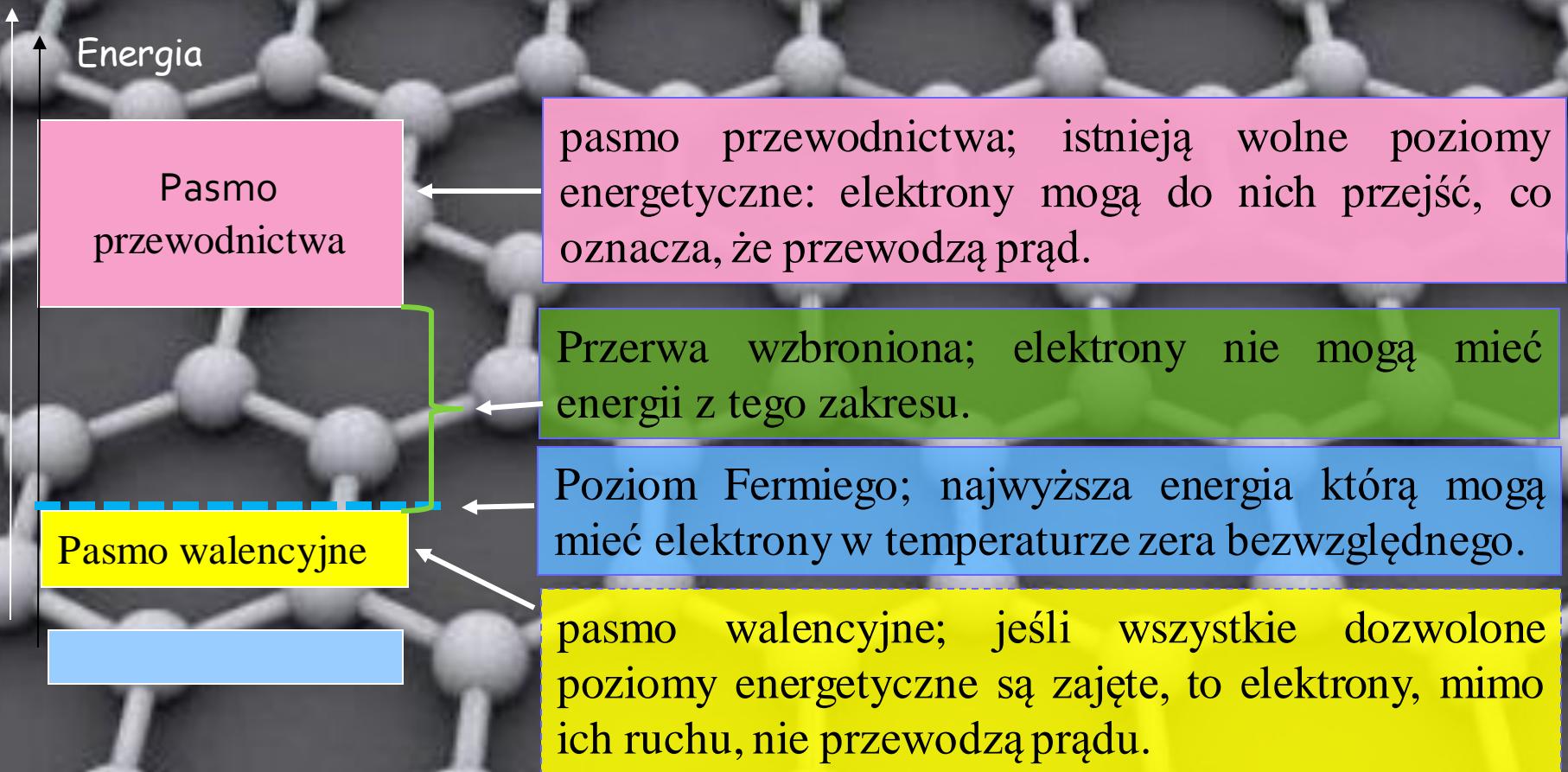


Poziom Fermiego; najwyższa energia którą mogą mieć elektryny w temperaturze zera bezwzględnego.

pasmo przewodnictwa; istnieją wolne poziomy energetyczne: elektryny mogą do nich przejść, co oznacza, że przewodzą prąd.

Szerokość pasm energetycznych i położenie poziomu Fermiego określa większość własności elektronowych materiału.

# Struktura pasmowa ciała stałego.



Szerokość pasm energetycznych i położenie poziomu Fermiego określa większość własności elektronowych materiału.

# Struktura pasmowa ciała stałego - półprzewodniki

Energia

Pasmo przewodnictwa

pasmo przewodnictwa; istnieją wolne poziomy energetyczne: elektrony mogą do nich przejść, co oznacza, że przewodzą prąd.

Przerwa wzbroniona; elektrony nie mogą mieć energii z tego zakresu.

Pasmo walencyjne

Poziom Fermiego; najwyższa energia którą mogą mieć elektrony w temperaturze zera bezwzględnego.

pasmo walencyjne; jeśli wszystkie dozwolone poziomy energetyczne są zajęte, to elektrony, mimo ich ruchu, nie przewodzą prądu.

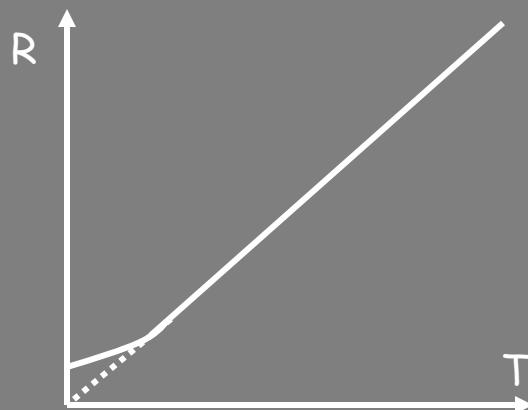
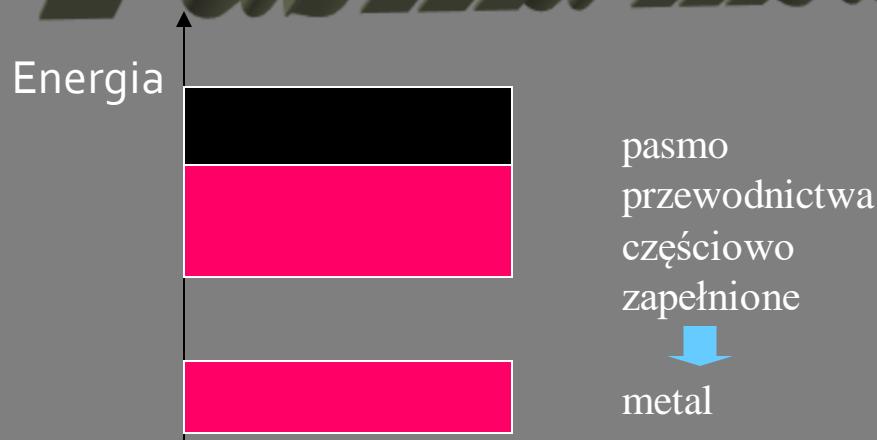
Szerokość pasm energetycznych i położenie poziomu Fermiego określa większość własności elektronowych materiału.

**CO WSPÓŁNEGO MAJĄ KURY NA GRĘDZIE  
ZWŁAŚCIWOŚCIAMI CIAŁA STAŁEGO?**

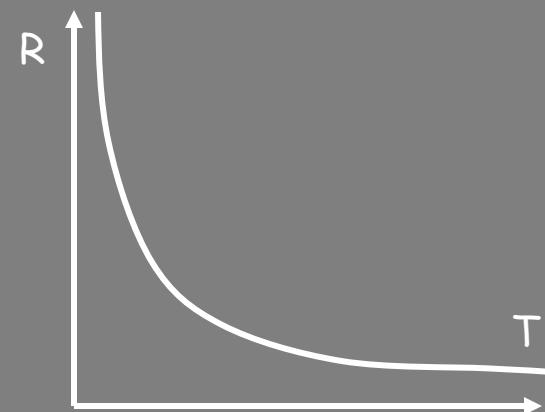
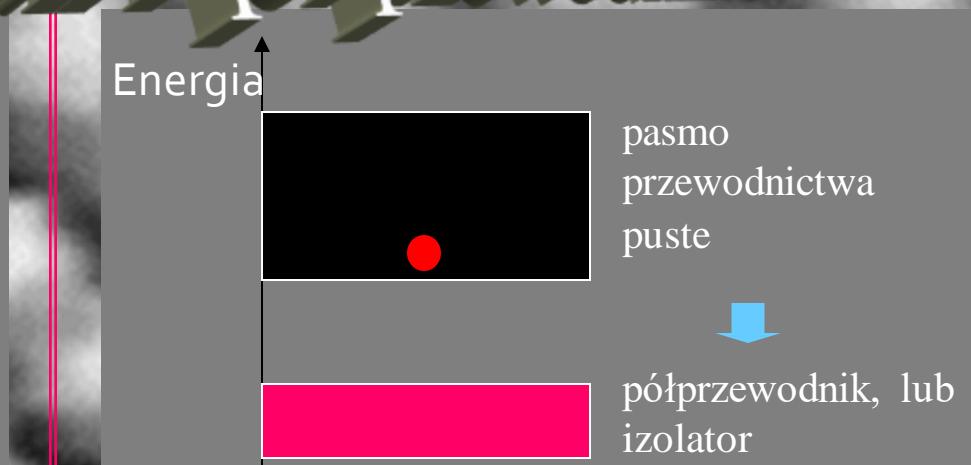


© Can Stock Photo - csp8283767

# Pasma metali i półprzewodników



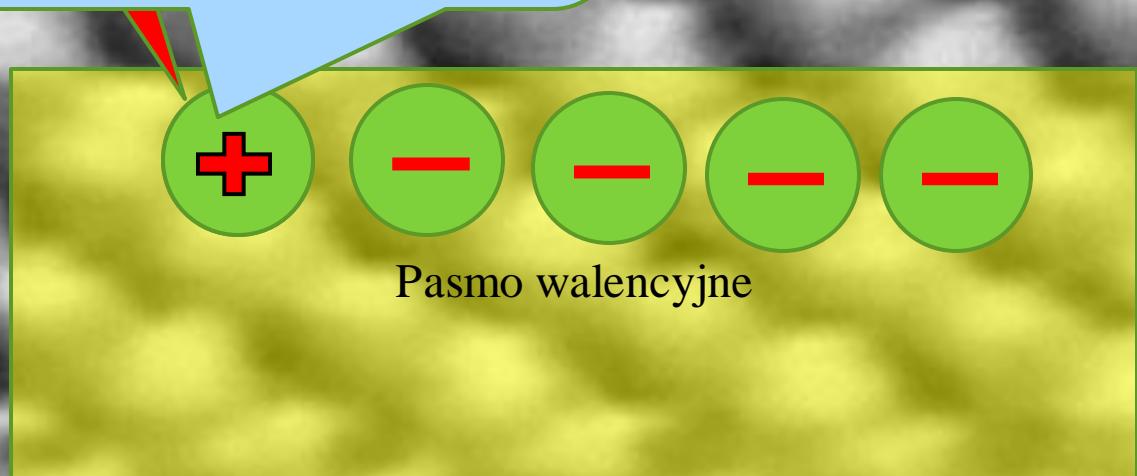
Metal o doskonałej sieci krystalicznej w temperaturze zera bezwzględnego przewodzi prąd bez oporu; każde odstępstwo od doskonałego ułożenia powoduje rozpraszanie elektronów: opór elektryczny.



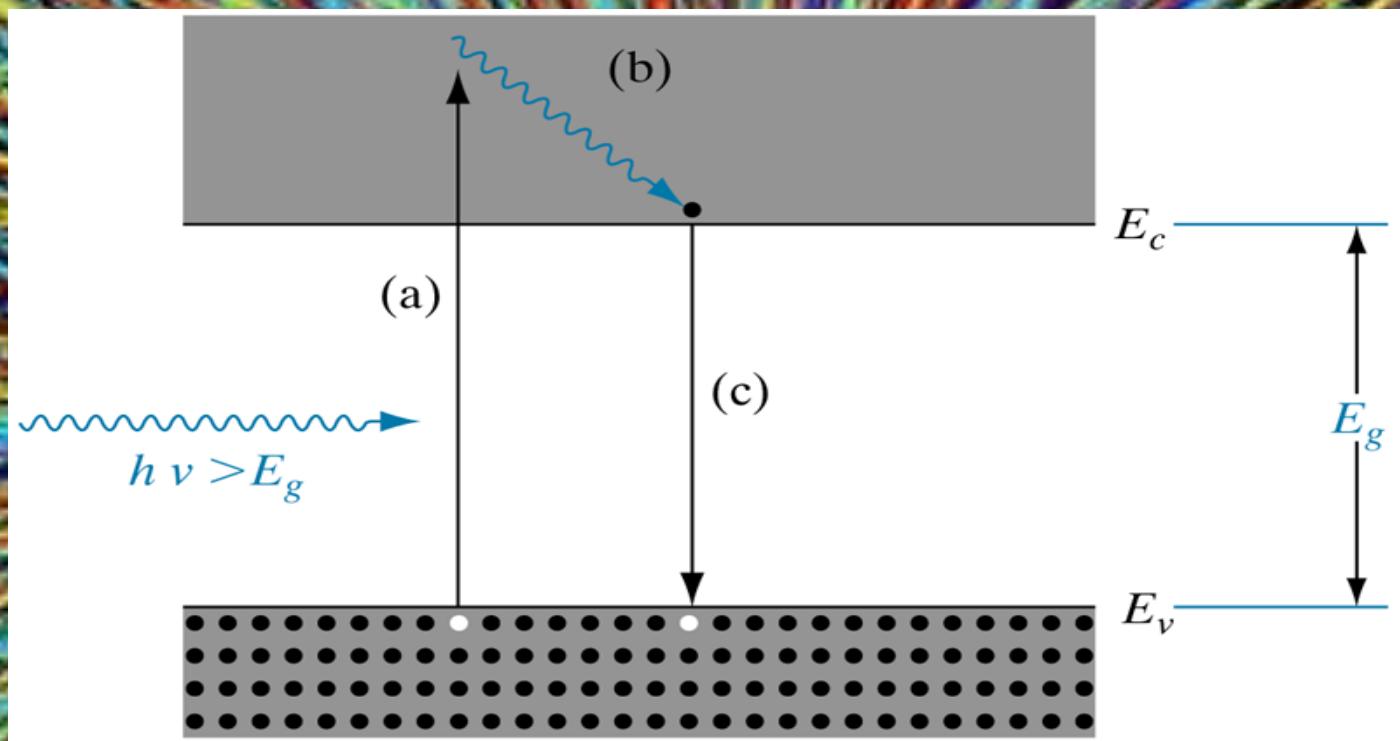
Półprzewodnik przewodzi prąd tylko w wysokich temperaturach, w których elektrony przejdą z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa



Kwazicząstki nazywane dziurami. Ich ładunek jak wynika z rysunku jest dodatni. Nie są one cząstками w sensie klasycznym. Ich istnienie traci sens poza pasmem walencyjnym



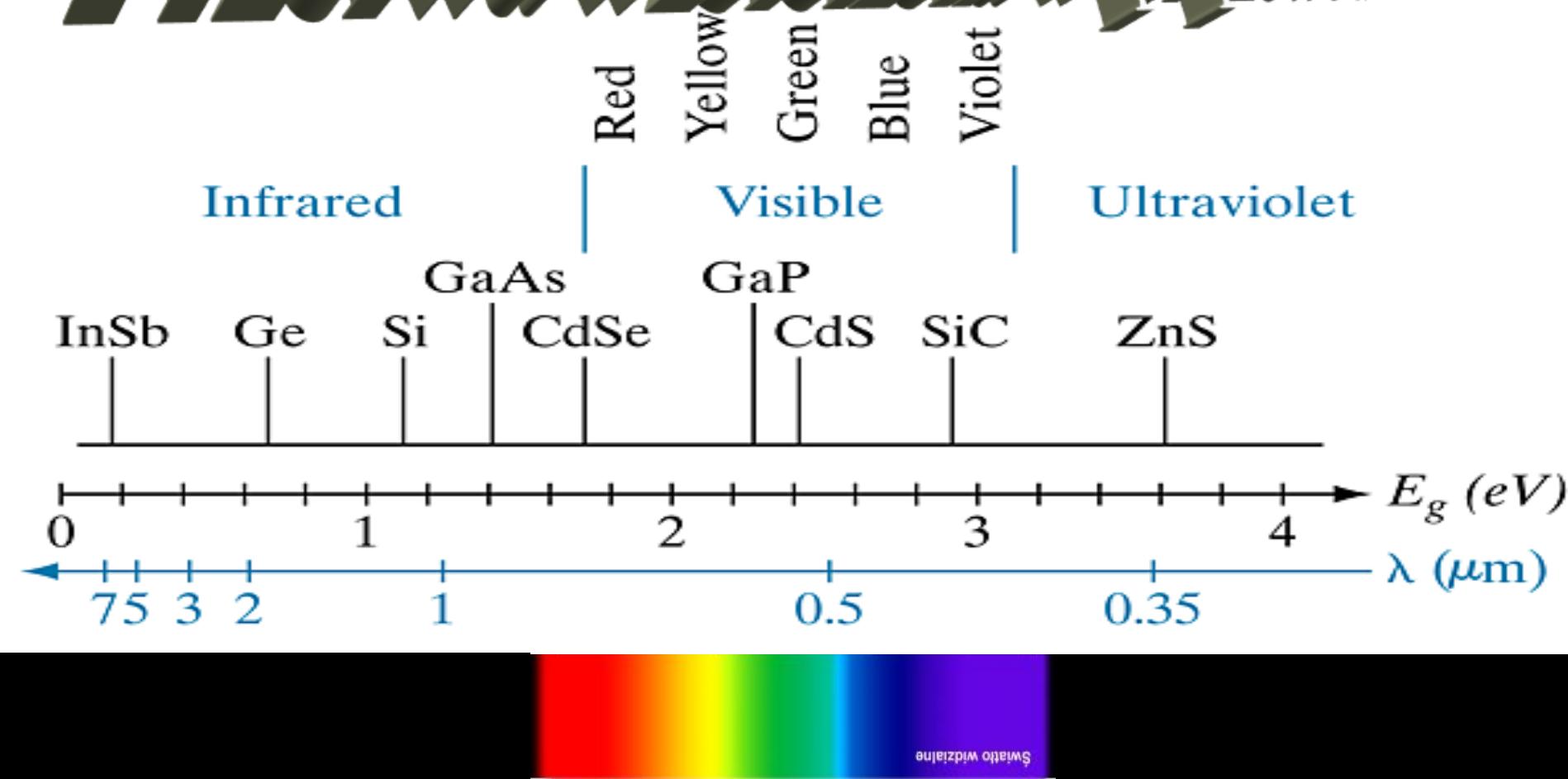
# Absorpcja fotonu



Absorpcja fotonu o energii  $h\nu > E_g$ :

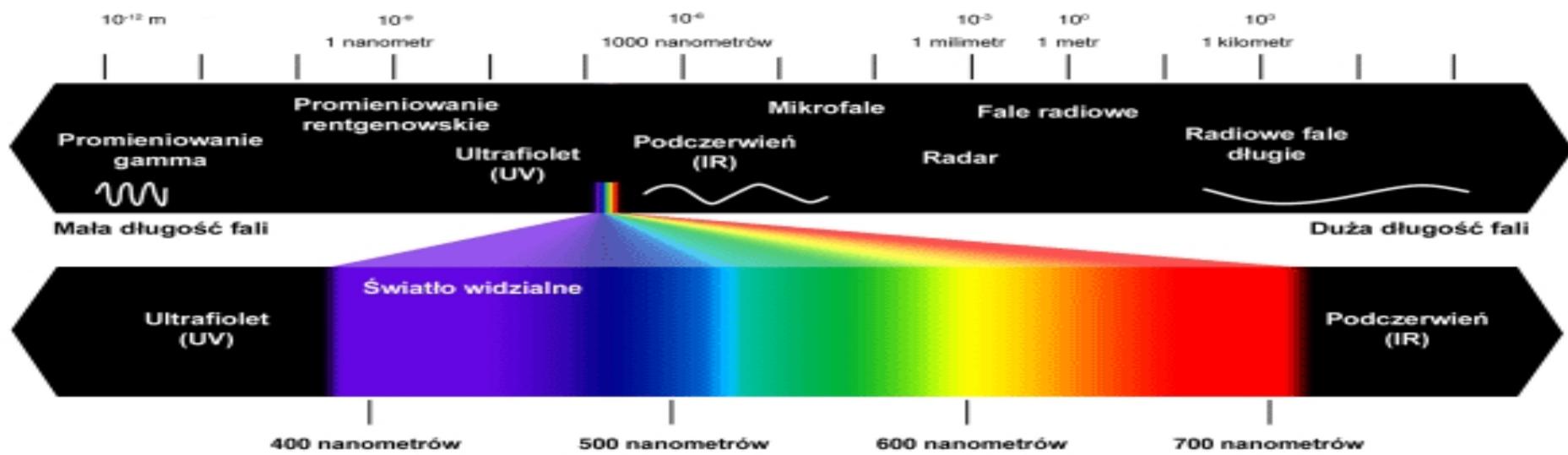
- (a) kreacja pary elektron - dziura;
- (b) wzbudzony elektron oddaje energię sieci ( poprzez zderzenia);
- (c) elektron rekombinuje z dziurą.

# Przerwa wzbroniona w półprzewodniku.



Przerwa wzbroniona półprzewodników i odpowiadające jej długości fal.

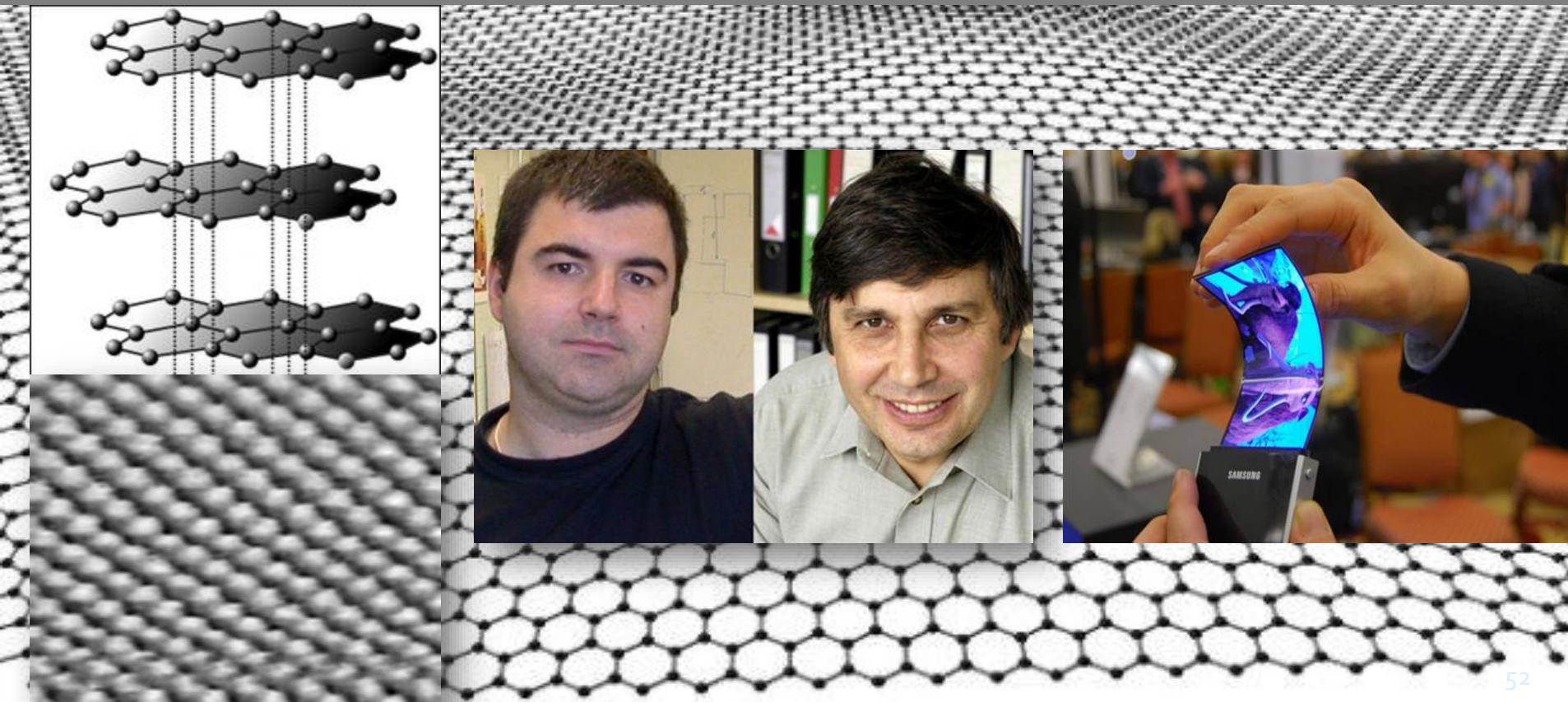
# Jak niewiele widzimy.



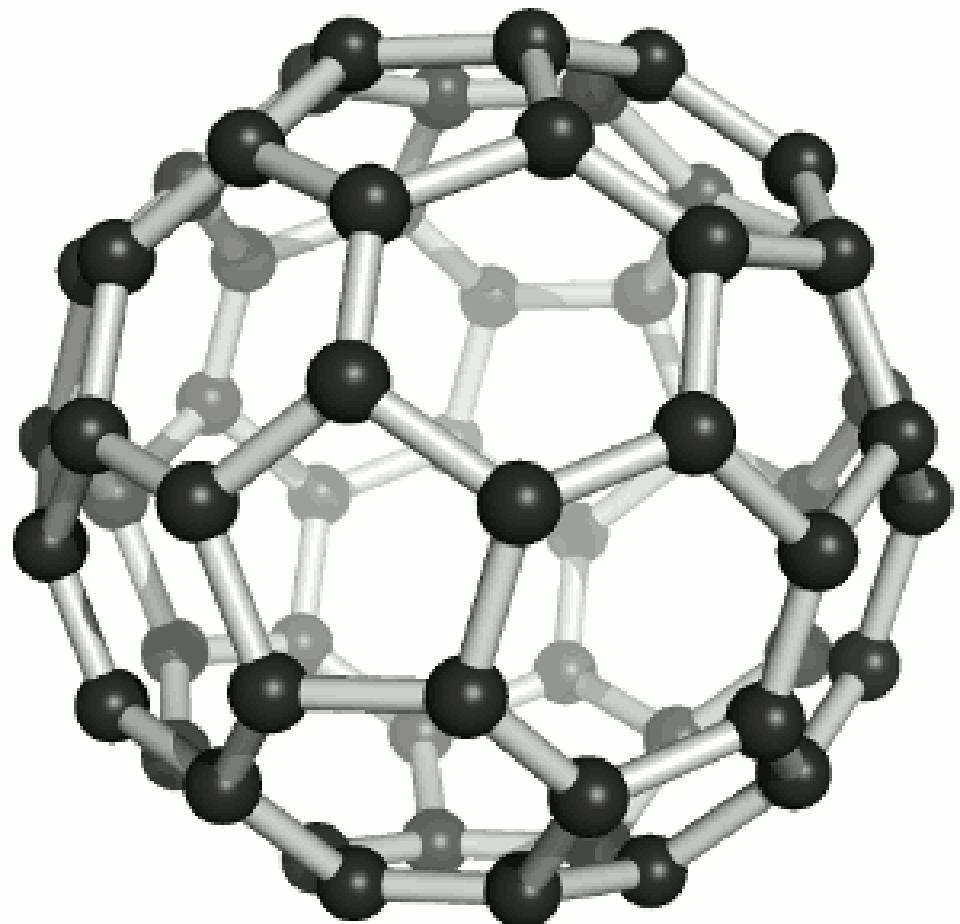
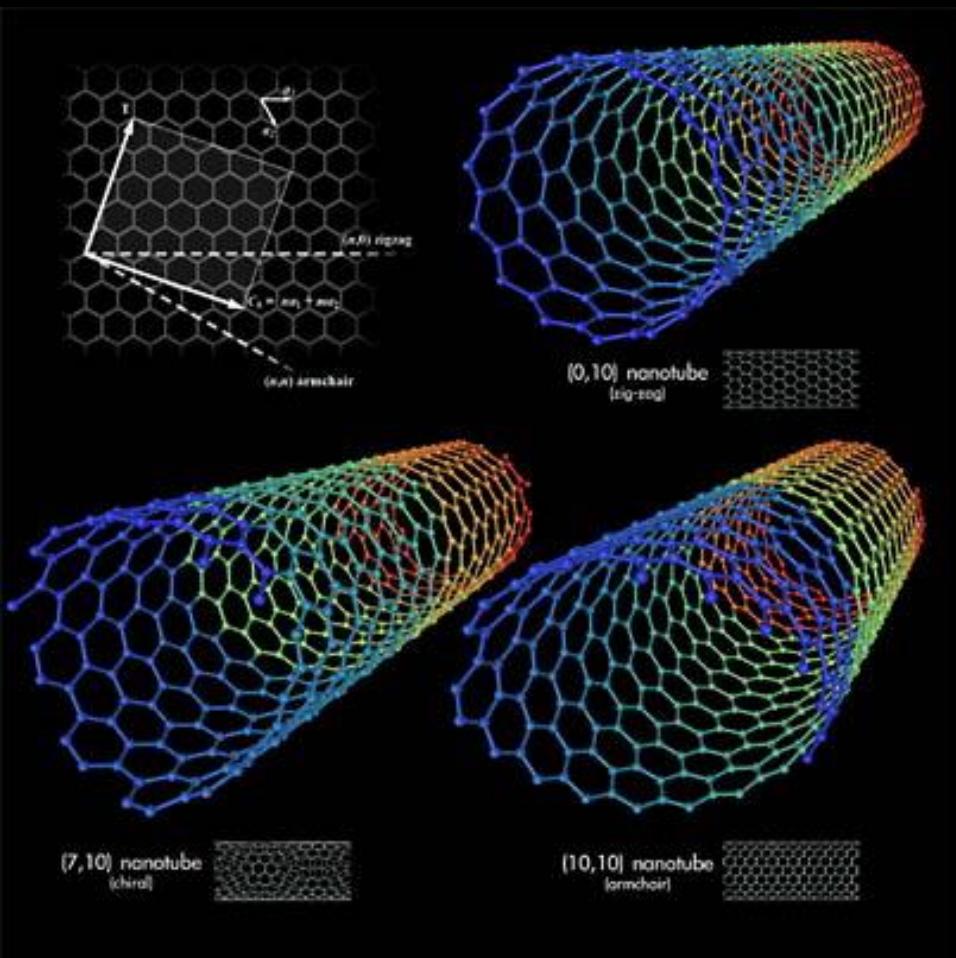
# Grafen.

Jest przezroczysty i doskonale przewodzi prąd.

Za badania grafenu Andriej Gejm i Konstantin Nowosjołow otrzymali w roku 2010 Nagrodę Nobla z fizyki.



# Nanorurki i fulereny.



# Prąd elektryczny.

*Prądem elektrycznym* nazywa się uporządkowany ruch ładunków elektrycznych, którego przyczyną jest istnienie różnicy potencjałów.

Sposób przewodzenia prądu oparty na ruchu elektronów swobodnych nazywa się *przewodzeniem I rodzaju*.

*Przewodnictwo II rodzaju* oparte jest na nośnikach prądu jakimi są jony dodatnie i ujemne, które powstają w wyniku dysocjacji kwasów zasad i soli.

Prąd elektryczny w gazach tworzą elektrony i zjonizowane dodatnio cząsteczki, zaś w próżni -strumień elektronów.

# Obwód elektryczny.

Obwód elektryczny składa się z elementów o końcach połączonych ze sobą . W ten sposób przy udziale przepływających ładunków elektrycznych, odbywa się wymiana energii między elementem obwodu. W związku z kierunkiem i sposobem wymiany energii wyróżnia się elementy *aktywne* (źródła) oraz *pasywne* (rezystancje, pojemności, indukcyjności).



A diagram illustrating a simple electrical circuit. It features a battery labeled "DURACELL ALKALINE" with its positive terminal marked by a red plus sign (+). Two wires connect the battery to two incandescent light bulbs. The light bulbs are glowing brightly, indicating they are active components in the circuit. A large, semi-transparent gray circle overlaps the center of the circuit. Inside this circle, the text "Teoria obwodów" is written in white, italicized font, serving as a title or subject indicator for the slide content.

*Teoria  
obwodów*

# Rezystory.

- Cechy funkcjonalne
  - Rezystory stałe
  - Rezystory zmienne potencjometry
  - Rezystory zmienne warystory
  - Rezystory zmienne termistory
  - Rezystory zmienne magnetorezystory
- Charakterystyki prądowo-napięciowe
  - Liniowe
  - Nieliniowe
- Stosowany materiał oporowy
  - Drutowe
  - Niedrutowe



# Prawo Ohma.

*Natężenie prądu stałego przepływającego przez przewodnik proporcjonalne jest do przyłożonego napięcia.*

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

*I - natężenie prądu*

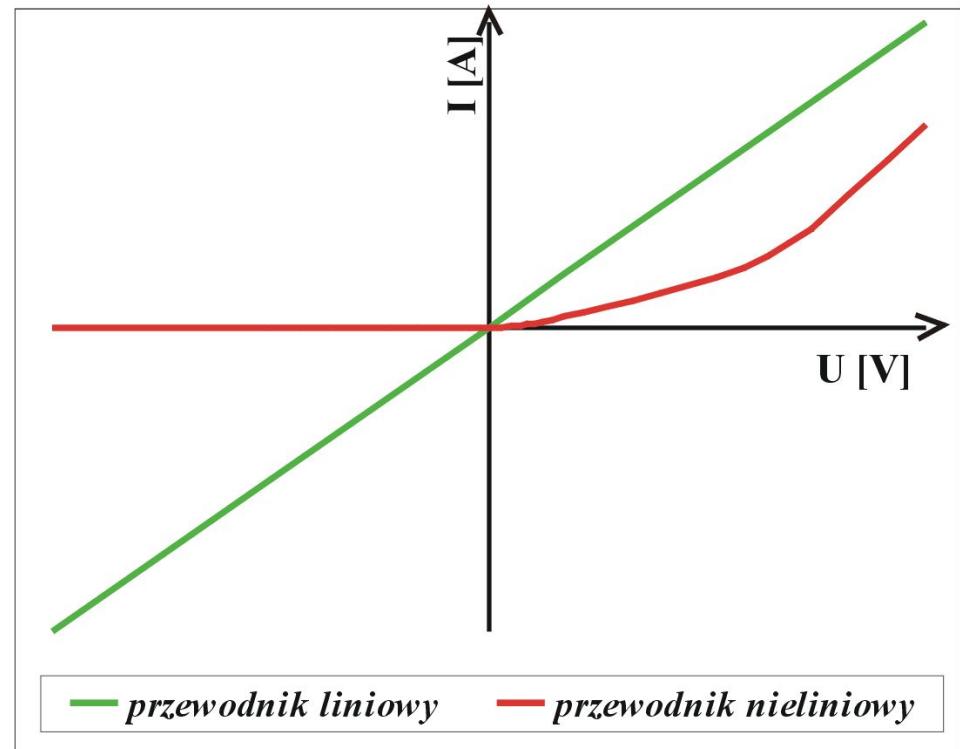
*U - napięcie*

*R - opór elektryczny*

*jednostką oporu elektrycznego jest om*

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

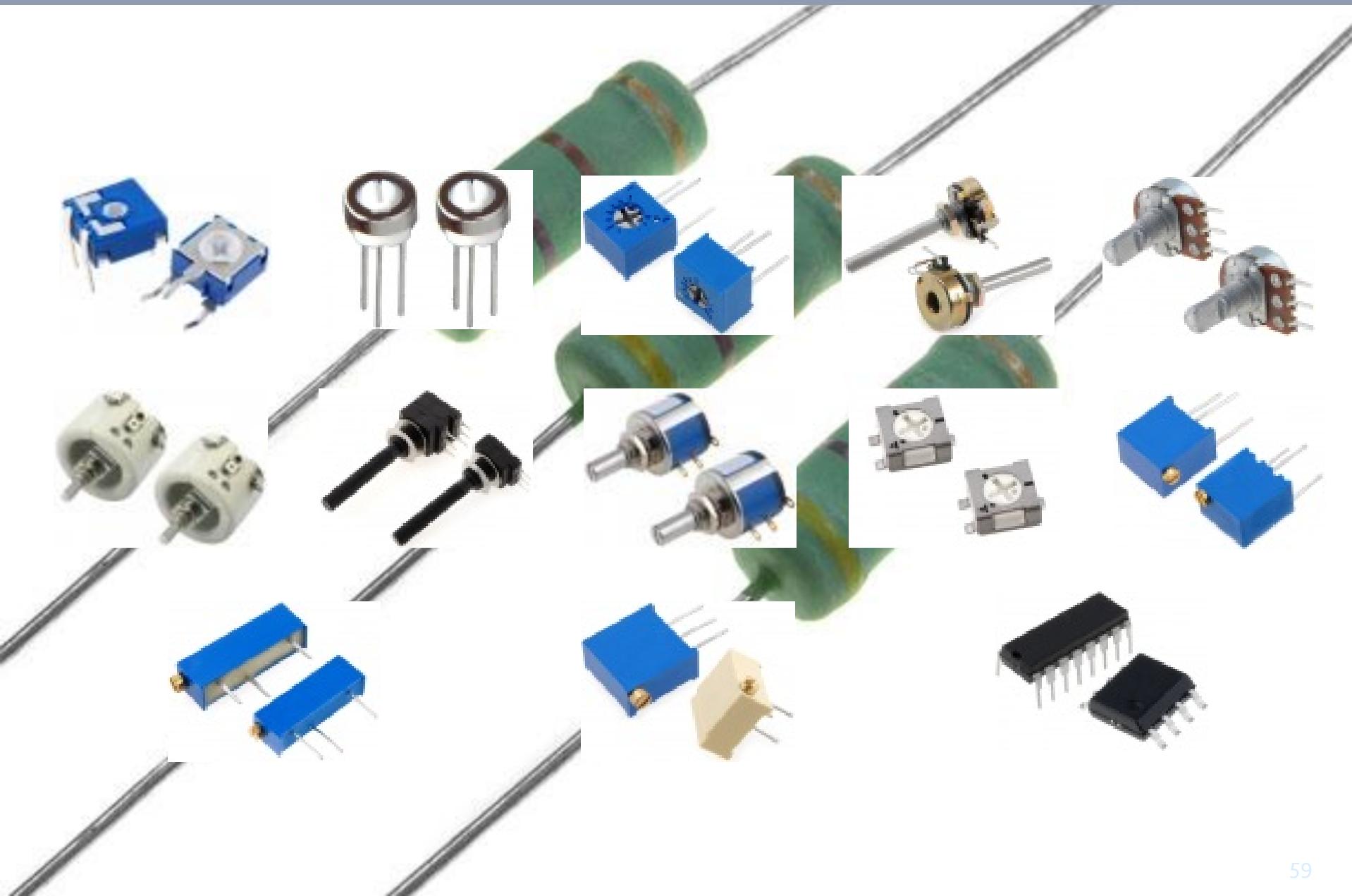
*przewodniki liniowe - przewodniki spełniające prawo Ohma (są to głównie metale)*



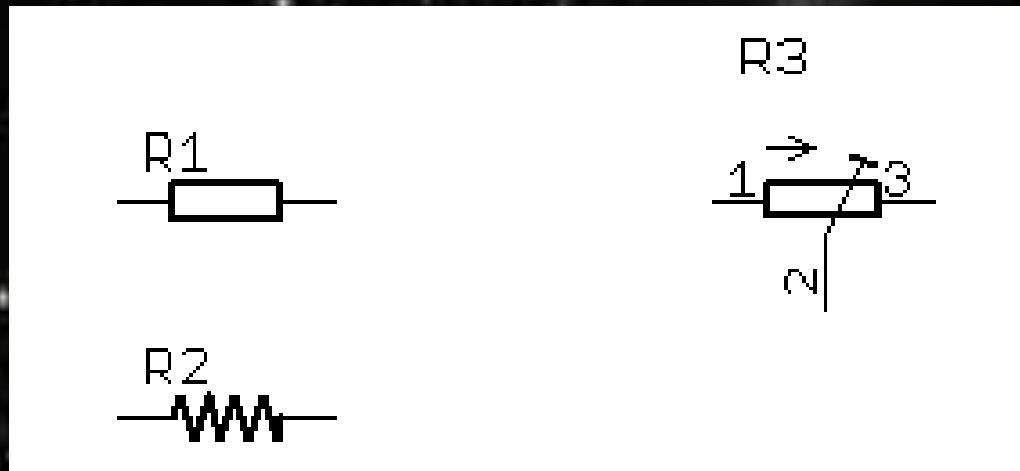
# Rezystory stałe.



# Rezystory zmienne.



# Symbole stosowane w Europie i USA.

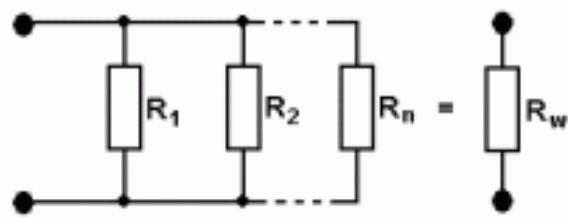


# Parametry charakteryzujące rezystory.

- **rezystancja nominalna** - rezystancja podawana przez producenta na obudowie opornika; rezystancja rzeczywista różni się od rezystancji nominalnej, jednak zawsze mieści się w podanej klasie tolerancji.
- **tolerancja** - inaczej klasa dokładności; podawana w procentach możliwa odchyłka rzeczywistej wartości opornika od jego wartości nominalnej
- **moc znamionowa** - moc jaką opornik może przez dłuższy czas wydzielać w postaci ciepła bez wpływu na jego parametry; przekroczenie tej wartości może prowadzić do zmian innych parametrów rezystora lub jego uszkodzenia,
- **napięcie graniczne** - maksymalne napięcie jakie można przyłożyć do opornika bez obawy o jego zniszczenie,
- **temperaturowy współczynnik rezystancji** - współczynnik określający zmiany rezystancji pod wpływem zmian temperatury opornika.

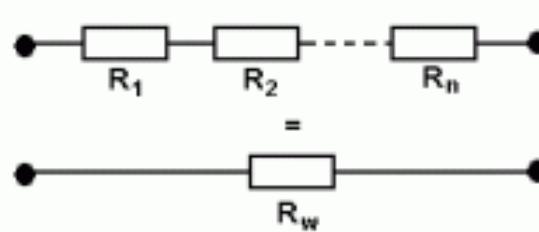
# Szeregowo i równoległe łączenie oporników.

a) Połączenie równoległe rezystorów



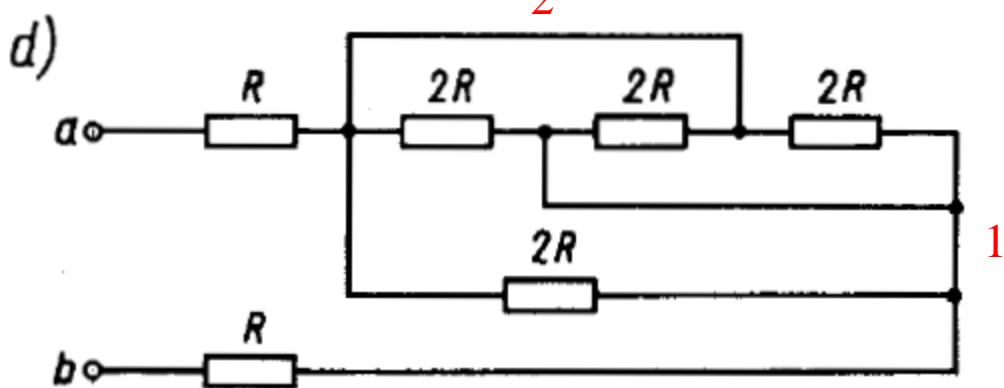
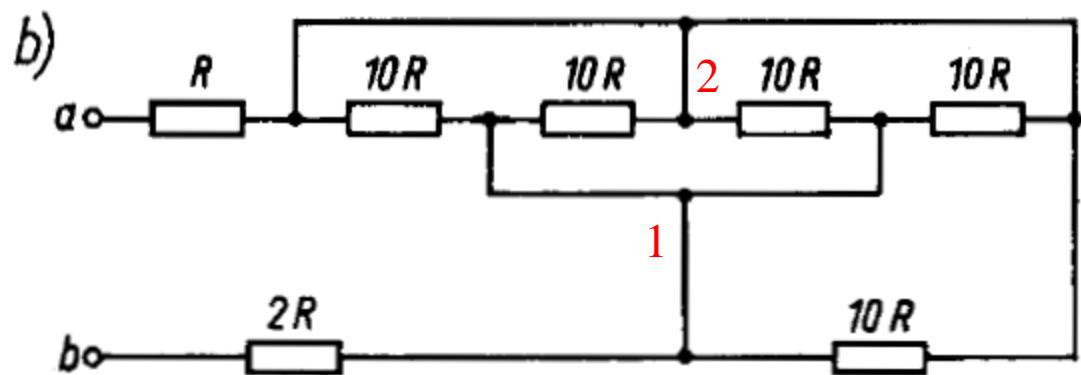
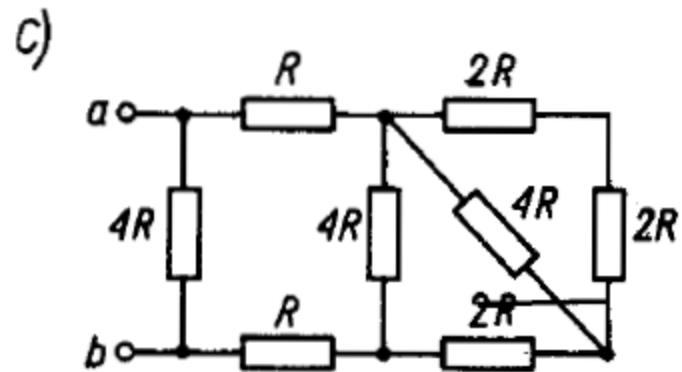
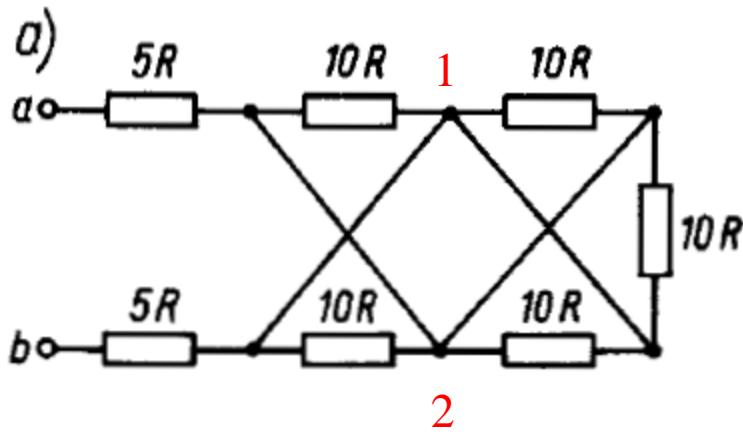
$$\frac{1}{R_w} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

b) Połączenie szeregowego rezystorów



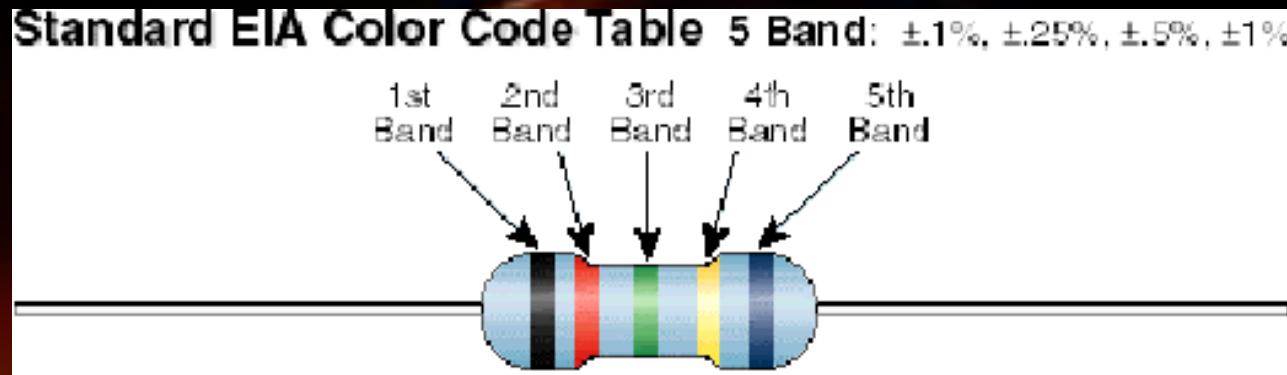
$$R_w = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Obliczyć rezystancję zastępczą widzianą od strony zacisków ab.



# Kody oznaczeń.

**Standard EIA Color Code Table 5 Band:  $\pm 1\%$ ,  $\pm .25\%$ ,  $\pm .5\%$ ,  $\pm 1\%$**



Color	1st Band (1st figure)	2nd Band (2nd figure)	3rd Band (3rd figure)	4th Band (multiplier)	5th Band (tolerance)
Black	0	0	0	$10^0$	
Brown	1	1	1	$10^1$	$\pm 1\%$
Red	2	2	2	$10^2$	
Orange	3	3	3	$10^3$	
Yellow	4	4	4	$10^4$	
Green	5	5	5	$10^5$	$\pm .5\%$
Blue	6	6	6	$10^6$	$\pm .25\%$
Violet	7	7	7	$10^7$	$\pm .1\%$
Gray	8	8	8	$10^8$	
White	9	9	9	$10^9$	
Gold				$10^{-1}$	

# Prawa Kirchhoffa.



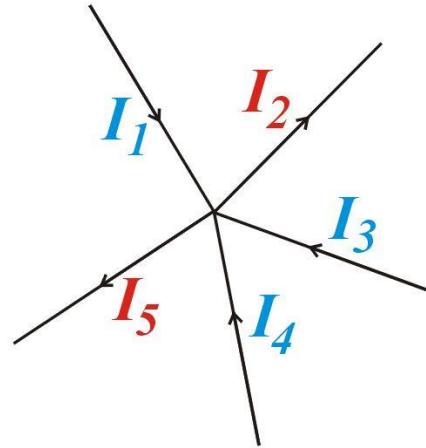
$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n = \sum_{k=1}^n I_k$$

# Prawa Kirchhoffa.

## pierwsze prawo Kirchhoffa

suma natężeń prądów wpływających do węzła równa jest sumie natężeń prądów wypływających z węzła

$$I_1 + I_3 + I_4 = I_2 + I_5$$

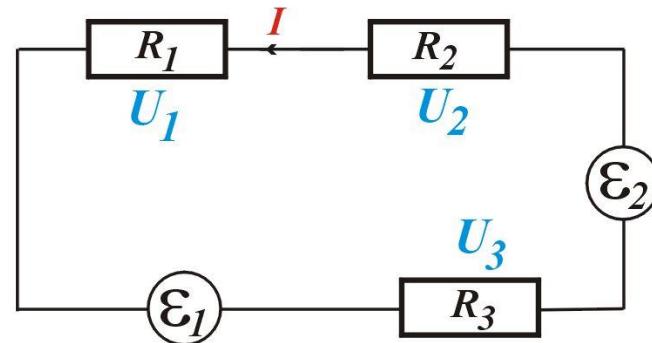


## drugie prawo Kirchhoffa

suma sił elektromotorycznych w oczku równa jest sumie spadków napięć na wszystkich oporach w tym oczku

$$\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = U_1 + U_2 + U_3$$

$$\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3$$



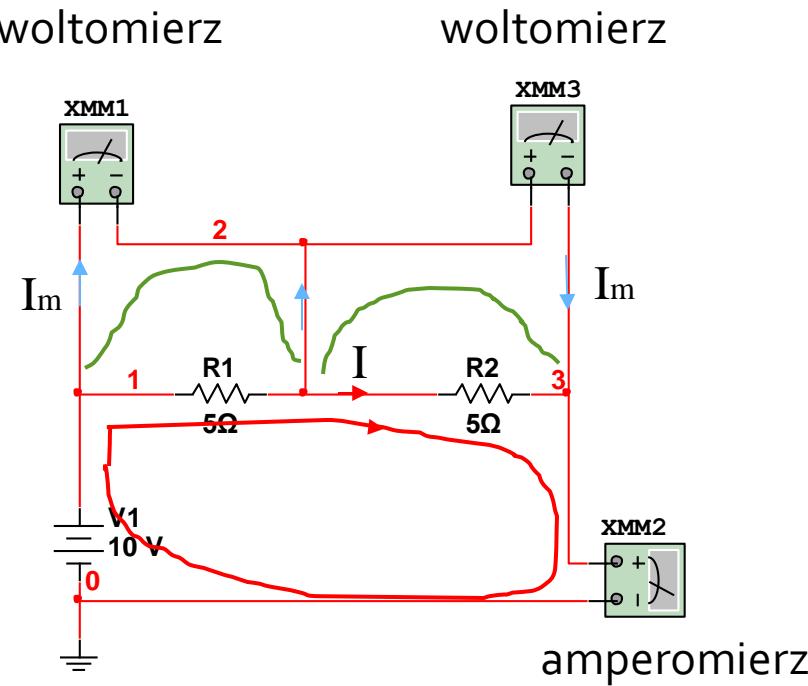
# Liniowe obwody prądu stałego.

Liniowe obwody prądu stałego są zasilane przez źródła napięcia i prądu o stałych napięciach i prądach źródłowych. Podstawowymi elementami pasywnymi są oporniki.



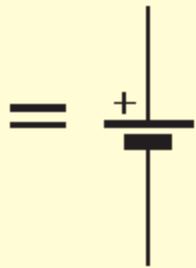
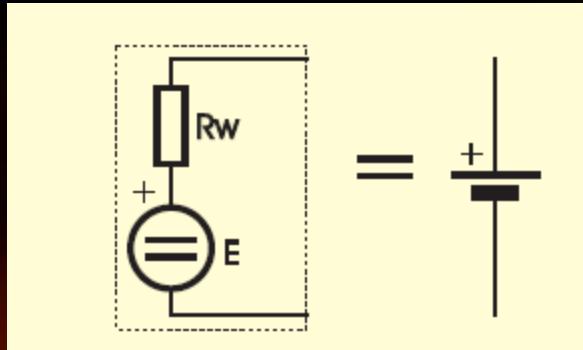


# POMIAR NAPIĘCIA I PRĄDU



Woltomierz do obwodu włączamy równolegle  
Amperomierz szeregowo  
Rezystancja wewnętrzna woltomierza powinna dążyć do  $\infty$   
Rezystancja wewnętrzna amperomierza powinna dążyć do 0

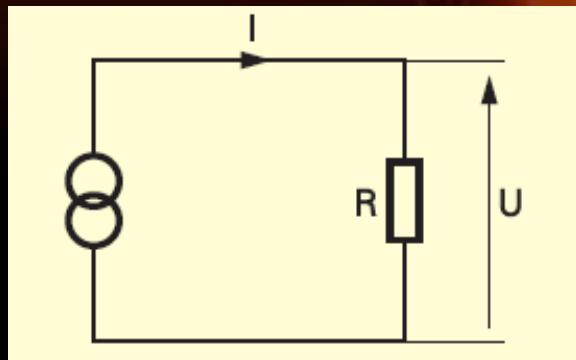
# Źródło napięcia.



Napięcie na wyjściu nie zależy od podłączonego obciążenia. Wynika z tego iż dla idealnego źródła napięcia

$$R_W=0$$

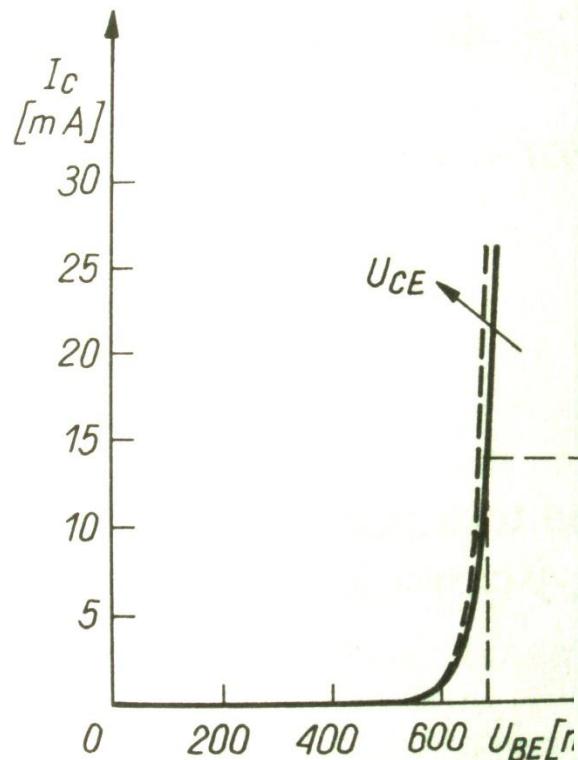
# Źródło prądu.



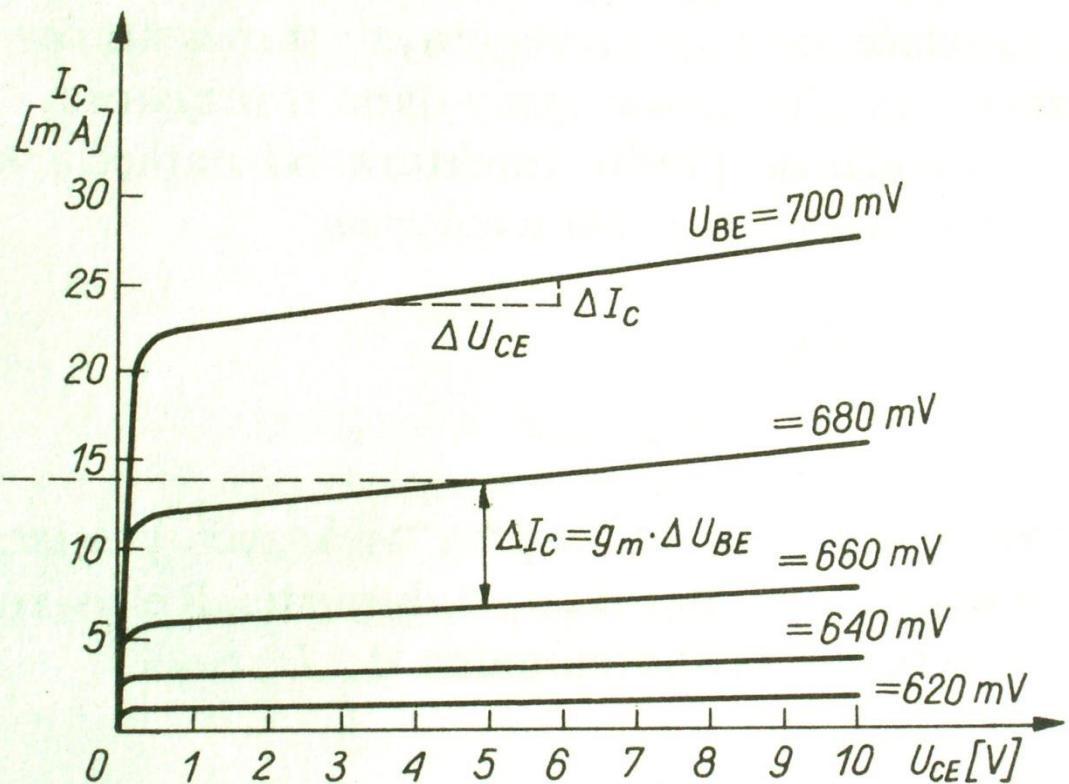
Im większy opór jest dołączony do źródła pradowego, tym większe napięcie jest wytwarzane przez źródło na tym oporze, zgodnie ze wzorem:

$$U=I \bullet R$$

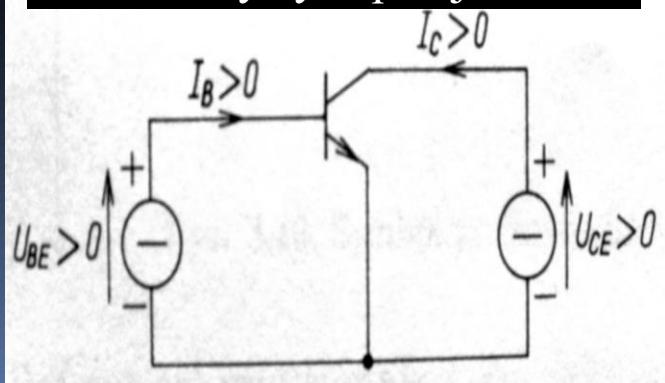
W celu zbadania właściwości tranzystora doprowadzimy napięcie wejściowe  $U_{BE}$  i zmierzymy prąd wyjściowy  $I_c$  w funkcji napięcia wyjściowego  $U_{CE}$ .



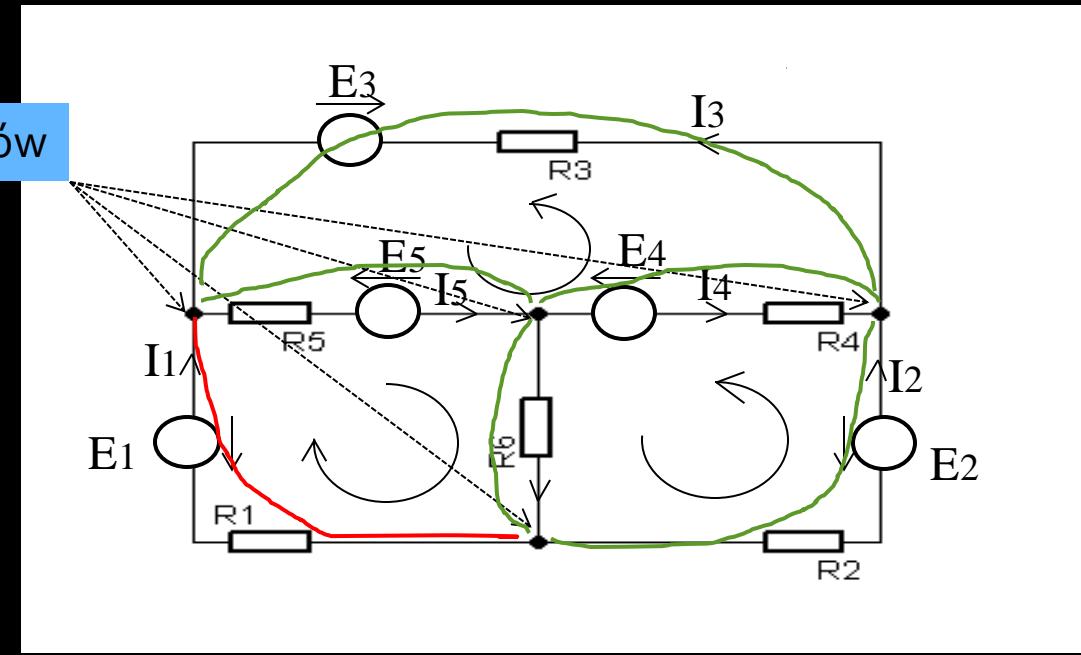
Charakterystyka przejściowa



Charakterystyka wyjściowa



# Zastosowanie praw Kirchhoffa do obliczania obwodów prądu stałego.



$\alpha$  – liczba węzłów

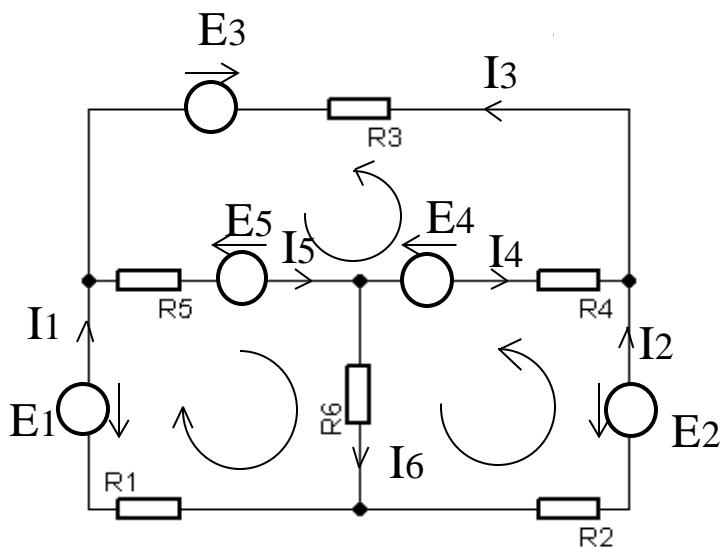
$n=6$  – liczba gałęzi

W celu otrzymania  $n$  równań układamy:

$\alpha - 1$  równań na podstawie pierwszego prawa Kirchhoffa  
a pozostałe  $n - \alpha + 1$  na podstawie II Kirchhoffa.

Gdzie:  
 $n$  - liczba gałęzi  
 $\alpha$  - liczba węzłów

# Zastosowanie praw Kirchhoffa do obliczania obwodów prądu stałego.



$$E_1=6V, E_2=30V, E_3=10V, E_4=10V, E_5=36V,$$

$$R_1=R_2=R_3=R_5=2\Omega, R_4=4\Omega, R_6=10\Omega.$$

Rozpatrywany obwód ma  $\alpha=4$  węzły i  $n=6$  gałęzi. Na podstawie I prawa układamy  $\alpha-1$  czyli 3 równania np. dla węzłów A,B,C, i n-  $\alpha+1$  czyli 3 równania na podstawie II prawa Kirchhoffa.

$$I_5 = I_1$$

$$I_3 = I_4$$

$$I_6 = I_1$$

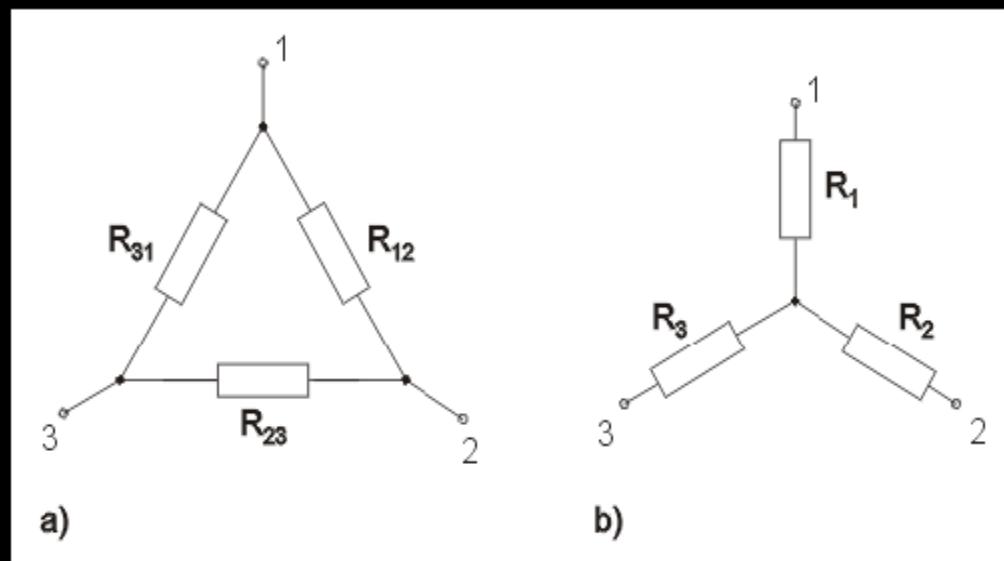
$$R_1I_1 + R_5I_5 + R_6I_6 = E_1 + E_5$$

$$R_2I_2 - R_4I_4 + R_6I_6 = E_2 - E_4$$

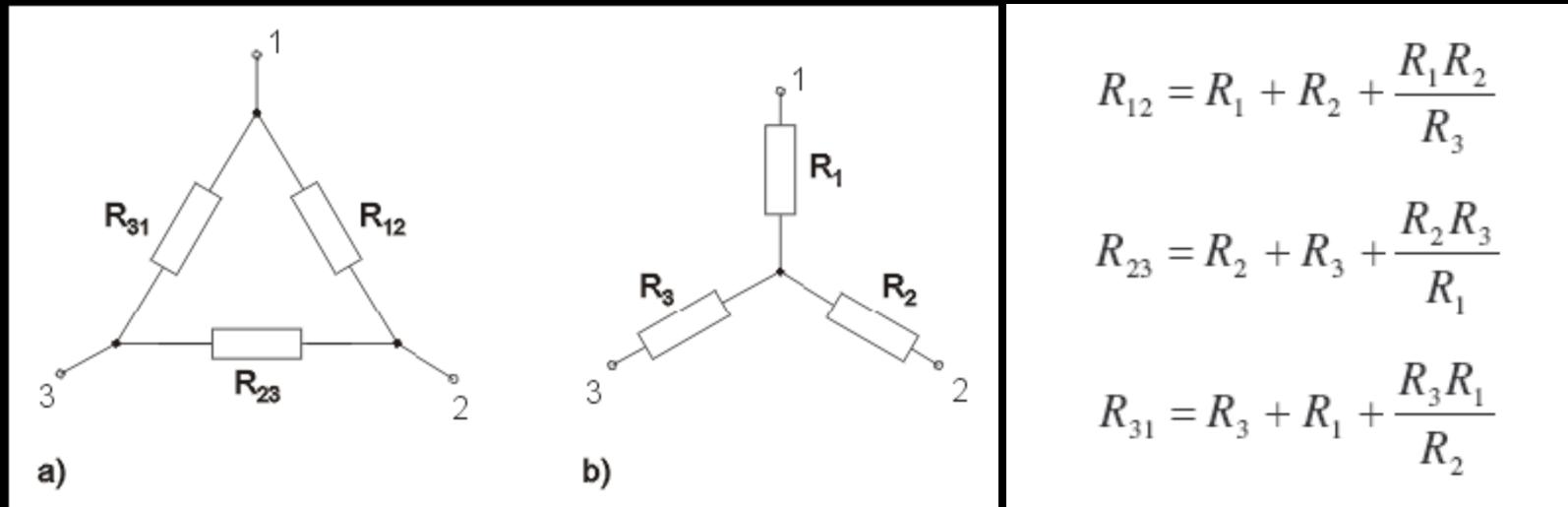
$$R_3I_3 + R_4I_4 + R_5I_5 = E_3 + E_4 + E_5$$

# Transfiguracja gwiazda-trójkąt i trójkąt-gwiazda.

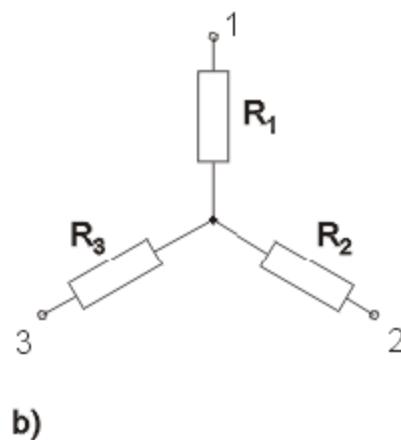
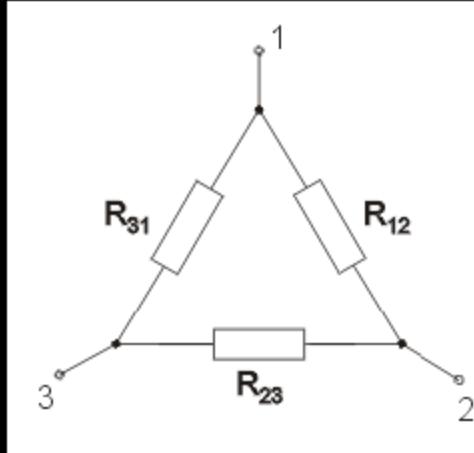
Operowanie uproszczonym schematem wynikającym z połączenia szeregowego i równoległego elementów jest najwygodniejszym sposobem redukcji obwodu. W przypadku gdy nie ma elementów połączonych szeregowo czy równolegle możliwe jest dalsze uproszczenie przez zastosowanie przekształcenia gwiazda-trójkąt lub trójkąt-gwiazda. Oznaczenia elementów obwodu trójkąta i gwiazdy są przedstawione na rys.



# Transfiguracja gwiazda-trójkąt.



# Transfiguracja trójkąt-gwiazda

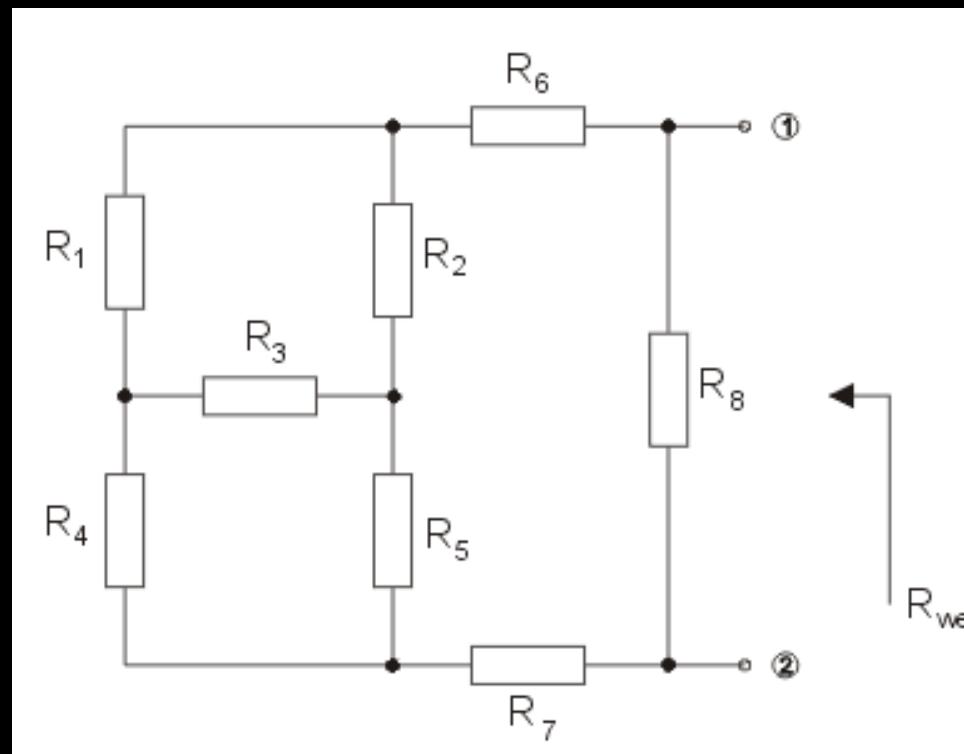


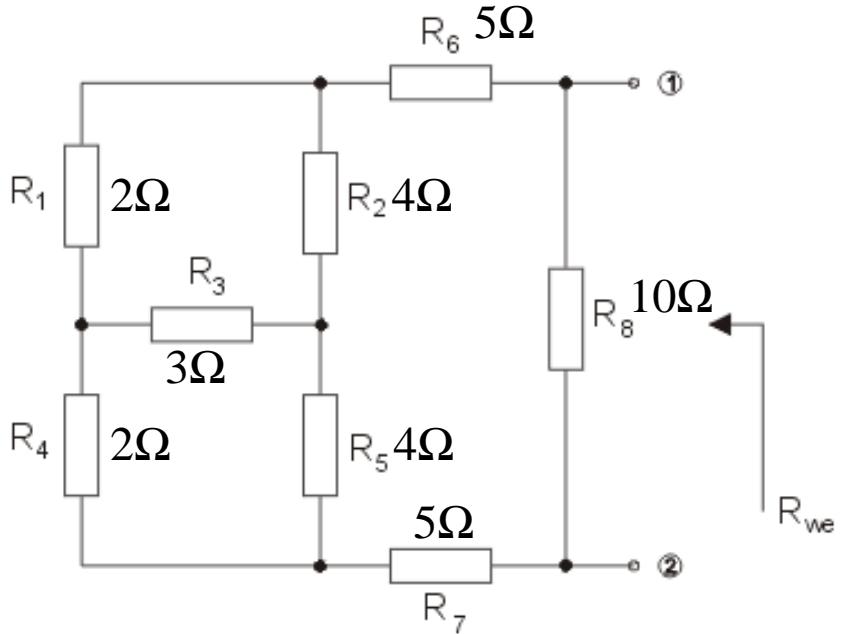
$$R_1 = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_2 = \frac{R_{23}R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

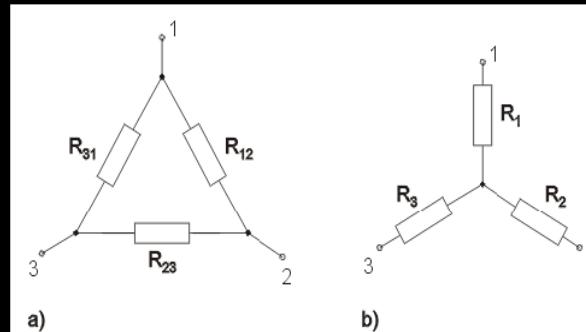
$$R_3 = \frac{R_{31}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

Określić rezystancję zastępczą obwodu przedstawionego na rys., widzianą z zacisków 1-2. Wartości rezystancji są następujące:  
 $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 4 \Omega$ ,  $R_3 = 3\Omega$ ,  $R_4 = 2 \Omega$ ,  $R_5 = 4\Omega$ ,  $R_6 = 5 \Omega$ ,  $R_7 = 5 \Omega$   
oraz  $R_8 = 10 \Omega$ .





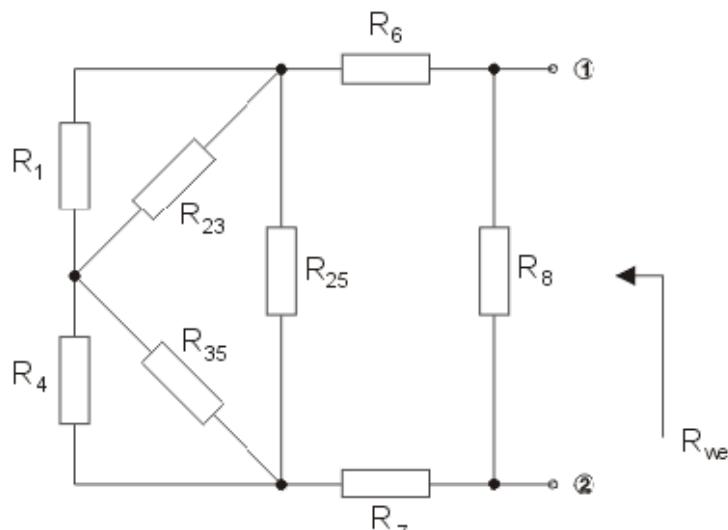
$R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 4 \Omega$ ,  $R_3 = 3 \Omega$ ,  $R_4 = 2 \Omega$ ,  $R_5 = 4 \Omega$ ,  $R_6 = 5 \Omega$ ,  $R_7 = 5 \Omega$  oraz  $R_8 = 10 \Omega$ .



$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

$$R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}$$



a)

$$R_{23} = 3 + 4 + \frac{3 \cdot 4}{4} = 10$$

$$R_{35} = 3 + 4 + \frac{3 \cdot 4}{4} = 10$$

$$R_{25} = 4 + 4 + \frac{4 \cdot 4}{3} = 13,33$$

# Kondensatory.

*kondensator - układ dwóch przewodników rozdzielonych dielektrykiem*

*symbol kondensatora:*



*pojemność kondensatora - określa zdolność kondensatora do gromadzenia ładunku*

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

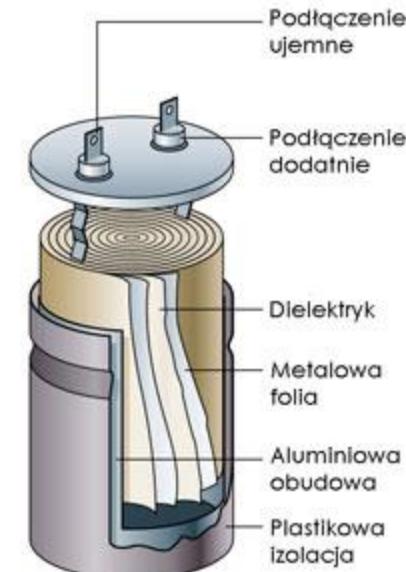
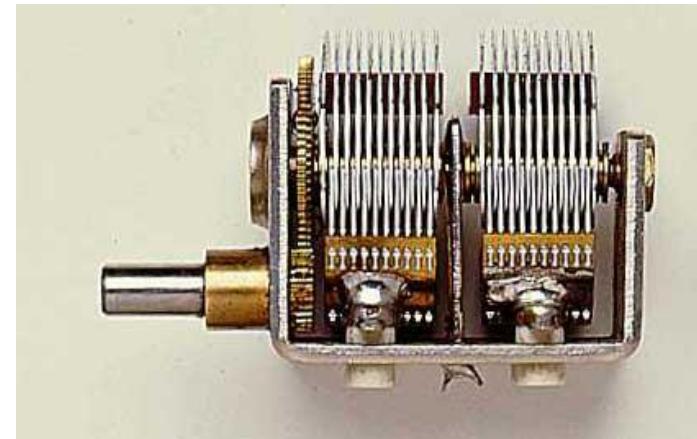
*C - pojemność  
Q - ładunek  
U - napięcie*

*jednostką pojemności jest farad*

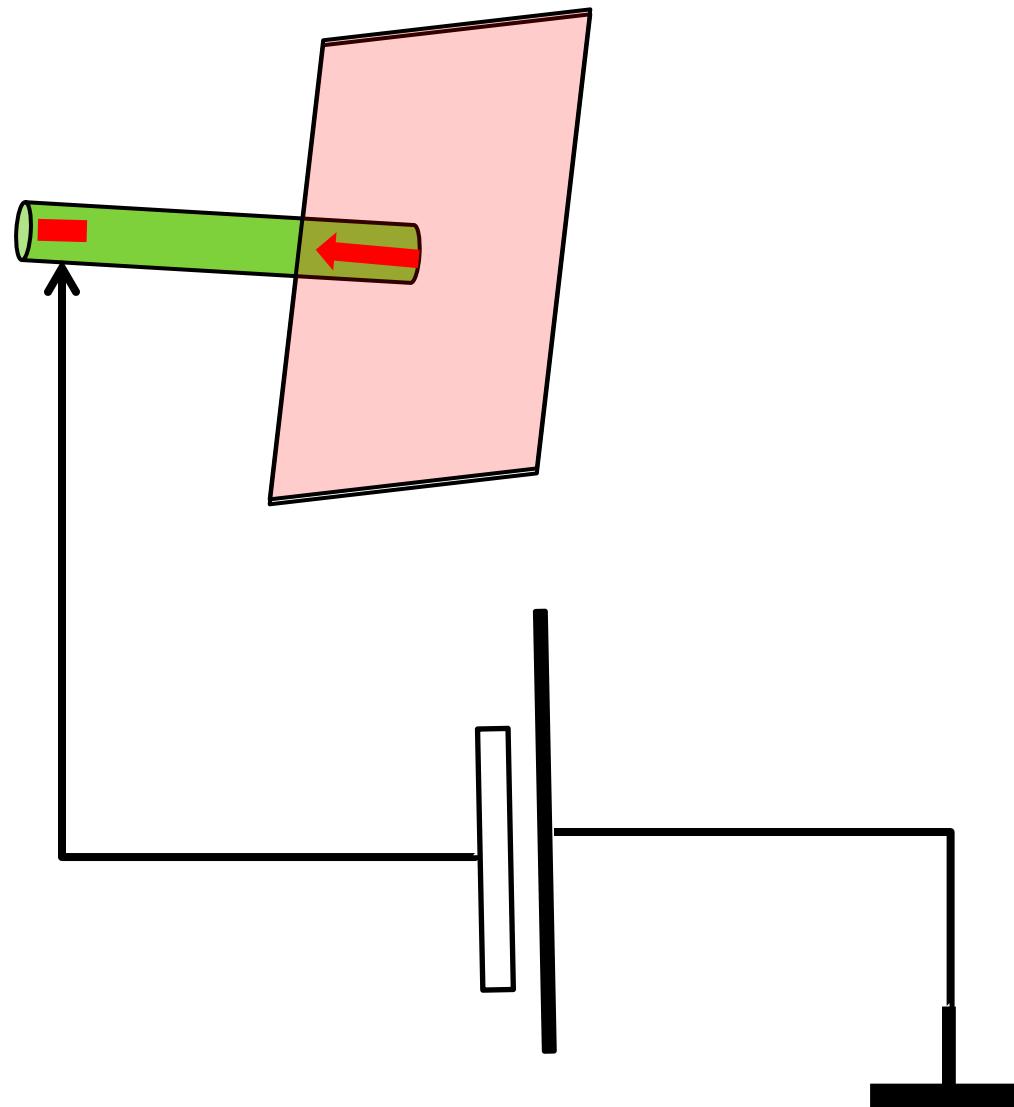
$$1F = \frac{1C}{1V}$$

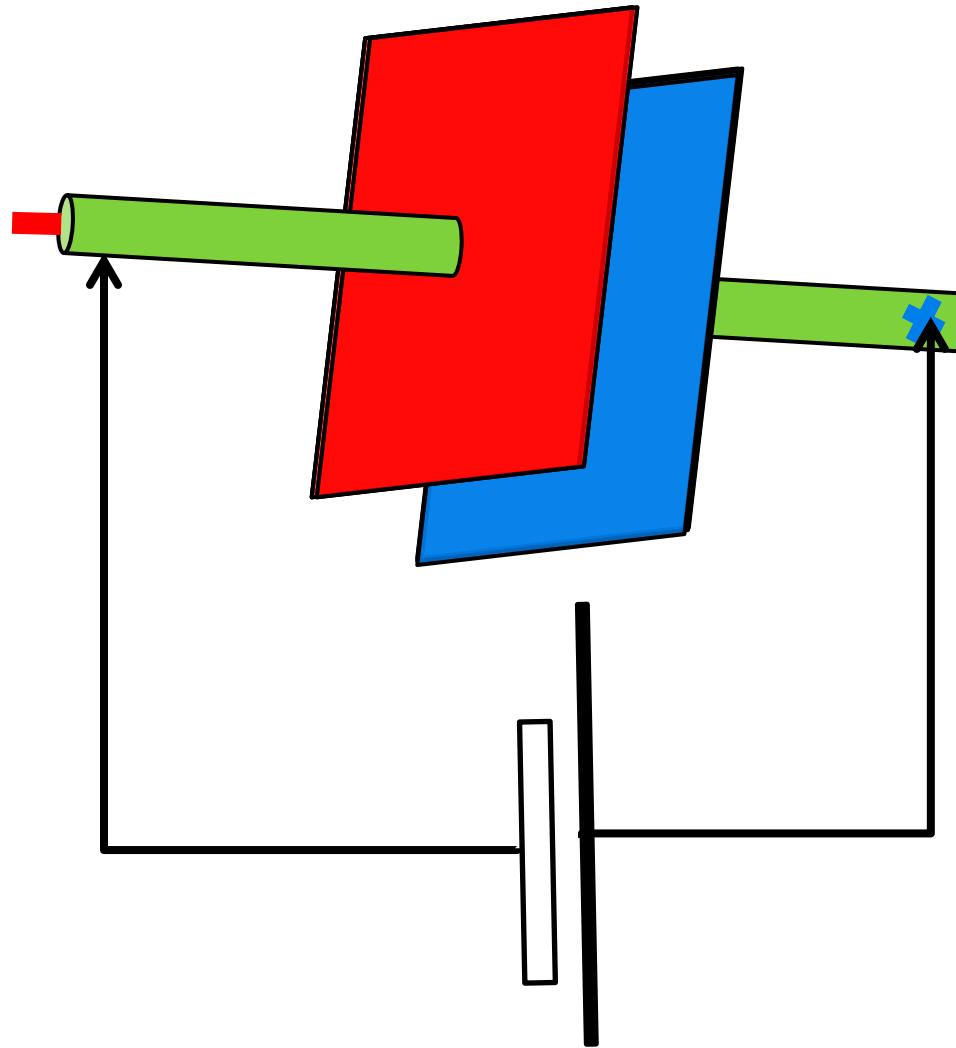
*energia zmagazynowana w kondensatorze:*

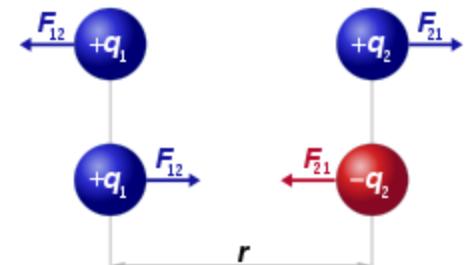
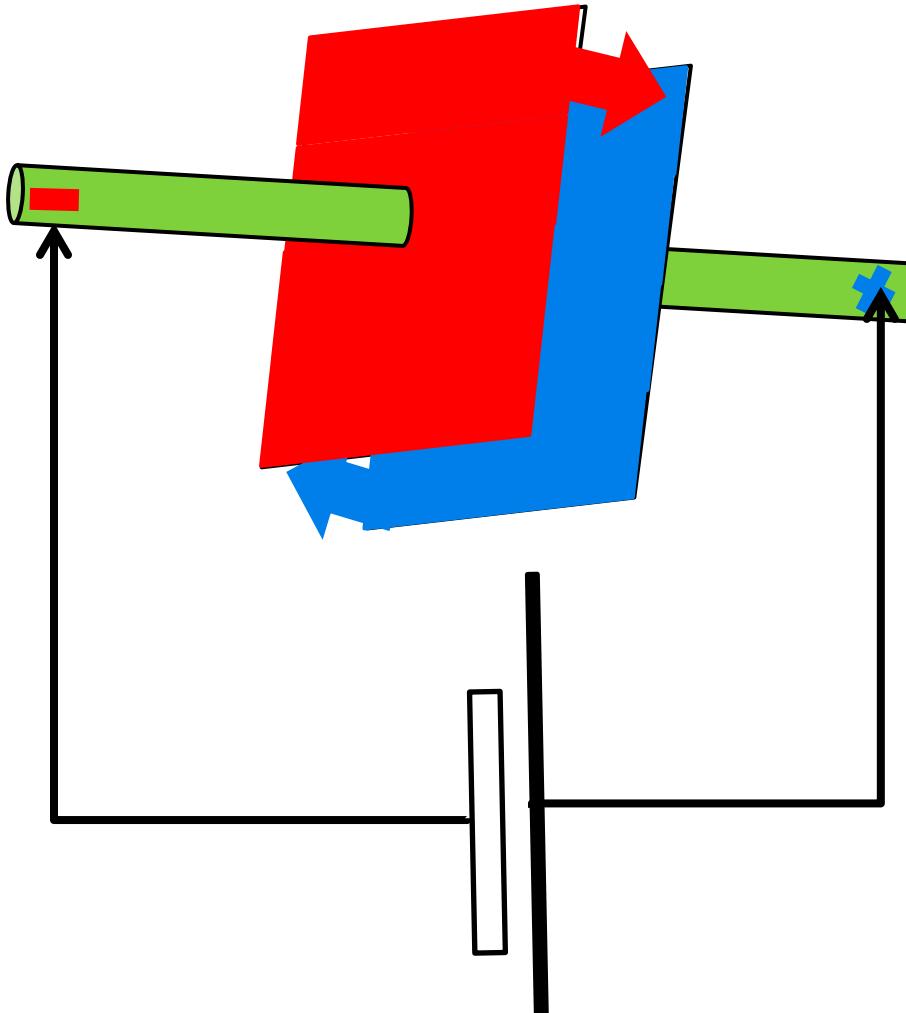
$$E = \frac{1}{2} CU^2$$



# Kondensator jak to działa.







$$F_{12} = F_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

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

# Kondensatory.

Doprowadzenie napięcia do okładek kondensatora powoduje zgromadzenie się na nich ładunku elektrycznego. Po odłączeniu od źródła napięcia, ładunki utrzymują się na okładkach siłami przyciągania elektrostatycznego. Jeżeli kondensator, jako całość, nie jest napelektryzowany to cały ładunek zgromadzony na obu okładkach jest jednakowy co do wartości, ale przeciwnego znaku. Kondensator charakteryzuje pojemność określająca zdolność kondensatora do gromadzenia ładunku.

## Pojemność kondensatora płaskiego

gdzie:

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

$S$  – powierzchnia okładek kondensatora,

$d$  – odległość między okładkami

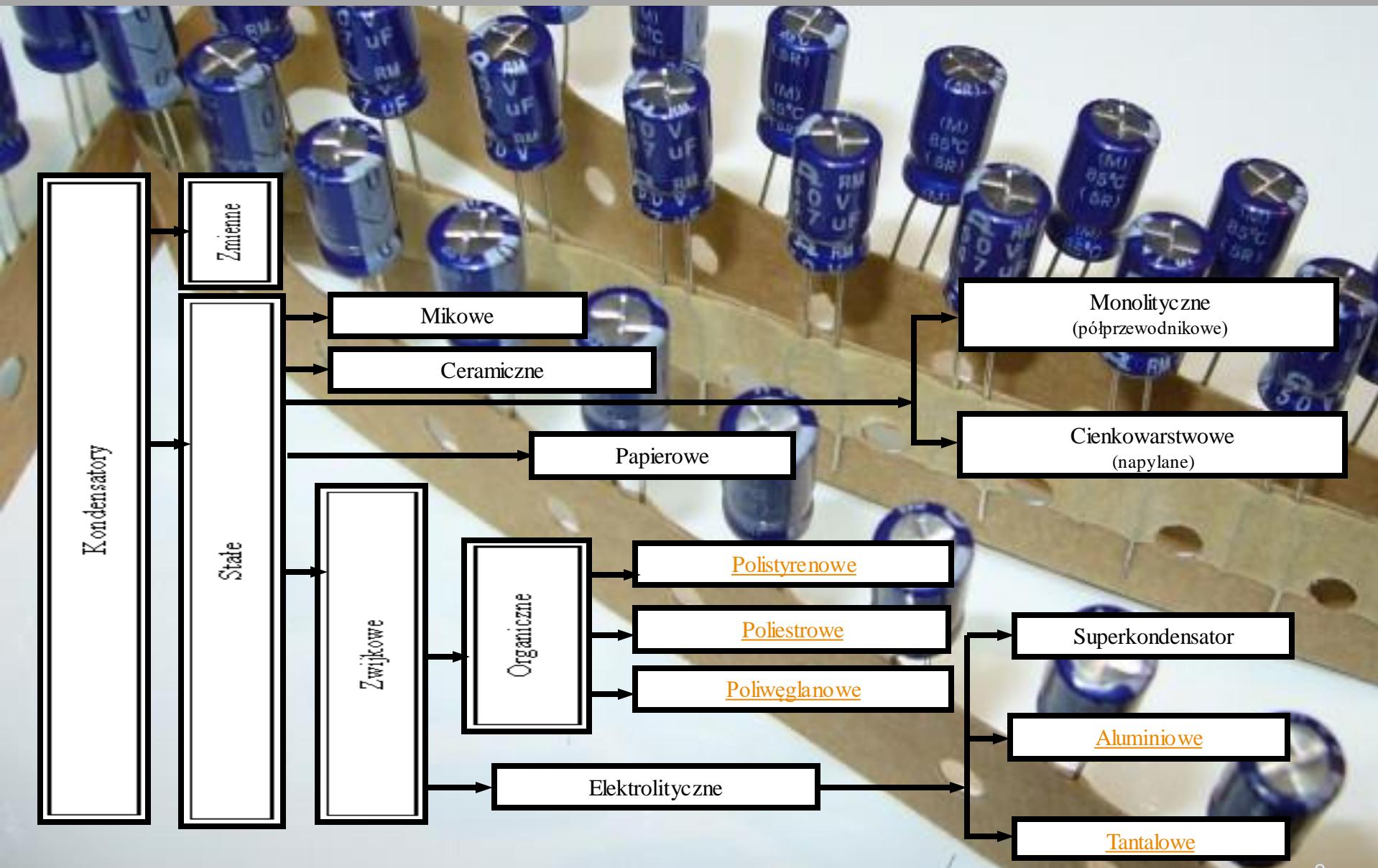
$\epsilon_0 \approx 8,85 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$  przenikalność elektryczna próżni

Przenikalność poszczególnych ośrodków często określa się poprzez bezwymiarową wartość przenikalności względnej, oznaczanej  $\epsilon_r$ . Wielkość ta wskazuje, ile razy przenikalność (bezwzględna) ośrodka jest większa od przenikalności próżni:

Jednostką pojemności w układzie SI jest FARAD.

$$1F = \frac{1C}{1V} = [1m^{-2}kg^{-1}s^4A^2]$$

# Kondensatory podział.



# Kondensatory ceramiczne.

Kondensatory ceramiczne dzielą się na trzy rodzaje.

## *Typ 1*



Ten typ kondensatorów ceramicznych produkowany jest z użyciem dielektryka o przenikalności względnej w granicach 10...600. Kondensatory te charakteryzują się małymi stratami i są produkowane ze ścisłe określonym współczynnikiem temperaturowym w zakresie  $-1500...+150\text{ppm/K}$ . Umożliwia to łatwą kompensację temperaturową obwodów rezonansowych. Typ 1 kondensatorów ceramicznych to najlepsze z popularnych kondensatorów, ale produkowane są tylko w niewielkim zakresie pojemności

## *Typ 2 (ferroelektryczne)*

Kondensatory ferroelektryczne mają znaczną pojemność przy niewielkich rozmiarach. Niestety okupione jest to pogorszeniem parametrów kondensatora. Duża zależność pojemności od częstotliwości powoduje, że kondensatory te nie nadają się do precyzyjnych obwodów rezonansowych. Doskonale sprawdzają się w obwodach od odsprzęgania zasilania, sprzęgania poszczególnych stopni itp. Dodatkowo zachęcająca jest ich niska cena

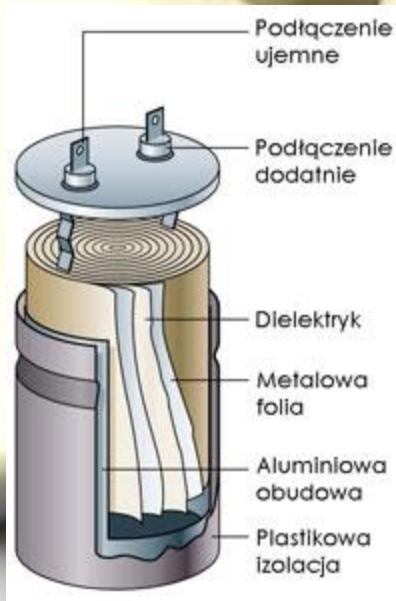
## *Typ 3 (półprzewodnikowe)*

Kondensatory ceramiczna tzw. półprzewodnikowe są właściwościami podobne do ferroelektrycznych, tyle że mają jeszcze mniejsze gabaryty. Zmniejszenie gabarytów uzyskana dzięki specjalnej budowie opartej na porowatym spieku, podobnym do tego w kondensatorach tantalowych.

# Zwijkowe

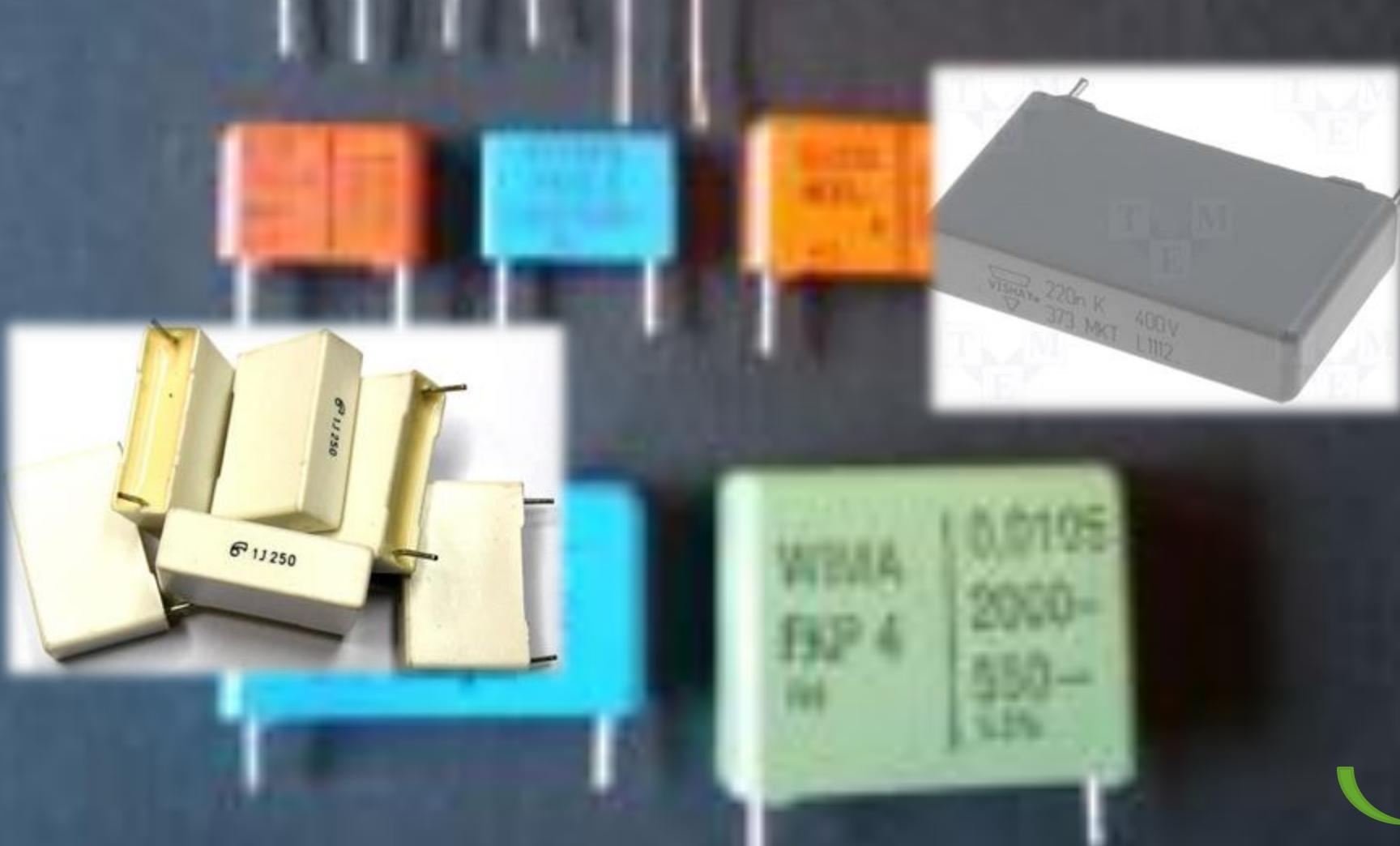
## Budowa

Klasyczne kondensatory foliowe to dwie wstęgi folii aluminiowej przedzielone dielektrykiem - folią z tworzywa sztucznego. Większość spotykanych na rynku kondensatorów foliowych ma jednak inną budowę - są to tak zwane kondensatory metalizowane. Okładziny stanowi cienutka warstwa metalu (aluminium) naniesiona próżniowo na jedną lub obie strony folii z tworzywa. Kondensatory metalizowane można łatwo odróżnić, ponieważ mają w oznaczeniu literkę M - np. krajowe MKSE, KMP, KFMP, MKSP, czy zagraniczne MKT, MKP, MKC. Jako dielektryk stosuje się folię wykonaną z różnych materiałów i od tego materiału zależą właściwości produkowanych kondensatorów.



# Kondensatory poliestrowe.

Kondensatory poliestrowe - krajowe oznaczenie MKSE, europejskie - MKT, stosowane są powszechnie w sprzęcie elektronicznym w zakresie małych i średnich częstotliwości. Pojemność kondensatorów poliestrowych zależy od częstotliwości i temperatury.



# Poliwęglanowe.

Kondensatory poliwęglanowe oznaczane (Europa) MKC mają pięciokrotnie mniejszą niż w przypadku MKT zależność pojemności od częstotliwości oraz mała zależność pojemności od temperatury (1% w zakresie -20...70'C)

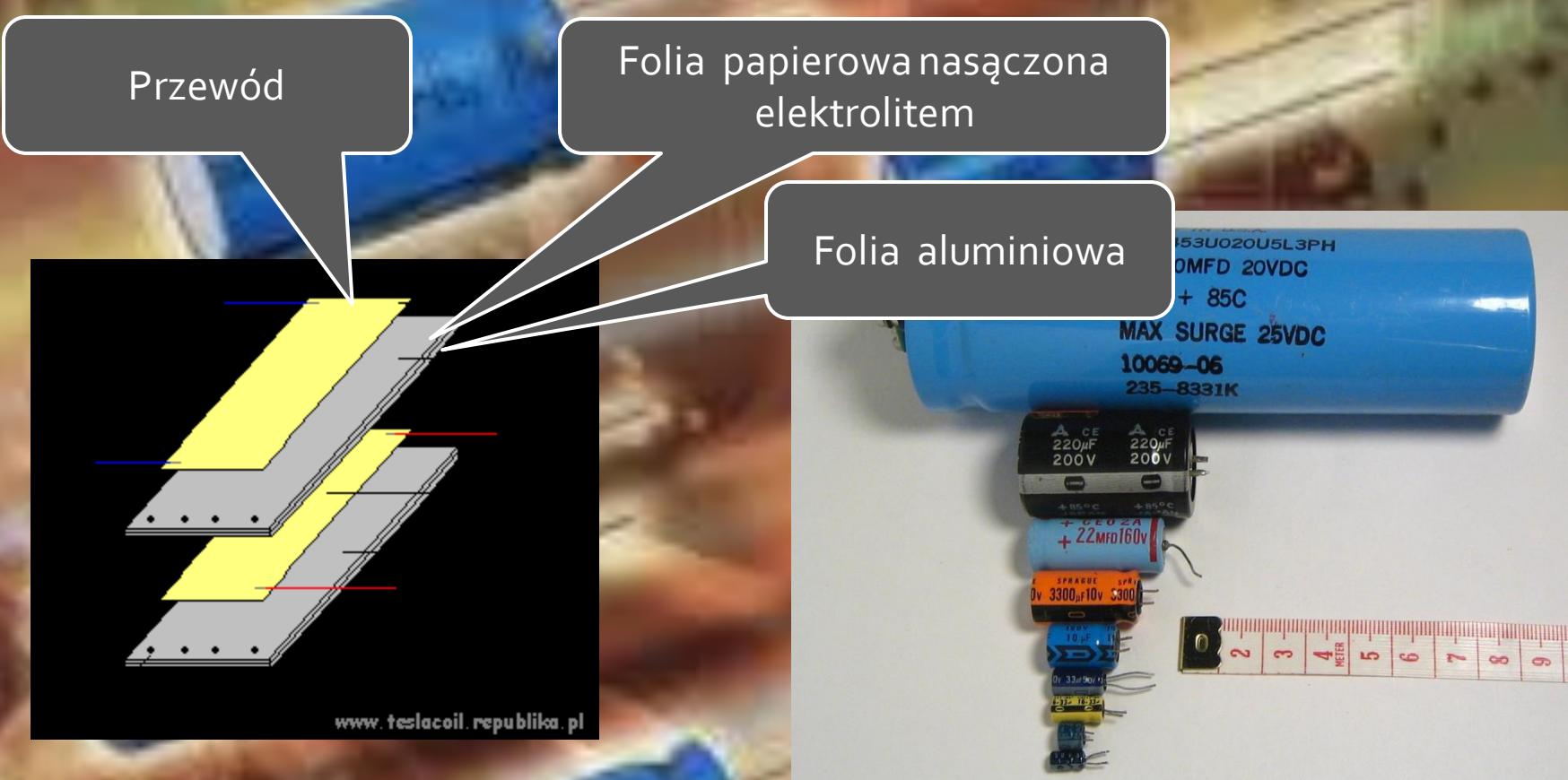


# Polistyrenowe (styrofleksowe)

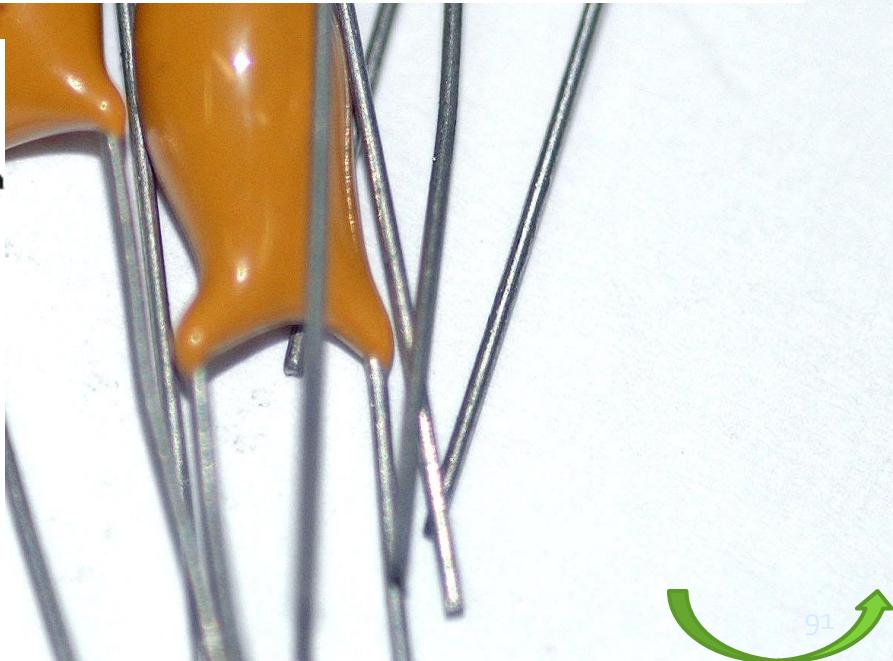
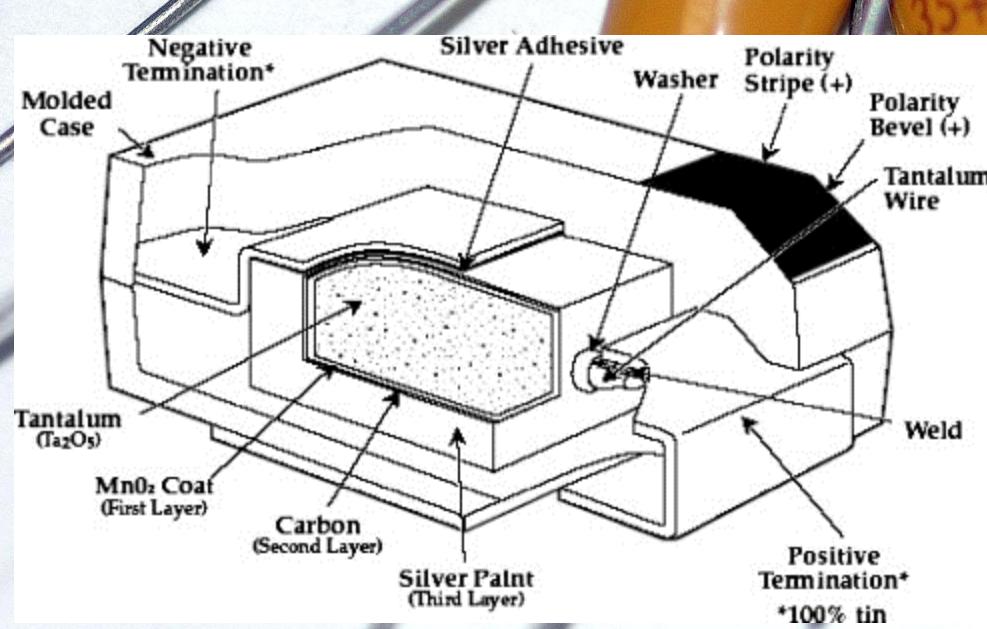
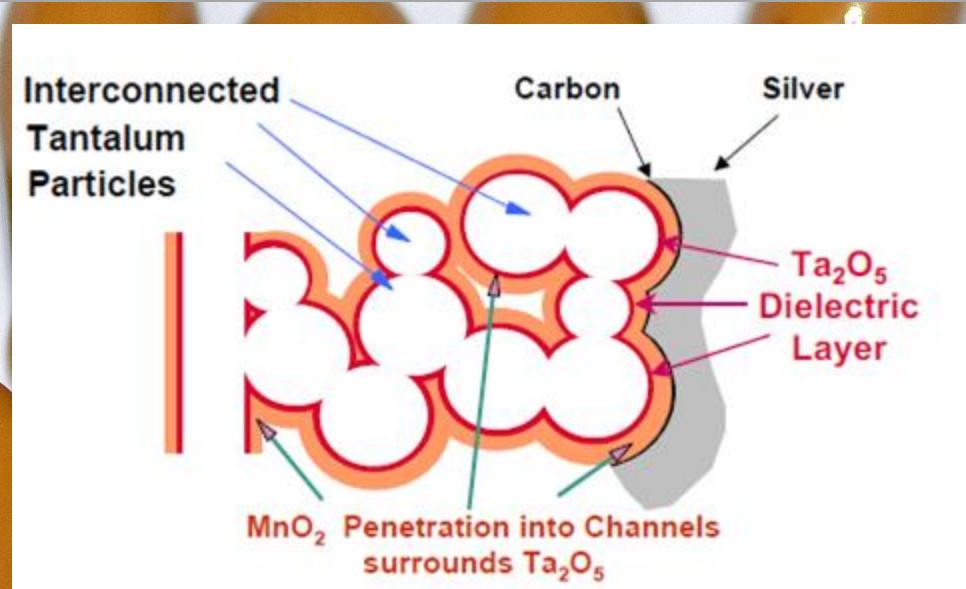
Kondensatory polistyrenowe w kraju mają oznaczenie KSF, w Europie - KS. Są one najbardziej stabilne spośród popularnych kondensatorów foliowych. Pojemność styrofleksów praktycznie nie zależy od częstotliwości, co wśród kondensatorów foliowych jest wyjątkiem. Pojemność niewiele zmienia się z czasem. Kondensatory te mają niewielki ujemny współczynnik temperaturowy około  $-130\text{ppm/K}$  i niewielką zależność od wilgotności otaczającego powietrza. Straty dielektryczne są małe. W związku z dobrymi parametrami, tylko te kondensatory są wykonywane z wąską tolerancją, nawet 0,5%. Ujemny współczynnik temperaturowy kondensatorów kompensuje zmiany temperaturowe ferrytowych cewek, więc stosuje się je np. w telekomunikacyjnych filtrach LC.



# Aluminiowe (elektrolityczne).

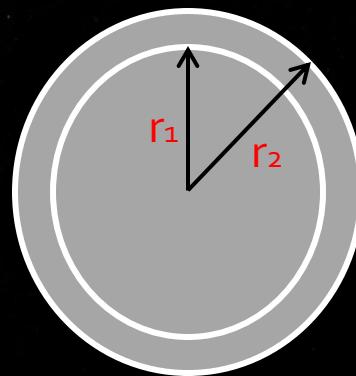


# Tantalowe.



# Kondensatory sferyczny.

$$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1}$$



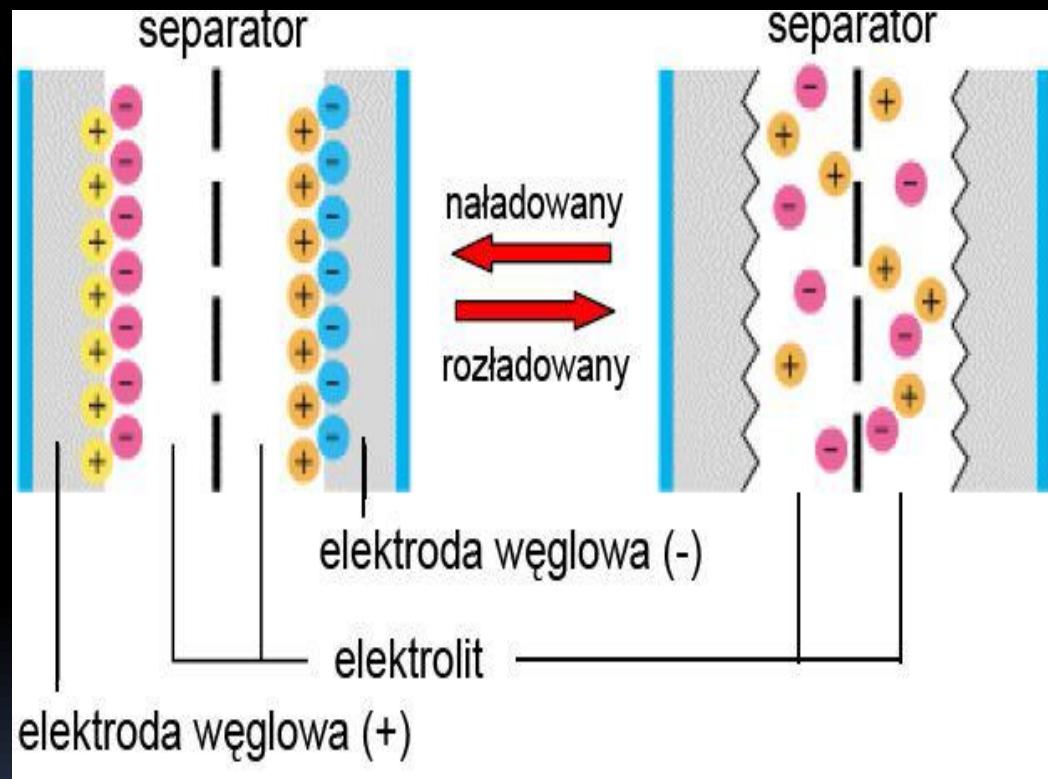
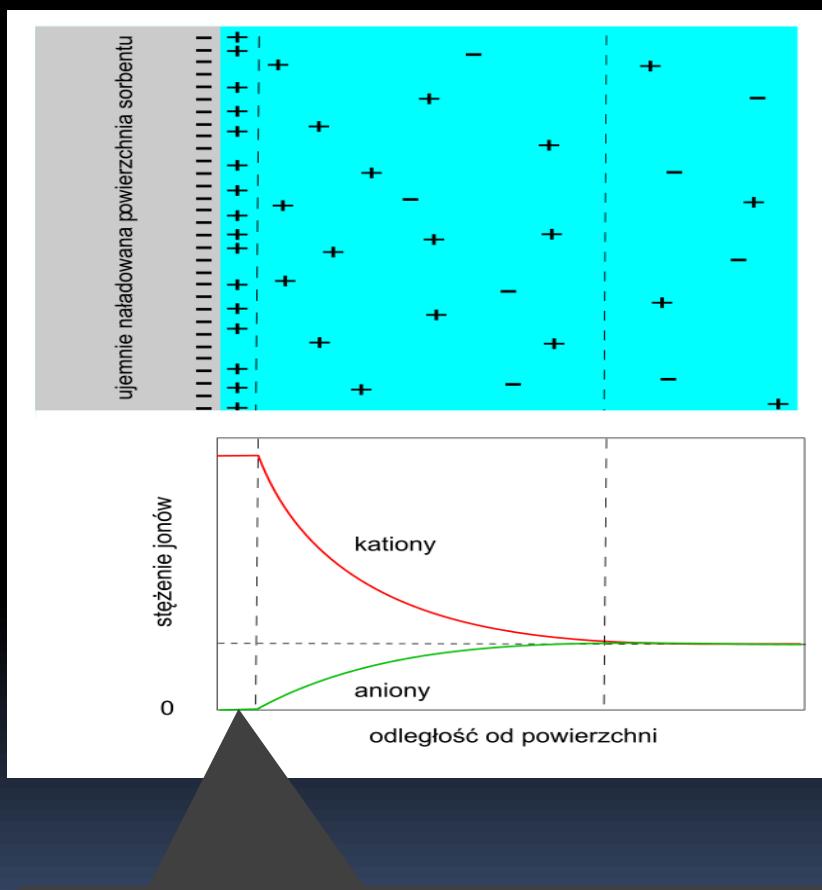
Z wyrażenia tego widać, że gdy  $r_2 \rightarrow \infty$ , pojemność kondensatora kulistego, inaczej mówiąc pojemność przewodnika będącego kulą jest równa:

$$C = 4\pi\epsilon_0 \cdot r_1$$



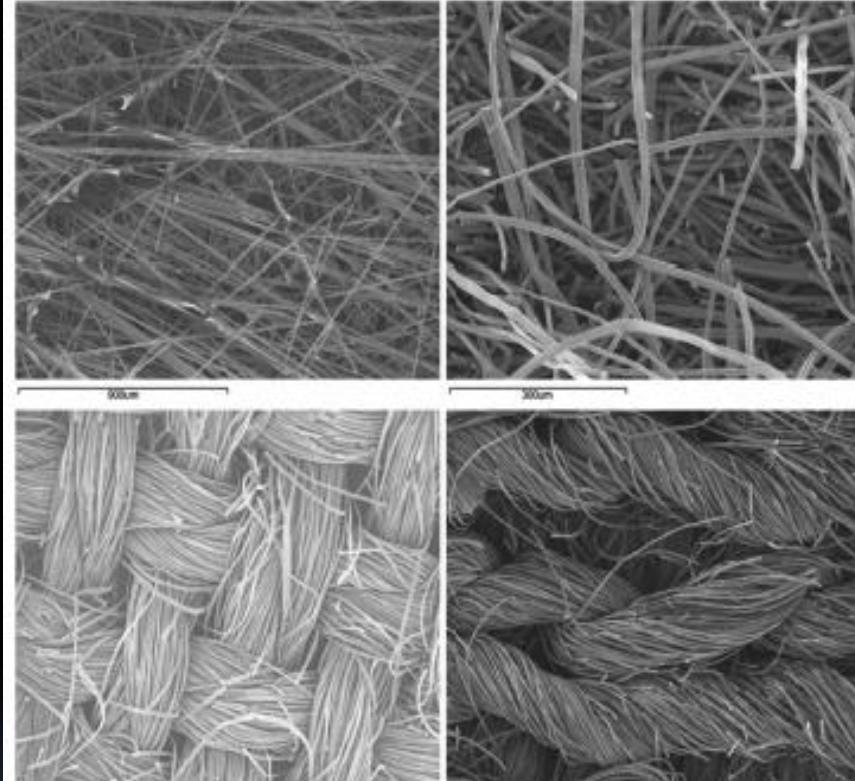
Pojemność kuli ziemskiej,  $R \sim 6400$  km,  $C = 710 \mu F$ , a kula o pojemności 1F miała by promień 9 milionów km, gdy promień słońca wynosi 695 500 km.

Zasada działania superkondensatora opiera się na wykorzystaniu zjawiska podwójnej warstwy Helmholtza, która stanowi obszar na granicy dwóch faz odznaczający się statystycznie nierównomiernym rozmieszczeniem elektronów lub jonów w obu fazach. Wykorzystanie tego zjawiska pozwala osiągnąć dużą powierzchnię styku materiał + elektrolit, a to umożliwia osiągnięcie pojemności 2000 F/g.

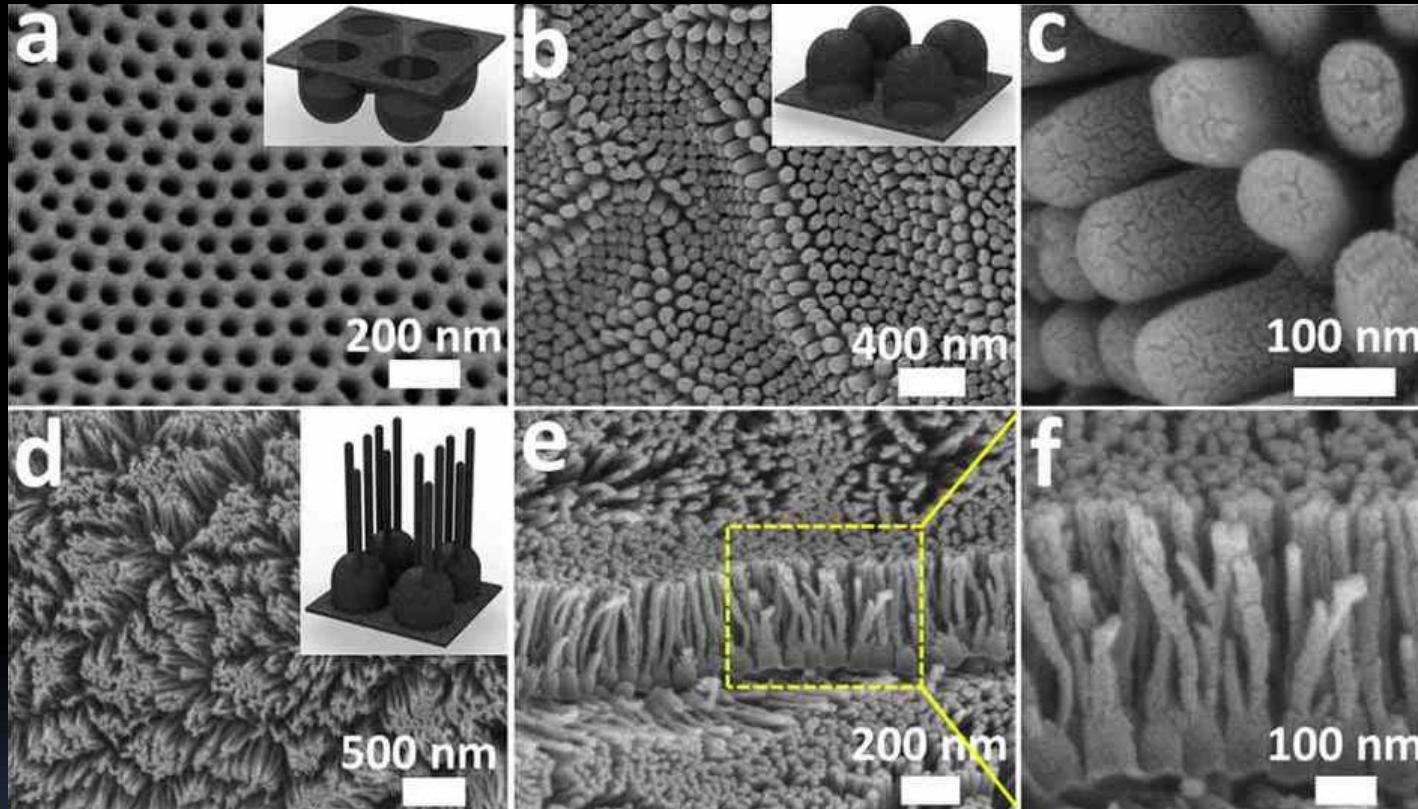


Szerokość warstwy ładunku wynosi  
poniżej 1nm

# Elektrody węglowe



# Elektrody węglowe

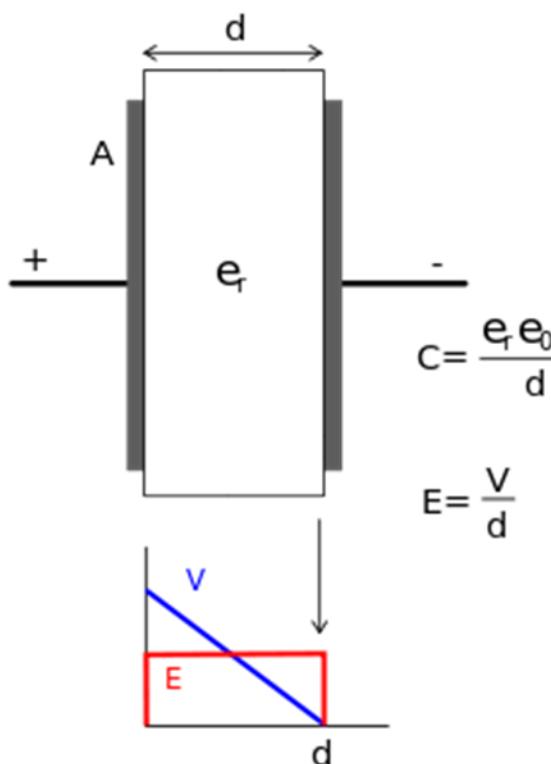


# Superkondensator.

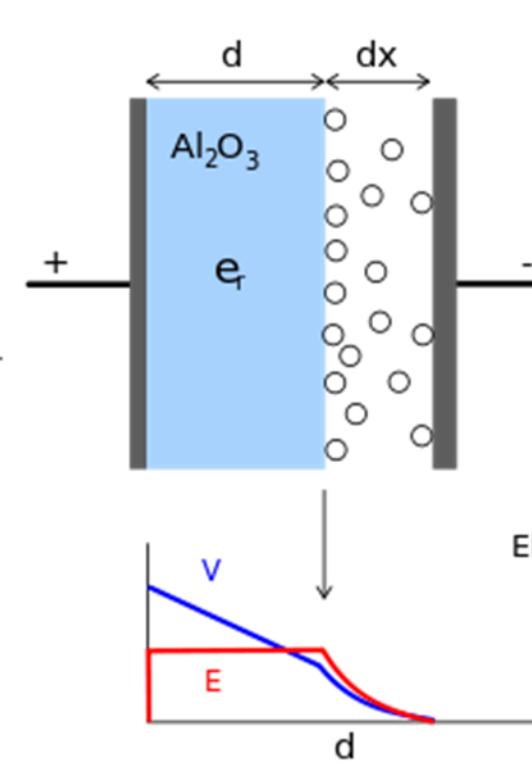
Technologia superkondensatorów jest oparta na wykorzystaniu węgli aktywnych, grafenu lub węglowych aerożeli. Węgle aktywne wykazują dobre właściwości porowate, nawet do  $2500 \text{ m}^2/\text{g}$  z tego powodu wykorzystane są do konstrukcji elektrod o dużej powierzchni właściwej. Produkowane są zestawy złożone z połączonych szeregowo superkondensatorów na różne napięcia znamionowe od 14 V do 700 V, dlatego znajdują szerokie zastosowanie w energetyce.

## PORÓWNANIE TECHNOLOGII WYKONANIA

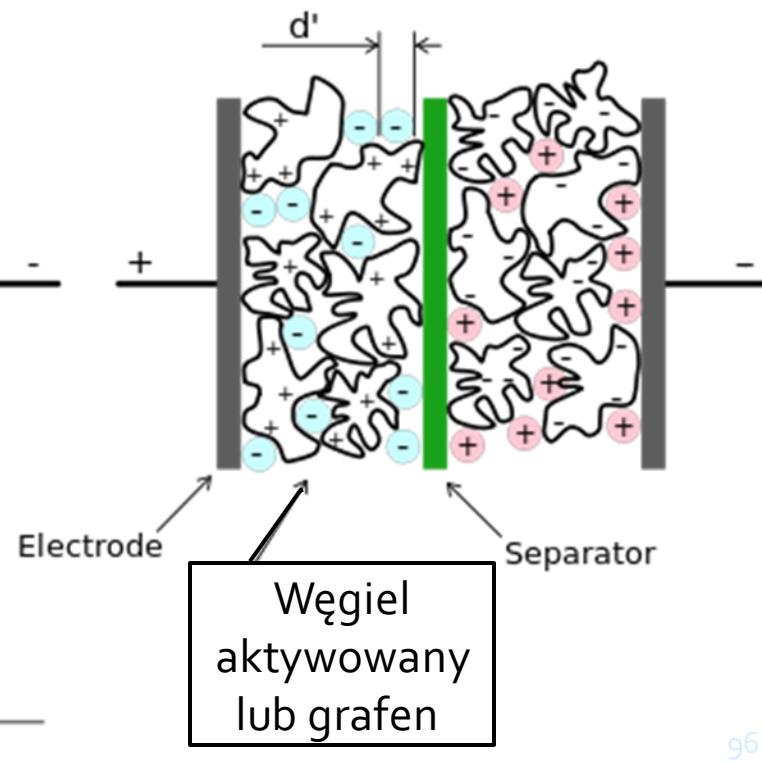
ELEKTROSTATYCZNY



ELEKTROLITYCZNY



SUPERKONDENSATOR



# Superkondensator.

## Zalety.

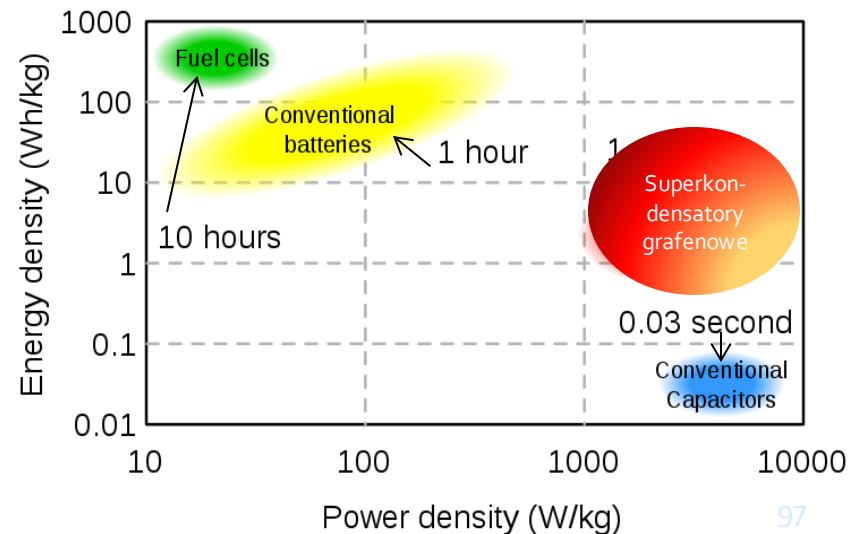
- Bardzo duża szybkość ładowania/rozładowania (w porównaniu do baterii i akumulatorów).
- Niewielka degradacja właściwości przy wielokrotnym rozładowaniu i ładowaniu (nawet do miliona cykli).
- Duża sprawność cyklu (95% i więcej).
- Niewielka toksyczność użytych materiałów.
- Szeroki zakres temperatury pracy od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+60^{\circ}\text{C}$ .
- Niski koszt na jednostkę pojemności.
- Nie wymagają konserwacji.
- Bezobsługowe.
- Brak określonej bieguności – nie wymagają żadnych procedur formowania
- Niskie koszty eksploatacyjne.
- Można je bez szkody rozładować do zera.

## Wady.

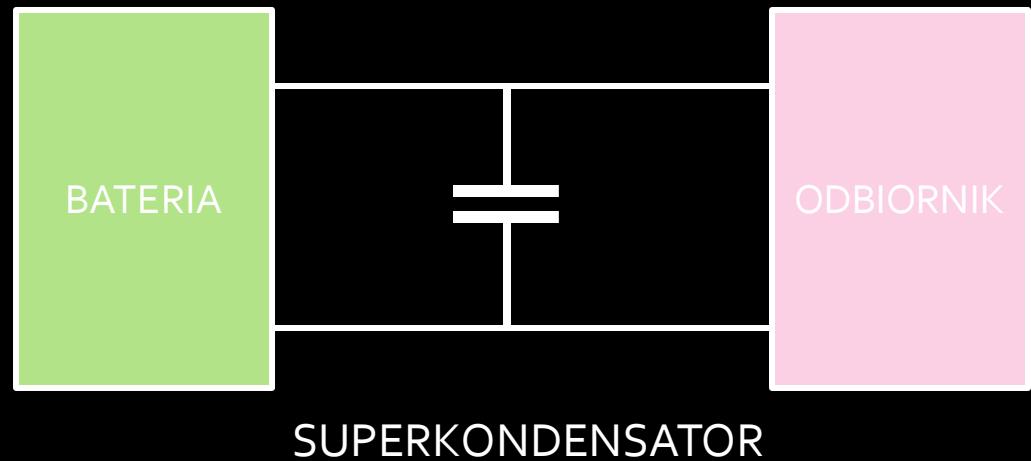
- Ilość zgromadzonej energii na jednostkę masy urządzenia jest ciągle o rząd wielkości niższa (5 Wh/kg) niż dla źródeł chemicznych (40 Wh/kg).
- Zmienna wartość napięcia na zaciskach superkondensatora (napięcie spada wykładniczo przy rozładowaniu). W celu efektywnego wykorzystania energii niezbędne są skomplikowane układy energoelektroniczne.
- Małe dopuszczalne napięcie pracy 2-3 V.
- Szybsze samorozładowanie (w porównaniu do baterii i akumulatorów)



Wykres Ragone'a pokazujący gęstość energii w funkcji gęstości mocy dla różnych urządzeń.



1. Superkondensator dostarcza zmagazynowaną energię w momencie zwiększonego obciążenia,
2. Czas pracy baterii może być przedłużony nawet pięciokrotnie,
3. Możliwość rekuperacji energii hamowania.



#### BATERIE:

- + bardzo duża gęstość energii,
- niska żywotność,
- niska moc impulsowa.

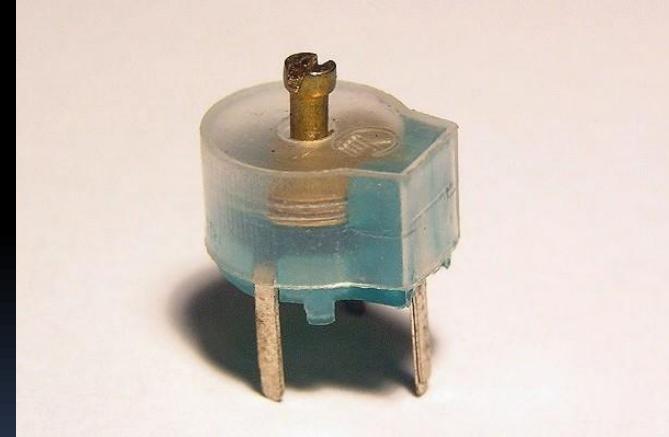
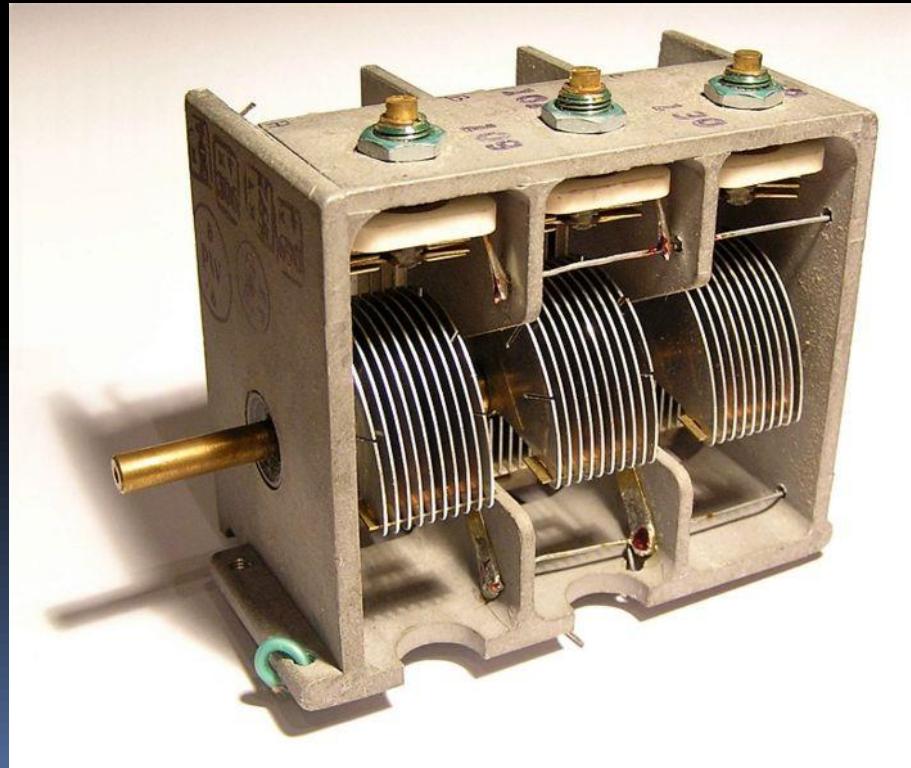
#### SUPERKONDENSATORY:

- + wysoka gęstość energii,
- + wysoka moc impulsowa,
- + obiecująco niska cena,
- + wysoka żywotność, liczba cykli.



# Kondensatory zmienne.

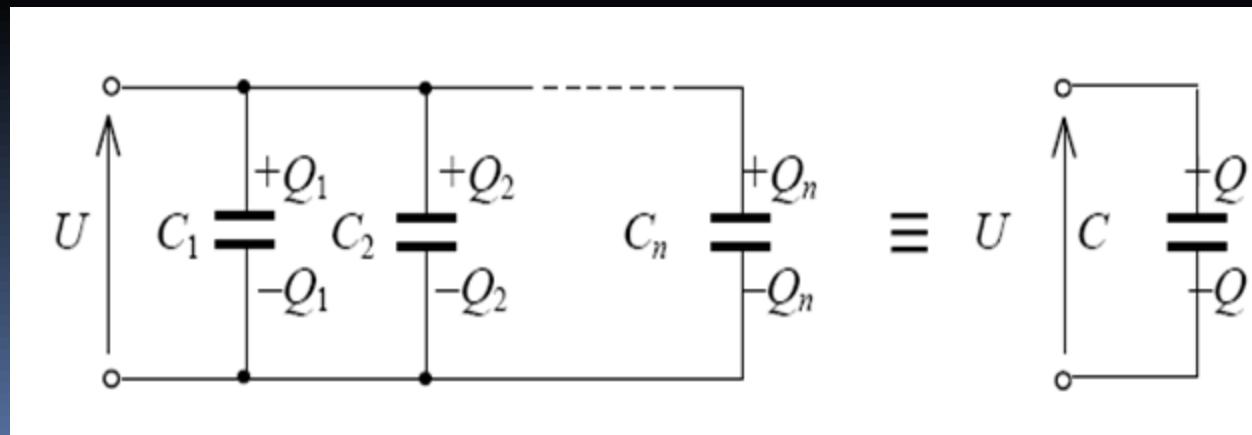
- Kondensatory o zmiennej pojemności to kondensatory z dielektrykiem powietrznym lub kondensatory ceramiczne dostrojczne zwane trymerami,
- Kondensator powietrzny zbudowany jest z dwóch zespołów równoległych płytEK (rotor i stator), które zmieniając swe położenie powodują zmianę wartości pojemności kondensatora.



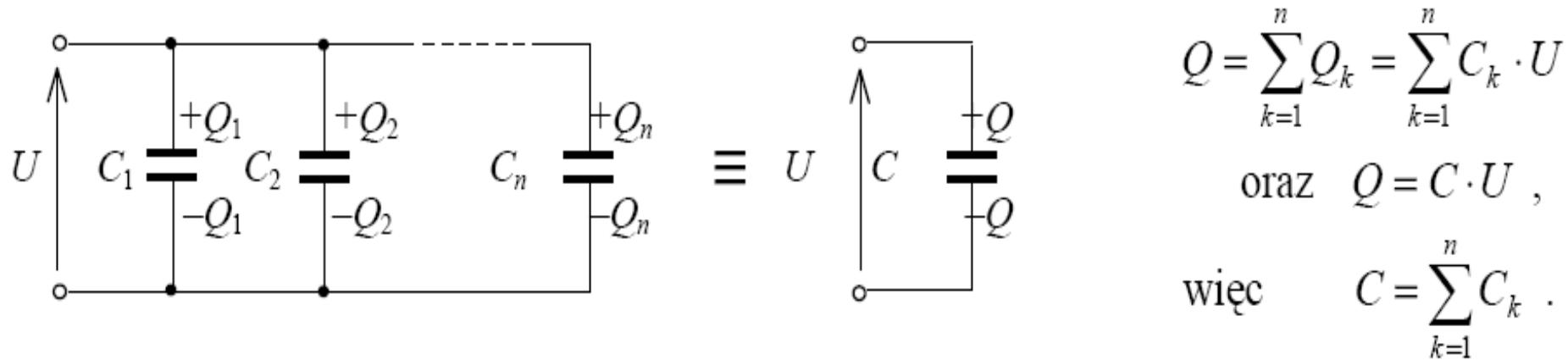
**ŁĄCZENIE KONDENSATORÓW.**

# Równoległe połączenie pojemności liniowych

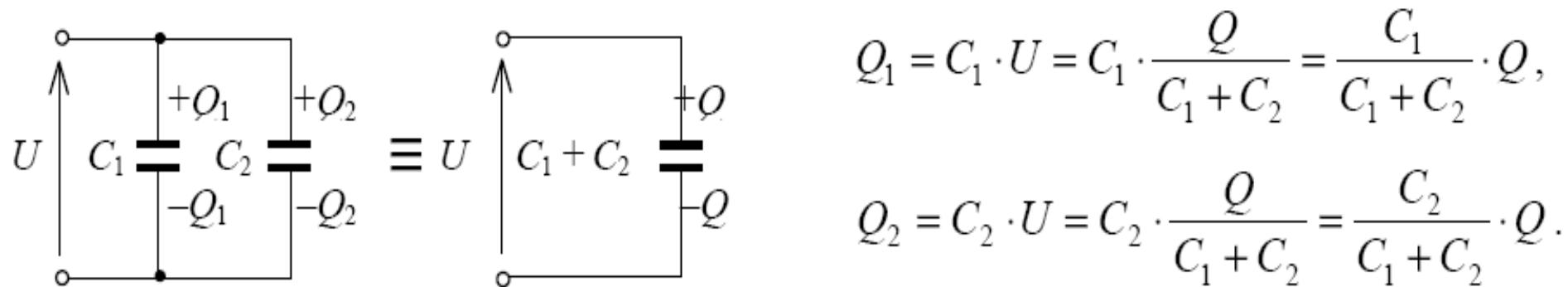
W wyniku łączenia kondensatorów otrzymujemy pojemność wypadkową. Obliczymy ją, znając pojemności składowe. W przypadku równoległego połączenia, wszystkie okładki kondensatorów z jednej strony połączone są ze sobą (okładką nazywamy przewodnik w układzie kondensatora). Tak samo jest z drugiej strony. Zatem potencjał  $V_1$  połączonych ze sobą okładek po jednej stronie wszystkich kondensatorów jest jednakowy, a na połączonych okładkach z drugiej strony występuje jednakowy potencjał  $V_2$ , różny od  $V_1$ . Zatem na każdym kondensatorze występuje taka sama różnica potencjałów  $U = V_2 - V_1$ . Całkowity ładunek  $Q$  na wszystkich połączonych okładkach z jednej strony jest sumą ładunków występujących na każdym kondensatorze.



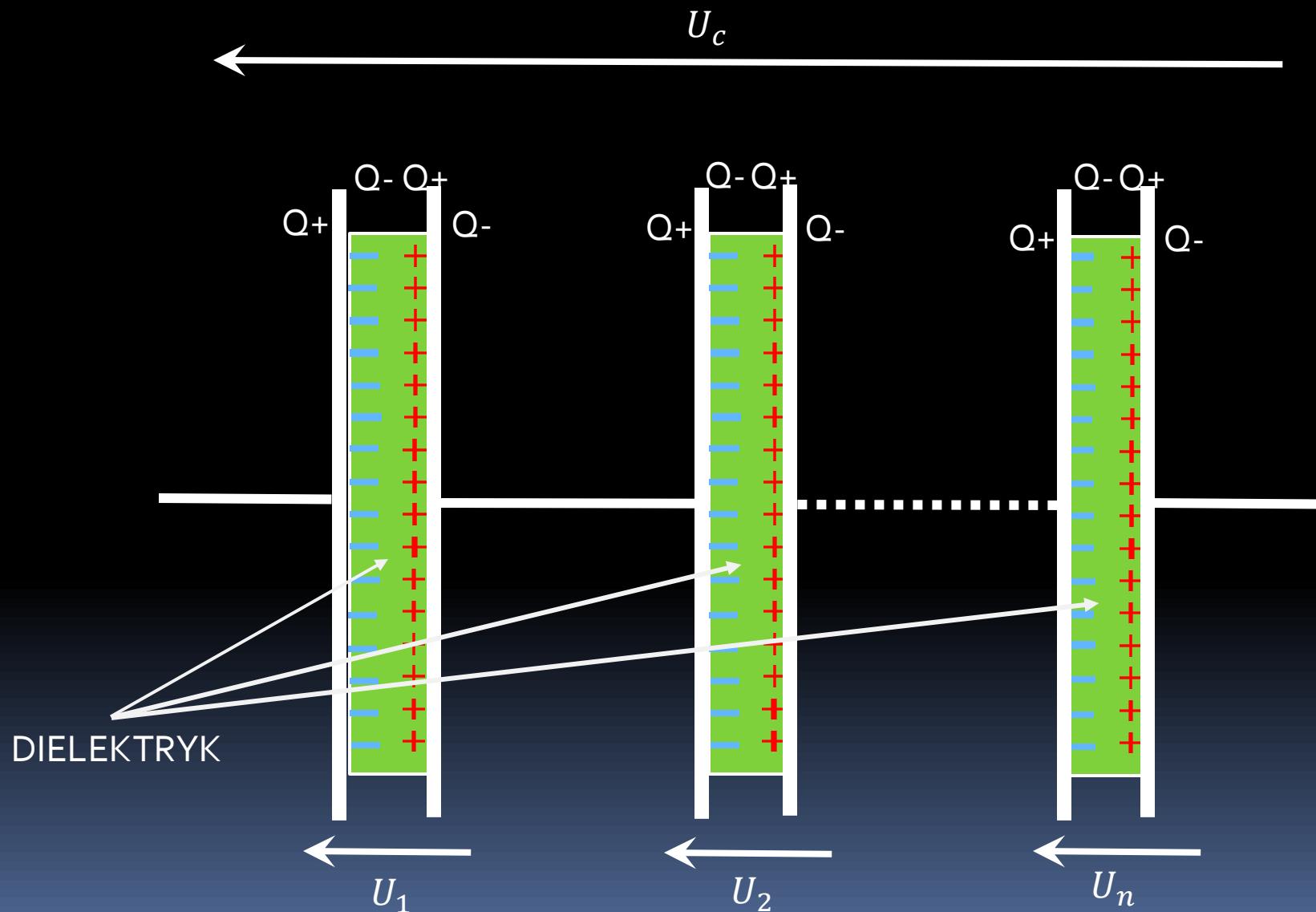
# Równoległe połączenie pojemności liniowych



Układ dwóch równolegle połączonych kondensatorów można nazwać *dzielnikiem ładunku*, ponieważ ładunek całkowity tego układu „dzieli się” na ładunki kondensatorów proporcjonalnie do wartości pojemności gałęzi:



# Szeregowo połączenie pojemności liniowych.



# Szeregowe połączenie pojemności liniowych.

Obliczymy teraz pojemność całkowitą układu kondensatorów połączonych szeregowo. Ładunek na każdym z kondensatorów jest taki sam, ponieważ ładunek  $+Q$  doprowadzony z zewnątrz na lewą okładkę pierwszego kondensatora wytwarza pole, które przyciąga taki sam ładunek, ale przeciwnego znaku ( $-Q$ ) na prawą okładkę. Z kolei ładunek ( $-Q$ ) przypływa z okładki lewej połączonego kondensatora 2, więc na tej okładce jego wartość wynosi  $+Q$ . Taka sytuacja powtarza się w odniesieniu do kondensatorów 2 i n. Natomiast na prawą okładkę kondensatora n dopływa ładunek ( $-Q$ ) z zewnątrz.

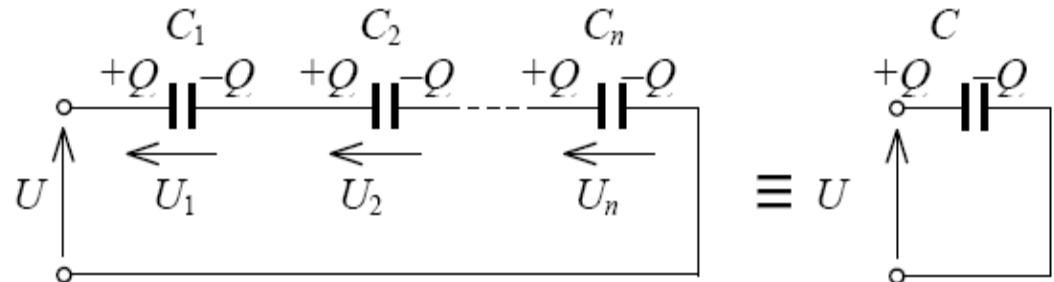
# Szeregowe połączenie pojemności liniowych.

$$U = \sum_{k=1}^n U_k = \sum_{k=1}^n \frac{Q}{C_k} = \sum_{k=1}^n S_k \cdot Q$$

oraz  $U = \frac{Q}{C} = S \cdot Q$ ,

więc

elastancja



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

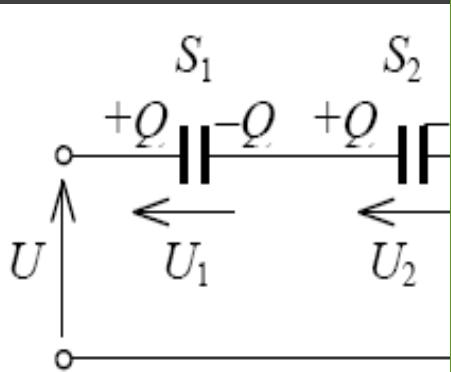
$$U = \frac{Q}{C}$$

Układ dwóch szeregowo połączonych pojemnościowym w tym układzie wartości ich elastancji wynoszą

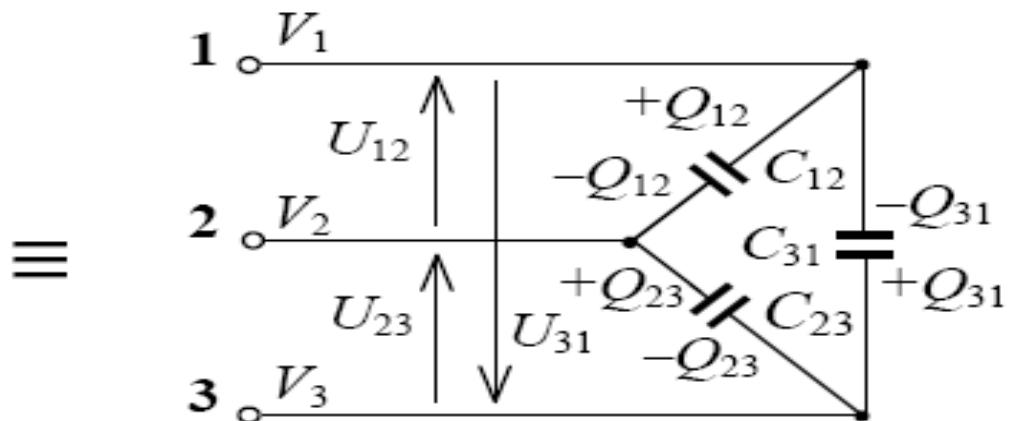
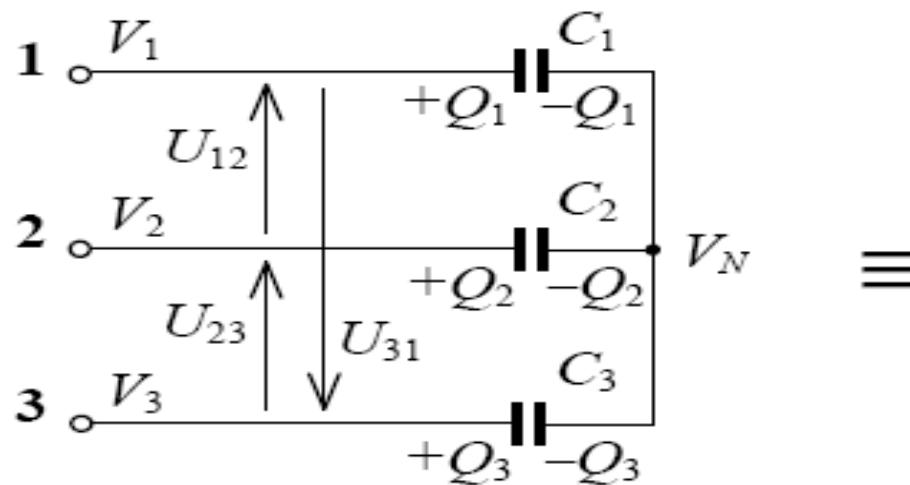
$$U = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \dots + \frac{Q}{C_n}$$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \dots + \frac{Q}{C_n}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$



# Przekształcenie gwiazda-trójkąt i odwrotne



Wzory równoważne przy zamianie gwiazdy na trójkąt:

$$C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2 + C_3}, \quad C_{23} = \frac{C_2 \cdot C_3}{C_1 + C_2 + C_3}, \quad C_{31} = \frac{C_3 \cdot C_1}{C_1 + C_2 + C_3}.$$

Wzory równoważne przy zamianie trójkąta na gwiazdę:

$$C_1 = C_{12} + C_{31} + \frac{C_{12} \cdot C_{31}}{C_{23}}, \quad C_2 = C_{12} + C_{23} + \frac{C_{12} \cdot C_{23}}{C_{31}}, \quad C_3 = C_{23} + C_{31} + \frac{C_{23} \cdot C_{31}}{C_{12}}.$$

# Parametry kondensatorów.

- **pojemność znamionowa** - CN wyrażona w faradach, określa zdolność kondensatora do gromadzenia ładunków elektrycznych, podawana na obudowie kondensatora;
- **napięcie znamionowe** – UN, jest największym napięciem, które może być przyłożone trwale do kondensatora. Napięcie to jest na ogół sumą napięcia stałego i wartości szczytowej napięcia zmiennego;
- **tangens kąta stratności** –  $\operatorname{tg} \gamma$ , stosunek mocy czynnej do biernej wydzielającej się w kondensatorze przy napięciu sinusoidalnie zmiennym o określonej częstotliwości;
- **prąd upływowo** – IU, prąd płynący przez kondensator, przy doprowadzonym stałym napięciu;
- **temperaturowy współczynnik pojemności** –  $\alpha C$ , określa względową zmianę pojemności, zależną od zmian temperatury.



# Obwody liniowe prądu sinusoidalnego.

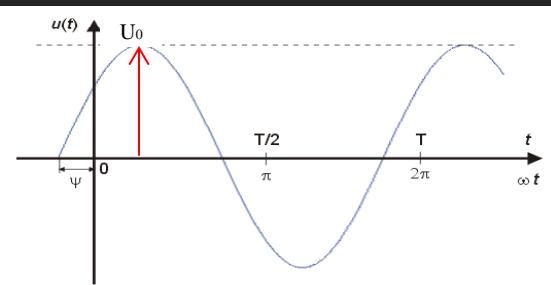
# Sygnały harmoniczne

W grupie przebiegów okresowych szczególne znaczenie mają sygnały harmoniczne, tzn. kosinusoidalne i sinusoidalne. Ponieważ jednak:

$$u(t) = U_0 \sin(\omega t + \pi/2)$$

nazwiemy je ogólnie sinusoidalnymi.

Sygnalami sinusoidalnymi nazywamy sygnały, których przebieg jest sinusoidalną funkcją czasu.



$u(t)$	- wartość chwilowa napięcia
$U_0$	- wartość maksymalna (szczytowa) napięcia zwana również amplitudą
$\Psi$	- faza początkowa napięcia odpowiadająca chwili $t=0$
$\omega t + \Psi$	- kąt fazowy napięcia w chwili $t$
$f = 1/T$	- częstotliwość mierzona w hercach (Hz)
$T$	- okres przebiegu sinusoidalnego
$\omega = 2\pi f$	- pulsacja mierzona w radianach na sekundę.

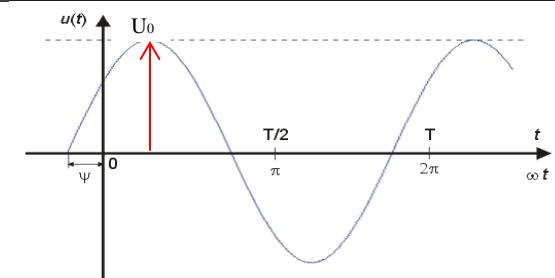
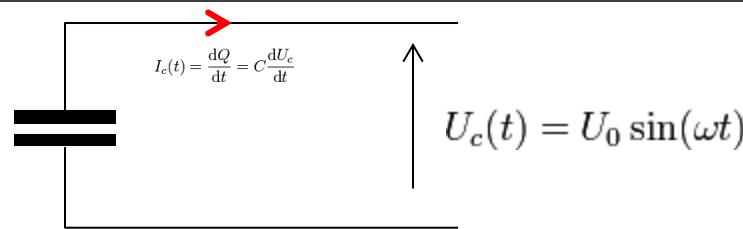
# Zależności fazowe między napięciem $U_C$ i prądem $I_C$ kondensatora

Prąd elektryczny to zmiana ładunku w czasie, co można zapisać:

$$I_c(t) = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dU_c}{dt}$$

$$Q=C \cdot U$$

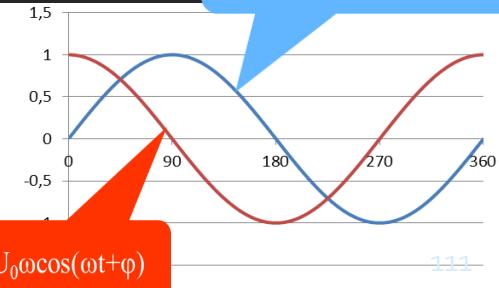
Dla prądu przemiennego o napięciu



przez kondensator płynie prąd określony wzorem

$$I_c = C \frac{dU_C}{dt} = CU_0\omega \cos(\omega t)$$

$$U_{(t)}=U_0\sin(\omega t+\varphi)$$



Prąd wyprzedza napięcie o  $90^\circ$

# Reaktancja.

Wielkość, wiążąca prąd i napięcie na kondensatorze, nazywa się reaktancją, która jest tym mniejsza, im większa jest pojemność kondensatora i częstotliwość prądu. Kondensator charakteryzuje się tym, że (dla sygnałów sinusoidalnych) napięcie jest opóźnione w fazie względem prądu o kąt  $\pi/2$  (inaczej: prąd wyprzedza napięcie o kąt  $\pi/2$ ). Z tego względu impedancja kondensatora jest liczbą zespoloną i opisana jest wzorem

$$U_c(t) = U_0 \sin(\omega t)$$
$$I_c = C \frac{dU_C}{dt} = CU_0\omega \cos(\omega t)$$
$$Z = \frac{U}{I} = \frac{1}{j\omega C} = \frac{j}{j^2\omega C} = \frac{-j}{\omega C} = \frac{-j}{2\pi f C}$$
$$\sin x = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$$
$$\cos x = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2}$$

gdzie:

$\omega$  – częstotliwość,

$f$  – częstotliwość w hercach.

$j$  – jednostka urojona

Reaktancja pojemnościowa (kapacytancja) wyraża się wzorem:

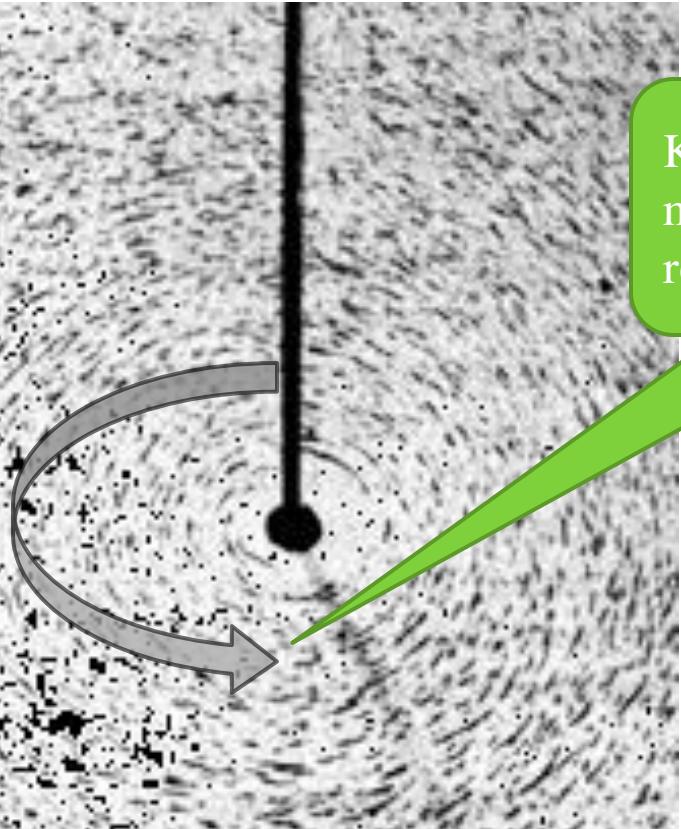
$$X_C = \frac{-1}{\omega C} = \frac{-1}{2\pi f C}$$

przy czym ujemny znak jest kwestią konwencji.

# **POLE MAGNETYCZNE WOKÓŁ PRZEWODNIKA Z PRĄDEM**

# Pole magnetyczne wokół przewodnika z prądem.

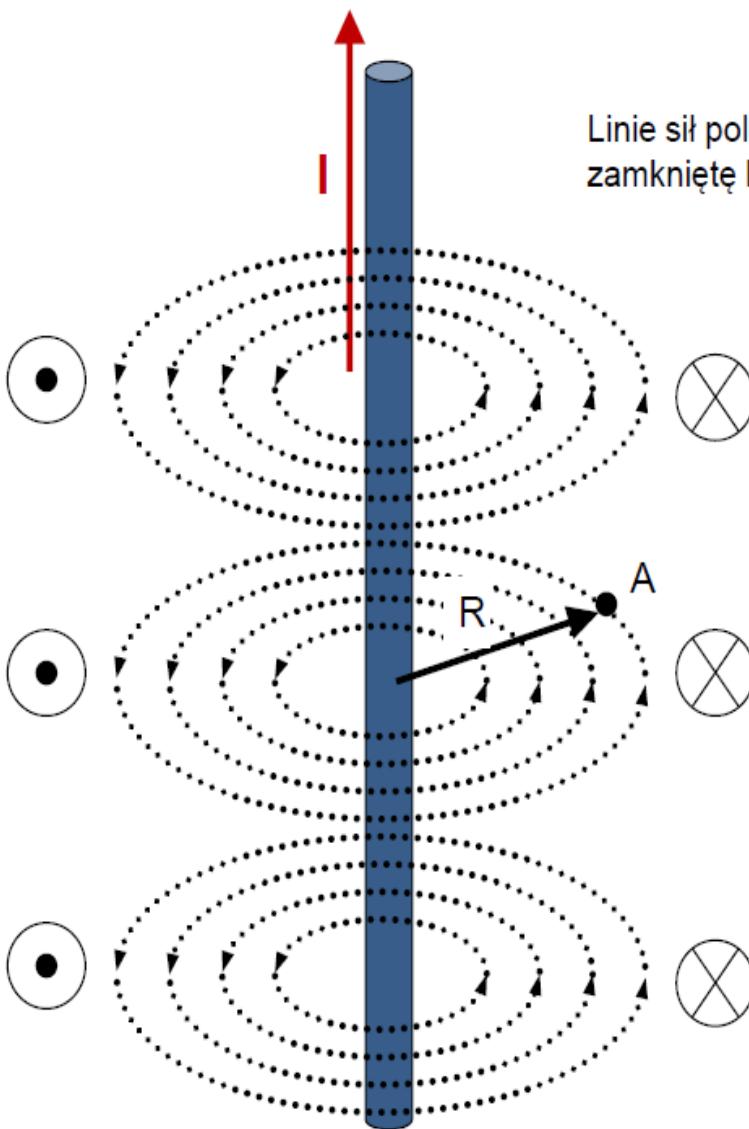
Wokół każdego przewodnika, przez który przepływa prąd elektryczny, występuje pole magnetyczne. Można to stwierdzić, umieszczając poziomo kartkę papieru z opałkami stalowymi w taki sposób, by przewodnik przebiął ją pionowo. Ukaże się wtedy obraz pola magnetycznego utworzony przez kołowe linie sił, jak na rysunku .



Kierunek linii sił pola magnetycznego określa reguła prawej dłoni.



# Pole magnetyczne wokół przewodnika z prądem.



Linie sił pola magnetycznego. Nie mają początku ani końca tworząc zamkniętą kręgi. Zwrot lini sił pola wyznaczamy stosując regułę prawej dłoni.



Symbol oznaczający wektor skierowany za kartkę



Symbol oznaczający wektor skierowany przed kartkę

$$H = \frac{I}{2\pi R}$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{R}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} T \cdot m / A$$

$$[H] = A / m$$

$$[B] = T$$

H – natężenie pola magnetycznego w punkcie A,  
I – natężenie prądu elektrycznego

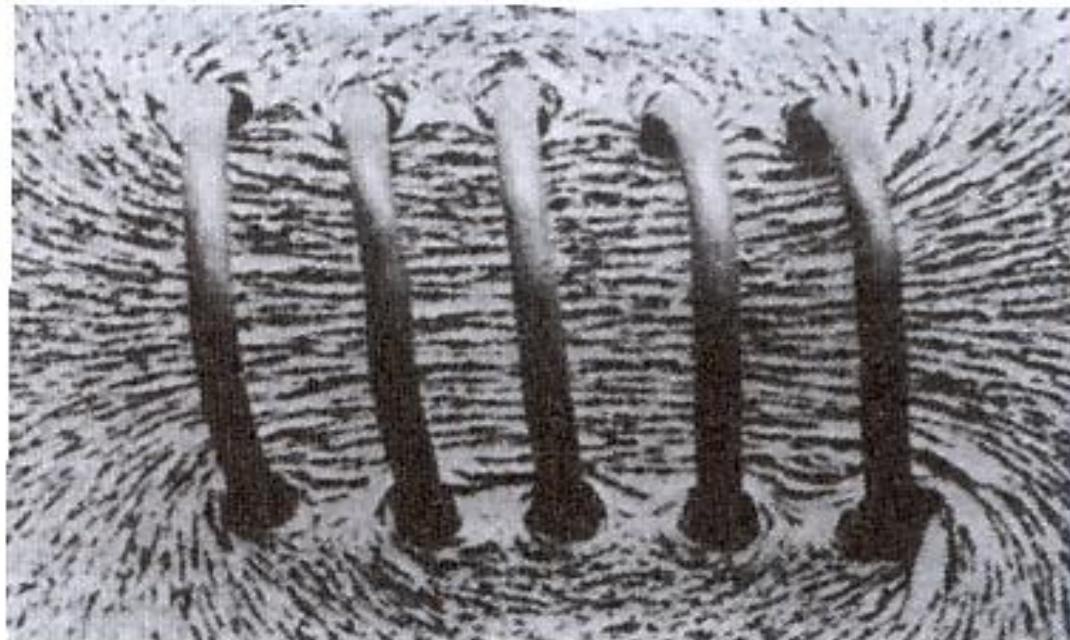
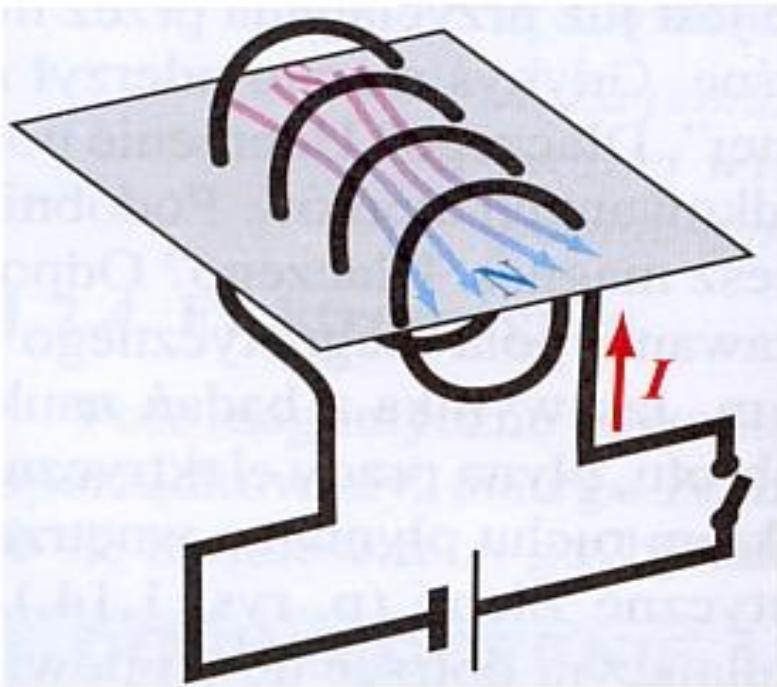
R – odległość punktu A od przewodnika z prądem

B – wektory indukcji magnetycznej

$\mu_0$  – przenikalność magnetyczna próżni

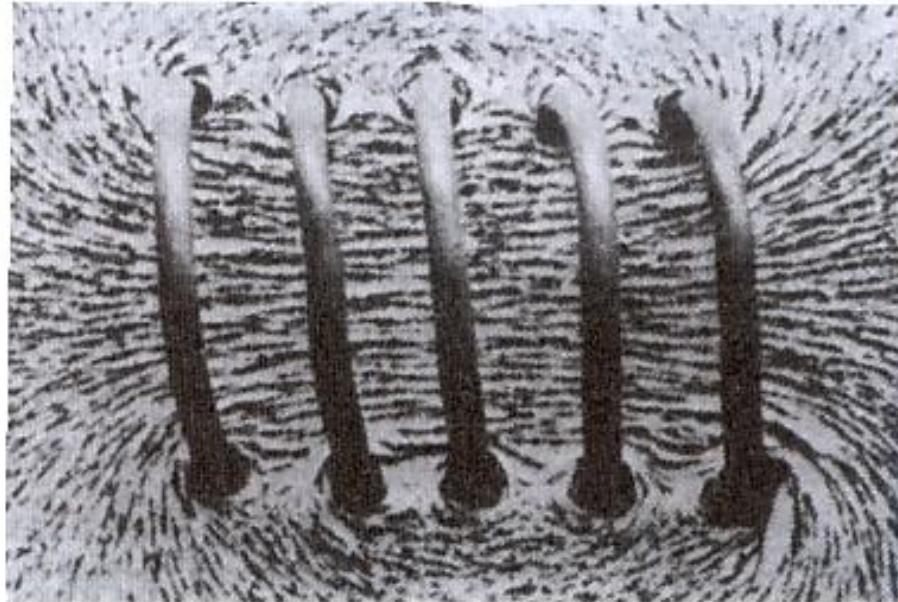
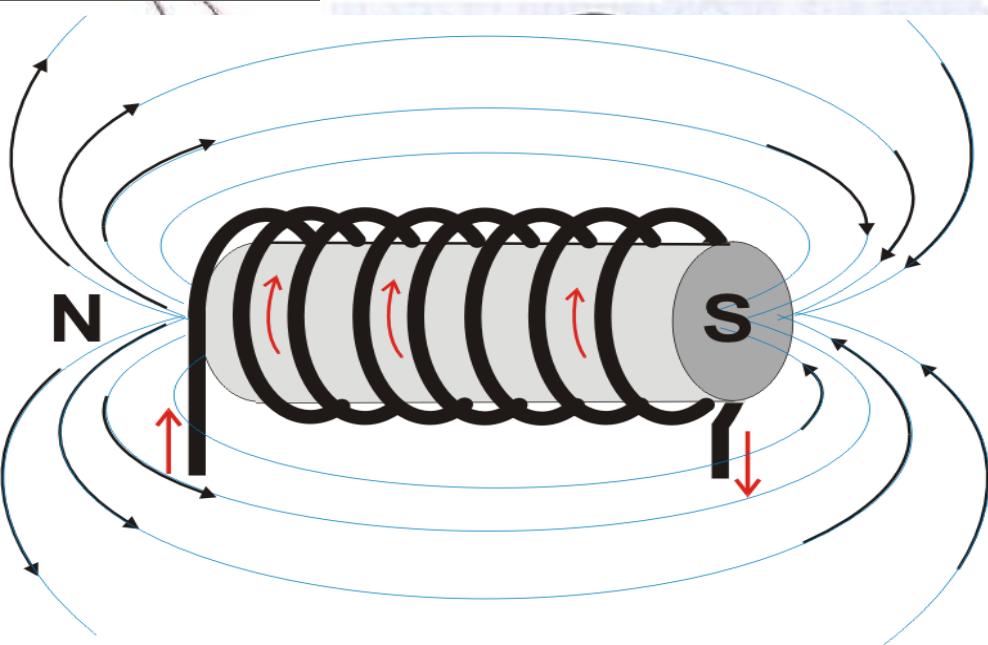
# Cewka.

Uwzględniając, że pola magnetyczne dodają się lub odejmują zależnie od tego, czy ich linie sił są zgodne czy przeciwnie, dla uzyskania silniejszego pola magnetycznego (inaczej ujmując – większego strumienia magnetycznego) można utworzyć z przewodnika tak zwaną cewkę o wielu zwojach nawiniętych w tym samym kierunku, jak to pokazano na rysunku.



# Bieguny pola magnetycznego.

Jeżeli obejmiemy prawą dłonią cewkę tak, że cztery palce wskazują kierunek przepływu prądu w użwojeniach cewki, to odchylony kciuk wskazuje zwrot linii pola magnetycznego.



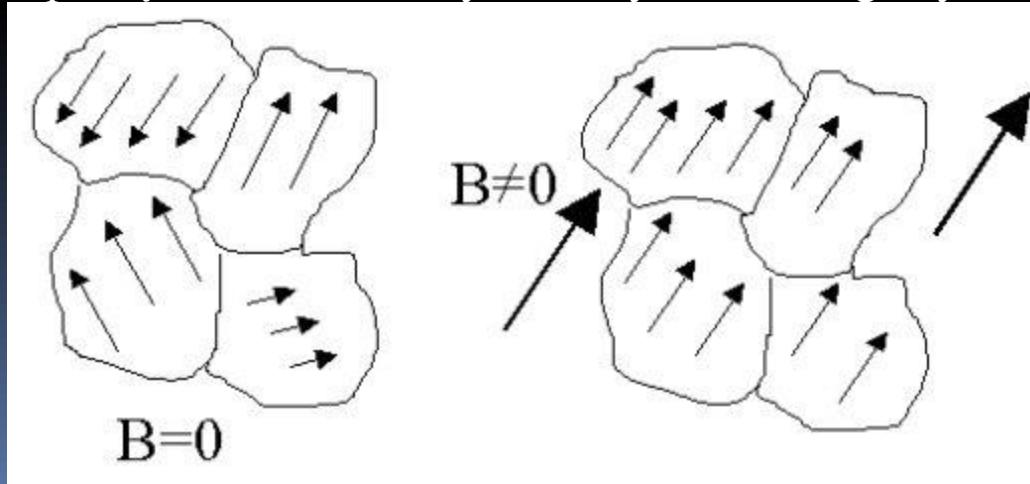
Oznaczenia biegunów pola magnetycznego przyjęto według reguły, że biegun z którego wychodzą linie pola magnetycznego nazwano północnym N, a biegun do którego wchodzą linie pola magnetycznego południowym S.

# Ferromagnetyk.

to substancja o bardzo silnych właściwościach magnetycznych.

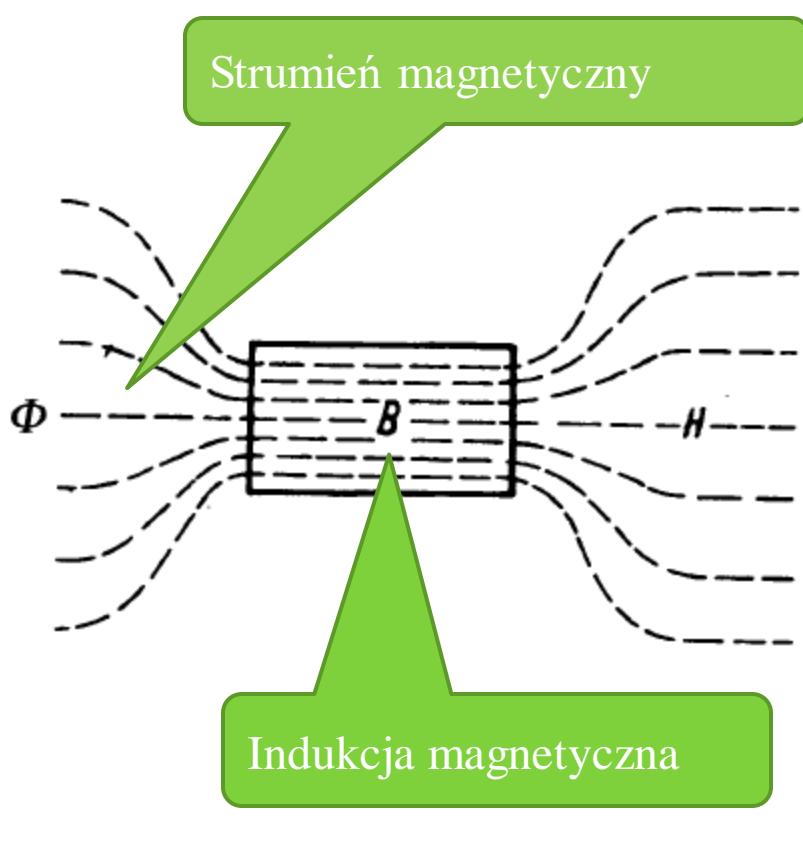
Właściwości te biorą się stąd, że każdy atom ferromagnetyka wytwarza własne pole magnetyczne. Co więcej atomy te mają tendencję do ustawiania się w ten sposób, aby ich pole magnetyczne miało ten sam kierunek, co pole magnetyczne atomów sąsiednich. W rezultacie tworzą się duże obszary (w porównaniu z rozmiarami pojedynczego atomu), w których pole magnetyczne ma stały kierunek. Te obszary nazywamy domenami magnetycznymi. Ale pole magnetyczne każdej z domen może być ustawione w zupełnie dowolnym kierunku. Dlatego ferromagnetyk może nie wytwarzać zewnętrznego pola magnetycznego, czyli może nie być magnesem. Gdy jednak umieścimy ferromagnetyk w zewnętrznym polu magnetycznym (np. pochodząącym od magnesu), wówczas domeny zaczynają ustawiać się zgodnie z tym zewnętrznym polem magnetycznym i ferromagnetyk sam staje się magnesem. Co więcej, pole magnetyczne ferromagnetyka może być dużo większe od zewnętrznego pola magnetycznego, które uporządkowało domeny w naszym ferromagnetyku.

Brak zewnętrznego  
pola magnetycznego



Z zewnętrznym  
polem magnetycznym

Rdzeń umieszczony w cewce pod wpływem jej pola magnetycznego  $H$  magnesuje się i dodatkowo wzmacnia to pole przez skupienie jego linii sił. W rdzeniu o określonym przekroju poprzecznym zamyka się strumień magnetyczny  $\Phi$ .

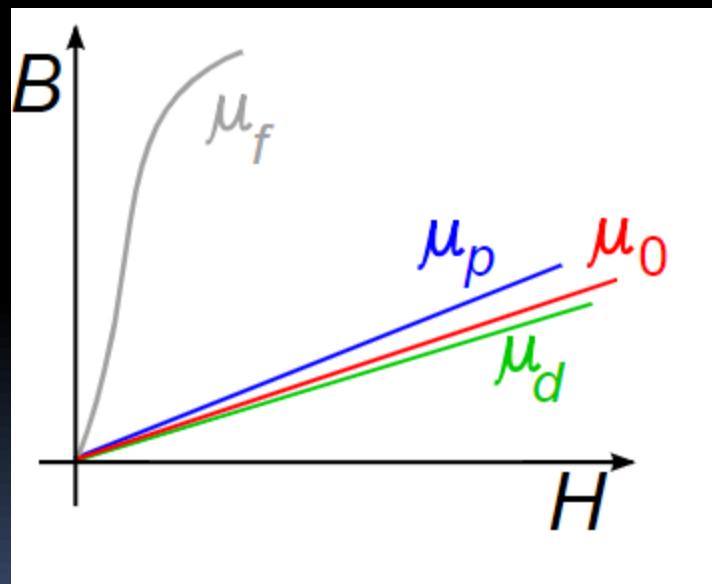


Indukcja magnetyczna  $B$  charakteryzuje pole magnetyczne, opisując gęstość linii (intensywność) pola magnetycznego. Można powiedzieć, że indukcja magnetyczna jest gęstością pola magnetycznego

# Przenikalność magnetyczna

wielkość określająca zdolność danego materiału (ośrodka) do zmiany indukcji magnetycznej przy zmianie natężenia pola magnetycznego.

Schematyczne porównanie przenikalności:

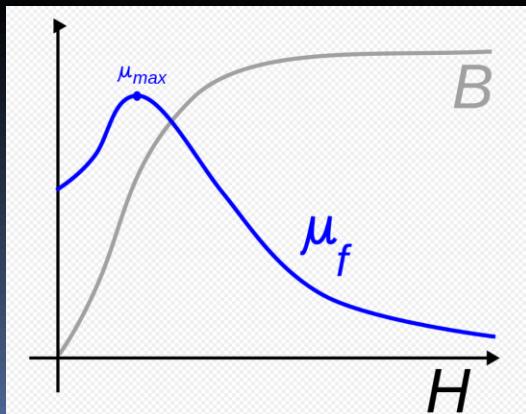


- ferromagnetyka ( $\mu_f$ ),
- paramagnetyka ( $\mu_p$ ),
- próżni ( $\mu_0$ )
- diamagnetyka ( $\mu_d$ )

Koniec 03.03.20

# Tabela przenikalności magnetycznej względnej

Materiał	Przenikalność początkowa	Przenikalność maksymalna
Próżnia	1	1
Powietrze	1,00000037	(brak informacji)
Aluminium	1,000020	(brak informacji)
Miedź	0,99999	(brak informacji)
Izotropowa blacha elektrotechniczna (Fe <sub>96</sub> Si <sub>4</sub> )	250	7 000
Anizotropowa blacha elektrotechniczna (Fe <sub>97</sub> Si <sub>3</sub> )	(brak informacji)	100 000
Permendur (Co <sub>50</sub> Fe <sub>50</sub> )	(brak informacji)	5 000
Supermaloj (Ni <sub>79</sub> Fe <sub>15</sub> Mo <sub>5</sub> )	(brak informacji)	1 000 000
Monokrystaliczny stop (Fe <sub>97</sub> Si <sub>3</sub> )	(brak informacji)	3 800 000
Blacha transformatorowa	600	7 600
Żelazo elektrolityczne	600	15 000
Stop nikiel-żelazo	2 700	20 000



Krzywa magnesowania i definicja przenikalności maksymalnej dla ferromagnetyków (i ferrimagnetyków)

Paramagnetyzm – zjawisko magnesowania się makroskopowego ciała w zewnętrznym polu magnetycznym w kierunku zgodnym z kierunkiem pola zewnętrznego. Substancje wykazujące takie własności to paramagnetyki. Są one przyciągane przez magnes, jednak znacznie słabiej niż ferromagnetyki. W niezbyt niskich temperaturach oraz dla niezbyt silnych pól magnetycznych paramagnetyki wykazują liniową zależność namagnesowania od pola zewnętrznego, co wyraża wzór:

$$M = \chi H$$

gdzie:

M – namagnesowanie (moment magnetyczny jednostki objętości substancji)

$\chi$  – objętościowa podatność magnetyczna

H – natężenie pola magnetycznego.

W niskich temperaturach lub dla bardzo silnych pól magnetycznych namagnesowanie traci liniową zależność od pola zewnętrznego i wykazuje nasycenie.

Podatność magnetyczna zależy od temperatury, zjawisko to ujmuje prawo Curie. Niektóre paramagnetyki w temperaturach niższych od pewnej charakterystycznej dla każdej substancji wartości, nazywanej punktem Curie, stają się ferromagnetykami.

Przyczyną paramagnetyzmu jest porządkowanie się spinów elektronów ciała zgodnie z liniami zewnętrznego pola magnetycznego, uporządkowaniu przeciwdziałają drugie cieplne cząsteczki. W niskich temperaturach lub w silnych polach magnetycznych dochodzi do uporządkowania niemal wszystkich dipoli magnetycznych elektronów, w wyniku czego dochodzi do nasycenia. Właściwości paramagnetyczne posiadają substancje o niesparowanych elektronach.

Paramagnetyki mają przenikalność magnetyczną  $\mu$  niewiele większą od jedności. Dla ferromagnetyków  $\mu$  jest wielokrotnie większe od 1.

Diamagnetyzm – zjawisko polegające na indukcji w ciele znajdującym się w zewnętrznym polu magnetycznym pola przeciwnego, osłabiającego działanie zewnętrznego pola.

Namagnesowanie diamagnetyka jest proporcjonalne do natężenia pola magnetycznego, w którym się znajduje i nie zależy od temperatury. Jest ono zawsze bardzo słabe.

Przyczyną diamagnetyzmu jest fakt, że zewnętrzne pole magnetyczne zmienia tor elektronów na orbitach (jakby indukuje w układzie prąd elektryczny), który powoduje powstanie pola magnetycznego skierowanego przeciwnie do pola zewnętrznego.

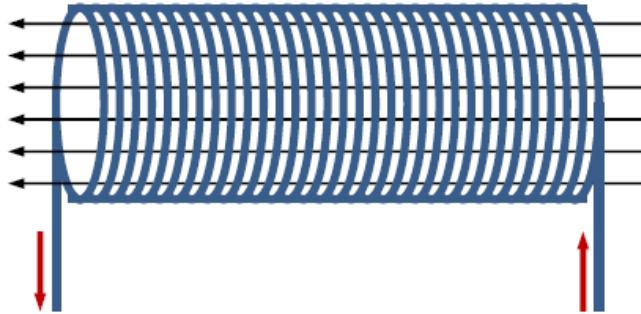
Diamagnetyzm występuje we wszystkich substancjach, ale zwykle jest maskowany przez silniejszy paramagnetyzm. Wyjątkiem są przeważnie związki chemiczne posiadające wiązania wielokrotne lub układ aromatyczny.

Diamagnetyki samorzutnie nie wykazują właściwości magnetycznych – nie są przyciągane przez magnes. Umieszczenie diamagnetyka w zewnętrznym polu magnetycznym powoduje powstanie w tym materiale pola magnetycznego skierowanego przeciwnie. Dla tych ciał względna przenikalność magnetyczna  $\mu$  ośrodka jest nieco mniejsza od jedności (diamagnetyki nieznacznie osłabiają pole magnetyczne).

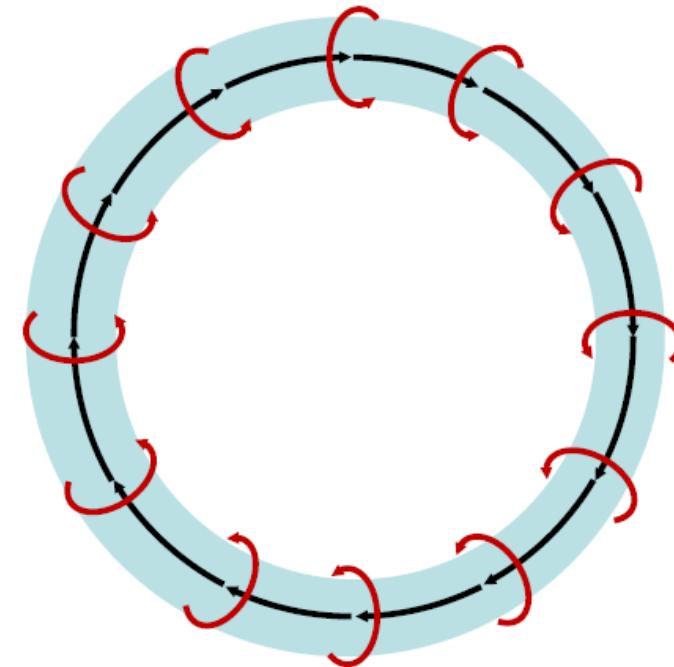
Do diamagnetyków zalicza się:  
gazy szlachetne, prawie wszystkie metale i metaloidy nie wykazujące własności para- lub ferromagnetycznych (np: bizmut, krzem, cynk, magnez, złoto, miedź) a także fosfor, grafit, woda oraz wiele związków chemicznych. Diamagnetyczne są też DNA i wiele białek.

# Pole magnetyczne solenoidu.

Pole magnetyczne wewnątrz nieskończonego solenoidu (zwojnice), a także wewnątrz torusa ( $n$  – liczba zwojów na jednostkę długości solenoidu lub torusa) :



$$B = \mu_0 n I$$



# Indukcja magnetyczna.

Wartość indukcji magnetycznej  $B$  określa się według wartości siły, jaką pole magnetyczne wywiera na określonej długości przewodnik z prądem, przy czym przewodnik ten musi zajmować określone położenie względem kierunku pola magnetycznego.

$$F = BIL \sin \alpha$$

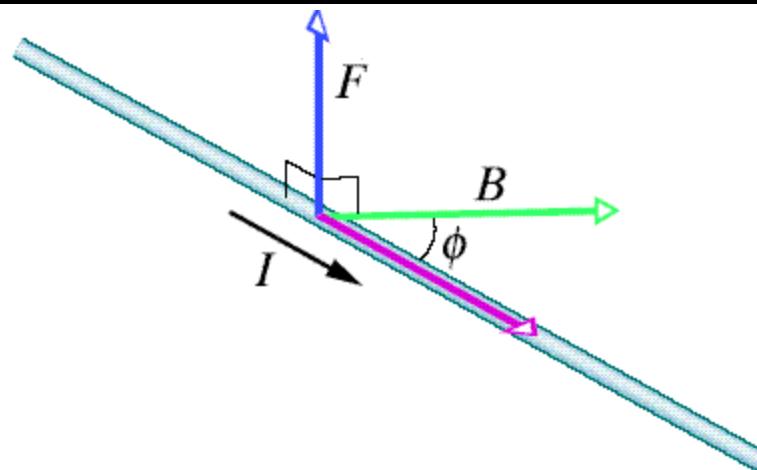
F - siła elektrodynamiczna

B - indukcja magnetyczna

I - natężenie prądu w przewodniku

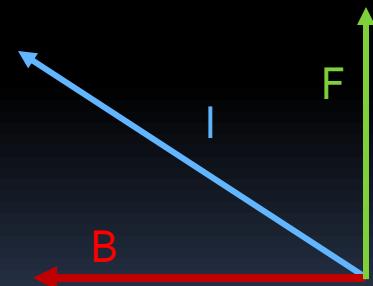
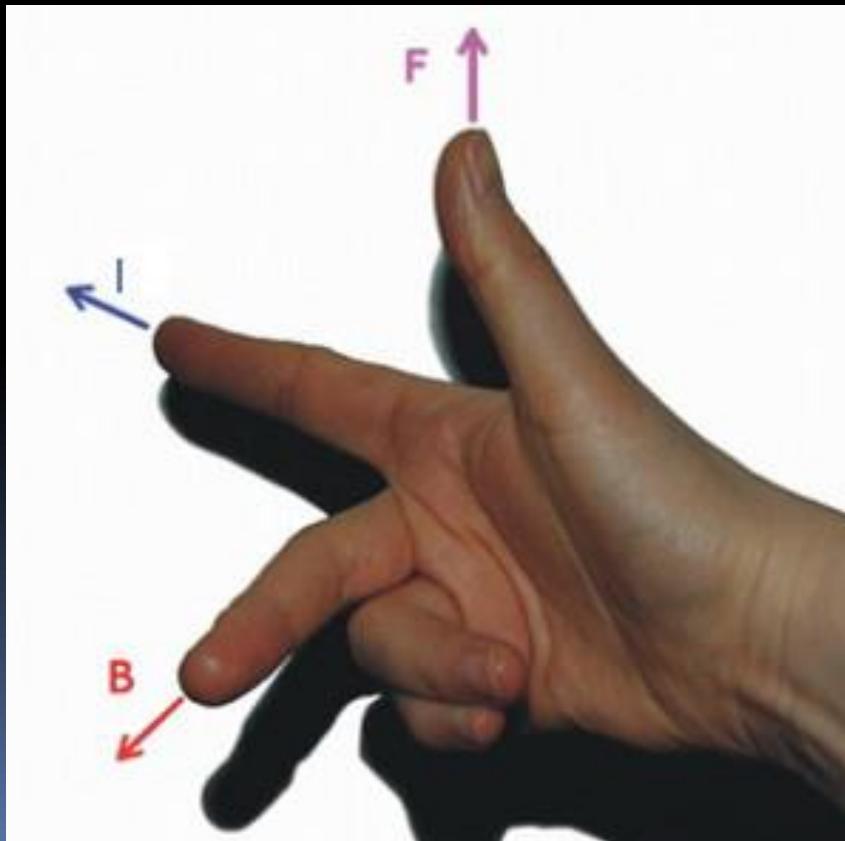
L - długość przewodnika, która znajduje się w polu magnetycznym

$\alpha$  - kąt pomiędzy kierunkiem prądu w przewodniku a kierunkiem linii pola magnetycznego



# Reguła trzech palców prawej ręki.

Reguła trzech palców prawej ręki, umożliwia pokazanie zwrotu siły elektrodynamicznej działającej na przewodnik z prądem umieszczony w zewnętrznym polu magnetycznym. Jeżeli ustawimy palec wskazujący prawej ręki zgodnie z kierunkiem przepływu prądu  $I$ , zaś odgięty palec środkowy zgodnie ze zwrotem indukcji zewnętrznego pola magnetycznego  $B$ , wówczas kciuk wskaże zwrot siły elektrodynamicznej  $F$ .



# Strumień magnetyczny.

Przepływający prąd elektryczny tworzy wewnątrz cylindrycznej cewki, przedstawionej na rys. równomierne pole magnetyczne. Przez powierzchnię przekroju poprzecznego cewki ( $S$ ) przepływa, prostopadłe do niej linie pola magnetycznego. Wektor indukcji magnetycznej ( $\vec{B}$ ) jest równoległy do tych linii.

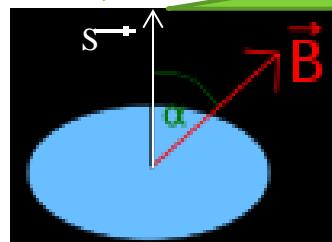
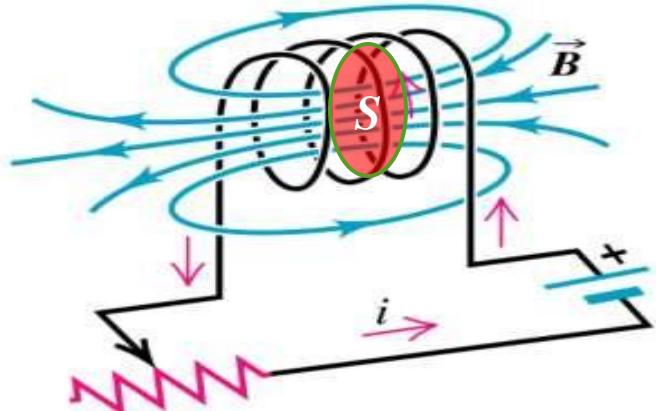
Jednostką strumienia magnetycznego jest Weber  $1\text{Wb}=1\text{Vs}$

Iloczyn skalarny wektora indukcji magnetycznej  $\vec{B}$  i powierzchni  $S$ , prostopadłej do linii sił pola magnetycznego, nazywamy strumieniem magnetycznym  $\Phi$  przenikającym powierzchnię  $S$ .

gnetycznej  $B$  i powierzchni  $S$ , prostopadłej do linii sił pola magnetycznego, nazywamy strumieniem magnetycznym  $\Phi$  przenikającym powierzchnię  $S$ .

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \alpha$$

Wektor powierzchni: wektor o wartości równej polu powierzchni i o kierunku prostopadłym do tej powierzchni.



# Indukcyjność.

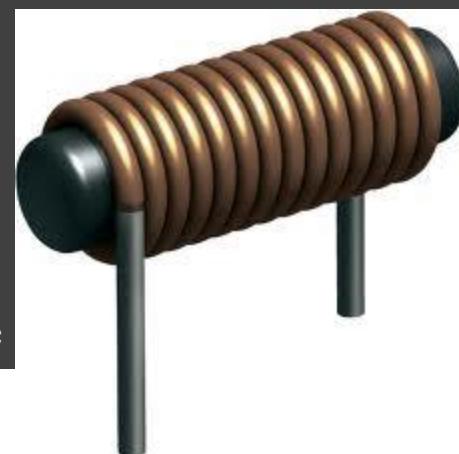
Podstawowym parametrem elektrycznym opisującym właściwości cewki jest jej indukcyjność. Jednostką indukcyjności jest 1 henr [H]. Cewka jest elementem zachowawczym, w którym zachodzi proces akumulacji energii. Prąd płynący w obwodzie wytwarza skojarzony z nim strumień magnetyczny. Indukcyjność definiujemy jako stosunek tego strumienia i prądu, który go wytworzył.

$$L = \Phi / I$$

Oznaczenia europejskie



oznaczenia amerykańskie



Strumień indukcji pola magnetycznego przepływającego przez cewkę opisuje wzór:

$$\Phi = Li$$

Siłę elektromotoryczną indukowaną w cewce wyraża wzór:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\left(L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt}\right)$$

Przyjmując, że indukcyjność cewki nie zmienia się, co jest spełnione dla większości obwodów elektrycznych powyższy wzór upraszcza się do:

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

B – indukcja magnetyczna

S – powierzchnia

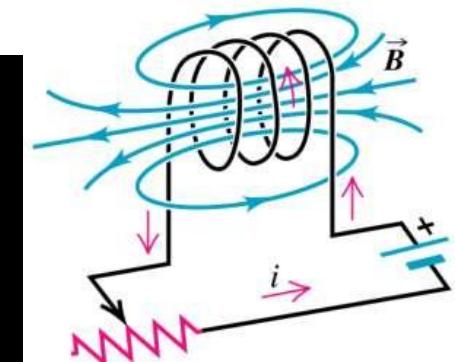
$\Phi$  – strumień indukcji magnetycznej,

L – indukcyjność cewki,

i – natężenie prądu elektrycznego płynącego przez cewkę,

t – czas

$\varepsilon$  – siła elektromotoryczna samoindukcji.



# Cewka.

Cewka jest elementem wnoszącym do obwodu określoną indukcyjność. Cewka składa się z uzwojenia, korpusu wykonanego z izolatora oraz z rdzenia. Jednostką indukcyjności jest henr.



## podział cewek

- ze względu na kształt cewki
  - cylindryczne
  - spiralne
  - toroidalne (pierścieniowe)
- ze względu na sposób nawinięcia
  - jednowarstwowe
  - wielowarstwowe
- ze względu na rdzeń
  - powietrzne
  - rdzeniowe (metalowy, ferrytowy)
- ze względu na zmianę
  - stałe (jedno obrotowe, wieloobrotowe)
  - zmienne (wariometr zmiana poprzez położenie cewek, zmiana położenia rdzenia).



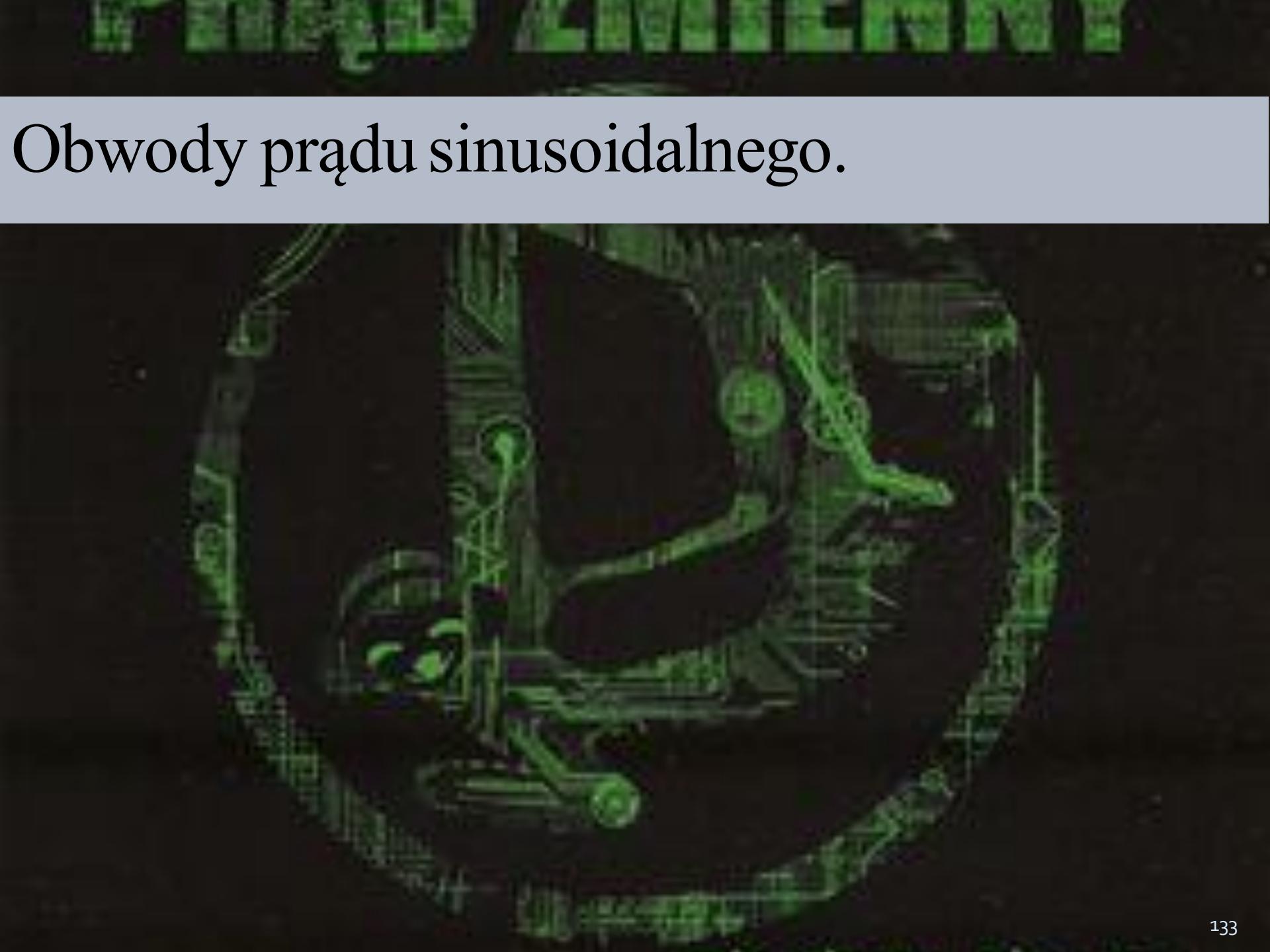
# Impedancja i reaktancja cewki.

Reaktancję cewki wyraża wzór:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

Impedancja idealnej cewki jest równa iloczynowi jej reaktancji i jednostki urojonej:

$$Z_L = j\omega L$$

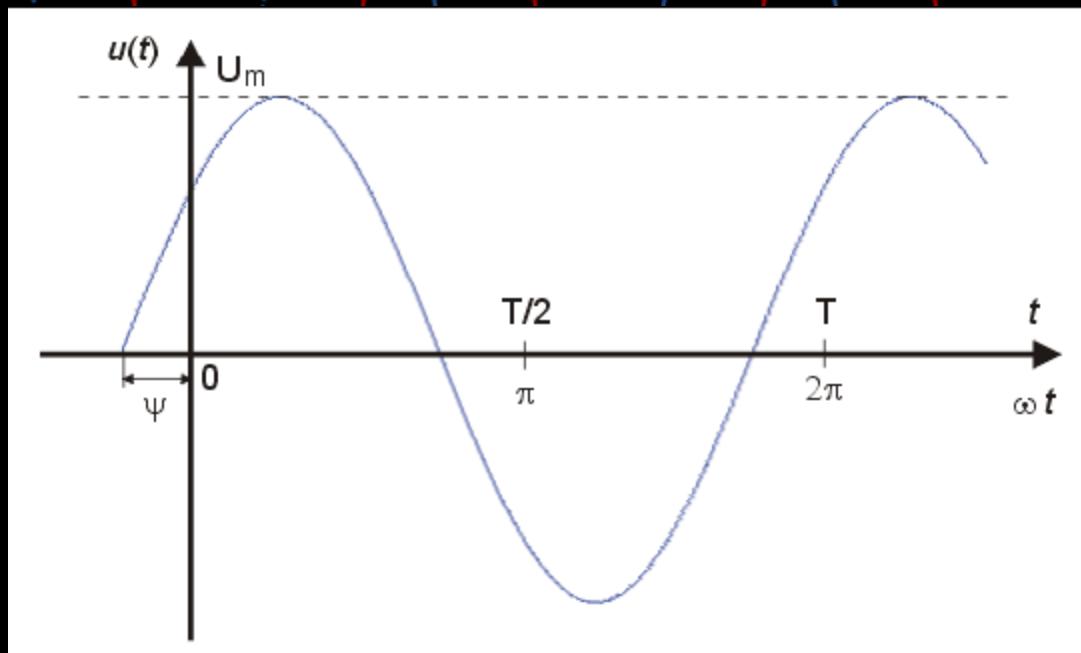


# Obwody prądu sinusoidalnego.

# Metoda symboliczna analizy obwodów w stanie ustalonym przy wymuszeniu sinusoidalnym.

Spośród wielu różnych rodzajów wymuszeń stosowanych w obwodach elektrycznych, do najważniejszych należy wymuszenie sinusoidalne, ze względu na to, że w praktyce codziennej mamy do czynienia z napięciem i prądem sinusoidalnym generowanym w elektrowniach. Analiza obwodów RLC przy wymuszeniu sinusoidalnym natręca pewne problemy związane z koniecznością rozwiązania układu równań różniczkowych, wynikających z opisu ogólnego kondensatorów i cewek.

# Parametry sygnału sinusoidalnego.



$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \Psi)$$

# Parametry sygnału sinusoidalnego.

Sygnały sinusoidalne zwane równie harmonicznymi są opisane w dziedzinie czasu następującym wzorem (w opisie przyjęto oznaczenie sygnału napięciowego)

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \Psi) \quad (2.1)$$

Wielkości występujące w opisie mają następujące nazwy i oznaczenia:

$u(t)$	- wartość chwilowa napięcia
$U_m$	- wartość maksymalna (szczytowa) napięcia zwana również <b>amplitudą</b>
$\Psi$	- faza początkowa napięcia odpowiadająca chwili $t=0$
$\omega t + \varphi$	- kąt fazowy napięcia w chwili $t$
$f = 1/T$	- częstotliwość mierzona w hercach (Hz)
$T$	- okres przebiegu sinusoidalnego
$\omega = 2\pi f$	- pulsacja mierzona w radianach na sekundę

Wartości chwilowe sygnałów oznaczać będziemy małą literą a wartości maksymalne, skuteczne i wielkości operatorowe dużą.

# Wartość skuteczna.

Przebiegi zmienne w czasie dobrze charakteryzuje **wartość skuteczna**.  
Dla przebiegu okresowego  $f(t)$  o okresie  $T$  jest ona definiowana w postaci

$$F = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f^2(t) dt} \quad (2.2)$$

Dla przebiegu sinusoidalnego przybiera on postać:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \sin^2(\omega t) dt} \quad (2.3)$$

$$\int_0^{2\pi} \sin^2 x dx = -\frac{1}{2} \sin x \cos x + \frac{1}{2} x = \frac{1}{2} \cdot 2\pi = \pi, \quad T = 2\pi$$

# Wartość skuteczna napięcia.

Po scałkowaniu i podstawieniu do wzoru (2.3):

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{U_{max}^2 \pi}{2\pi}} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \quad (2.4)$$

Analogicznie w przypadku prądu sinusoidalnego

$$I_{sk} = \sqrt{\frac{I_{max}^2 \pi}{2\pi}} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad (2.5)$$

# Wartość skuteczna.

Wartość skuteczna prądu przemiennego jest taką wartością prądu stałego, która w ciągu czasu równego okresowi prądu przemiennego spowoduje ten sam efekt cieplny, co dany sygnał prądu przemiennego (zmiennego).

Moc prądu stałego o wartości  $I$  wydzielana na oporniku o rezystancji  $R$ :

$$P=I^2R$$

# Połączenie szeregowo opornika z kondensatorem.

$$U_C = U_0 \sin \omega t$$

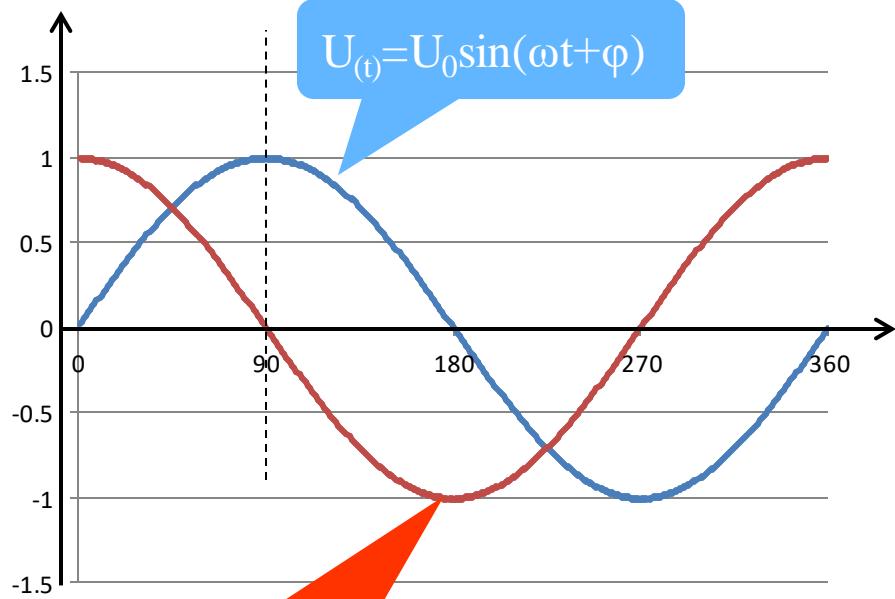
$$I = \frac{dQ}{dt}, Q = CU$$

$$I_c = C \frac{dU_C}{dt} = CU_0 \omega \cos(\omega t)$$

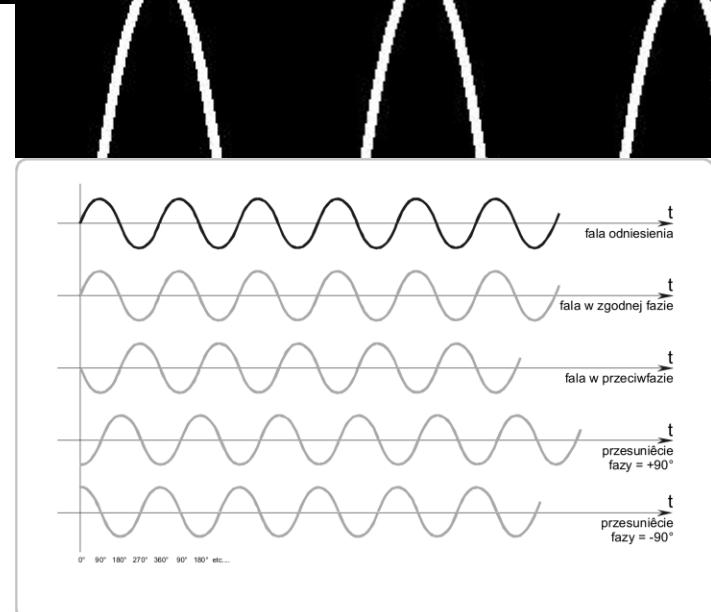
$$U_o = \frac{1}{\omega C} I_o$$

$$\frac{1}{\omega C} = X_C - \text{reaktancja}$$

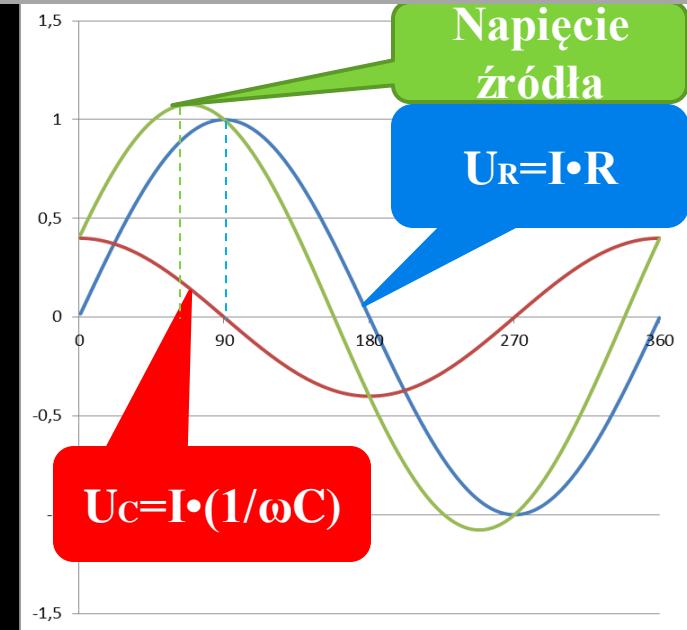
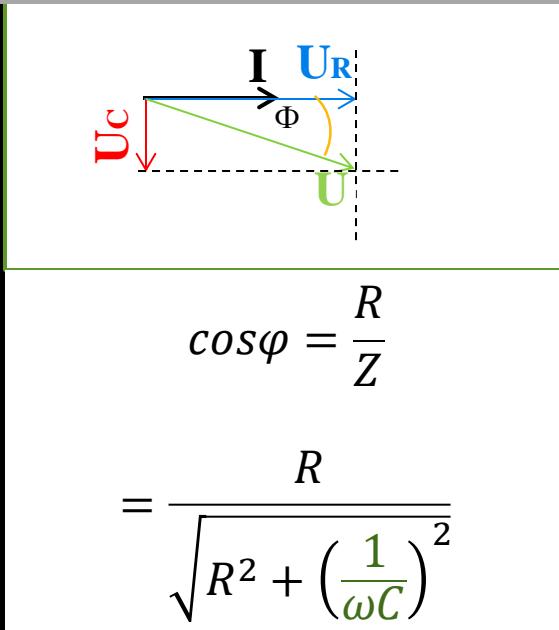
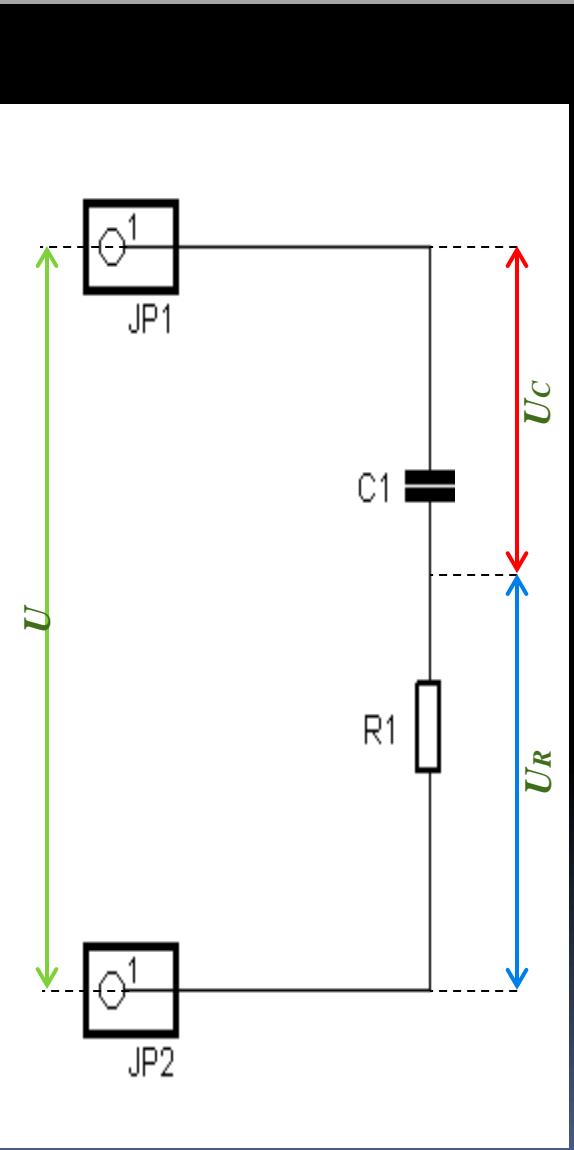
W kondensatorze prąd wyprzedza napięcie o  $90^\circ$



$$I_{(t)} = CU_0 \omega \cos(\omega t + \varphi)$$



# Połączenie szeregowe opornika z kondensatorem.



$$U = \sqrt{U_{R+}^2 + U_c^2} = \sqrt{(IR)^2 + \left(I \frac{1}{\omega C}\right)^2} = I \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Lub

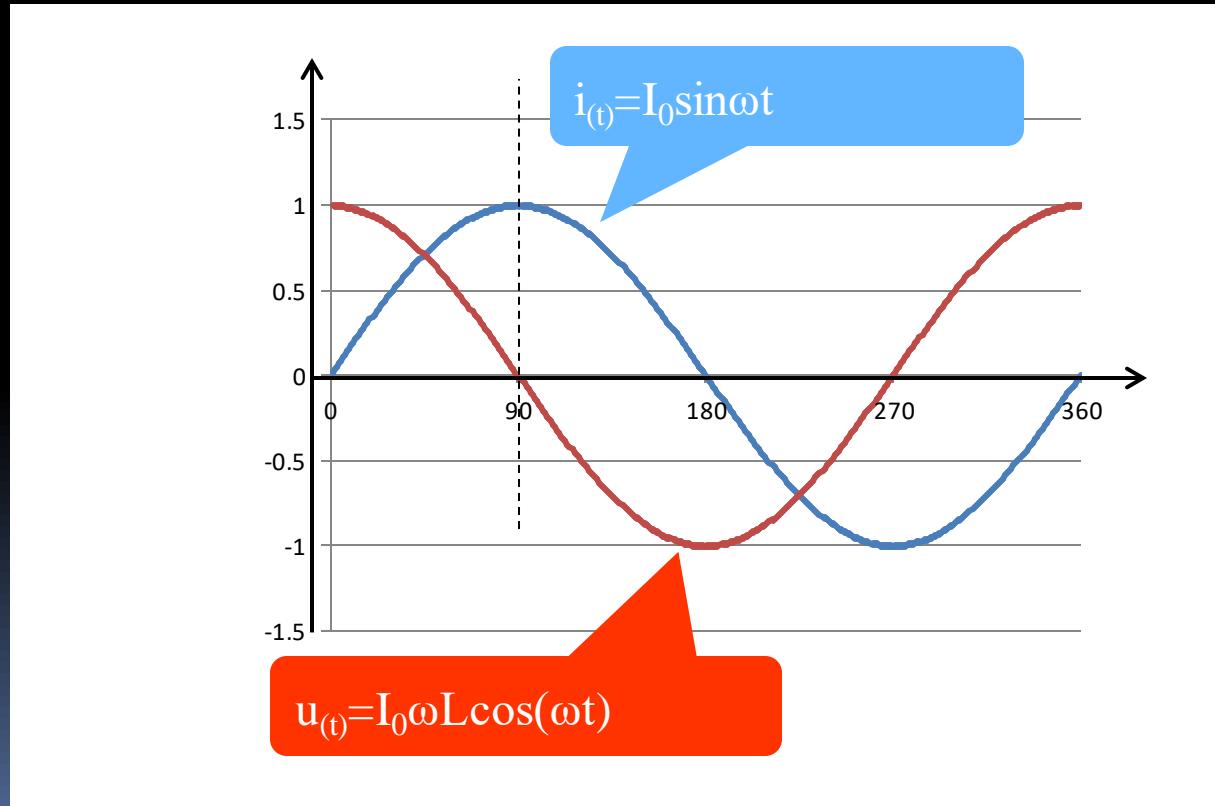
$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Moduł impedancji  $Z$   
 $Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$

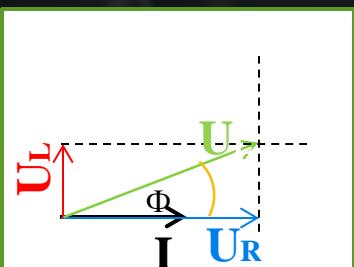
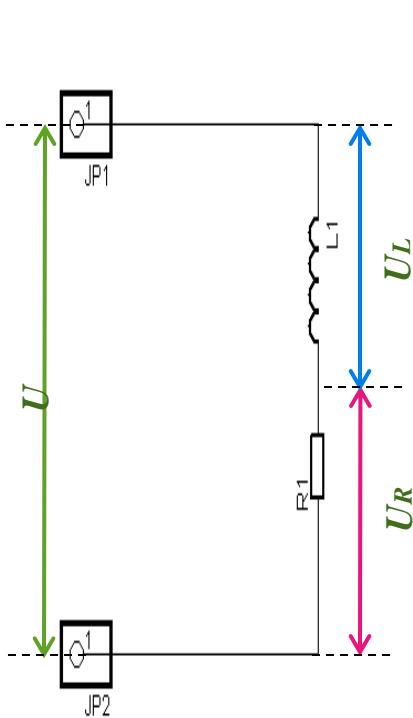
# Połączenie szeregowo opornika z cewką.

$$U_L = L \frac{di(t)}{dt} = L \frac{d}{dt} I_0 \sin \omega t = \omega L I_0 \cos \omega t, \quad \omega L = X_L - \text{reaktancja}$$

W cewce napięcie wyprzedza prąd o  $90^\circ$



# Połączenie szeregowo opornika z cewką.

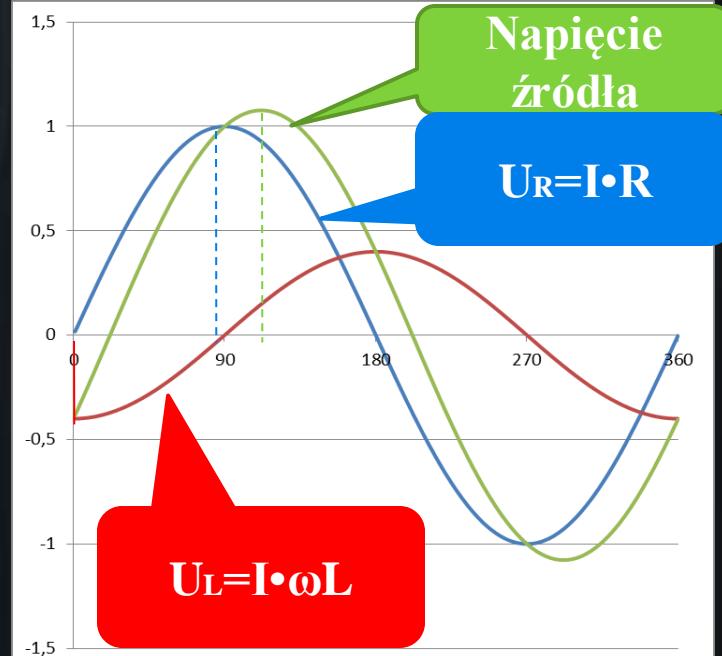


$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$$
$$= \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

$$U = \sqrt{U_{R+}^2 + U_L^2} = \sqrt{(IR)^2 + (I\omega L)^2} = I\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

Lub

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$



Napięcie źródła

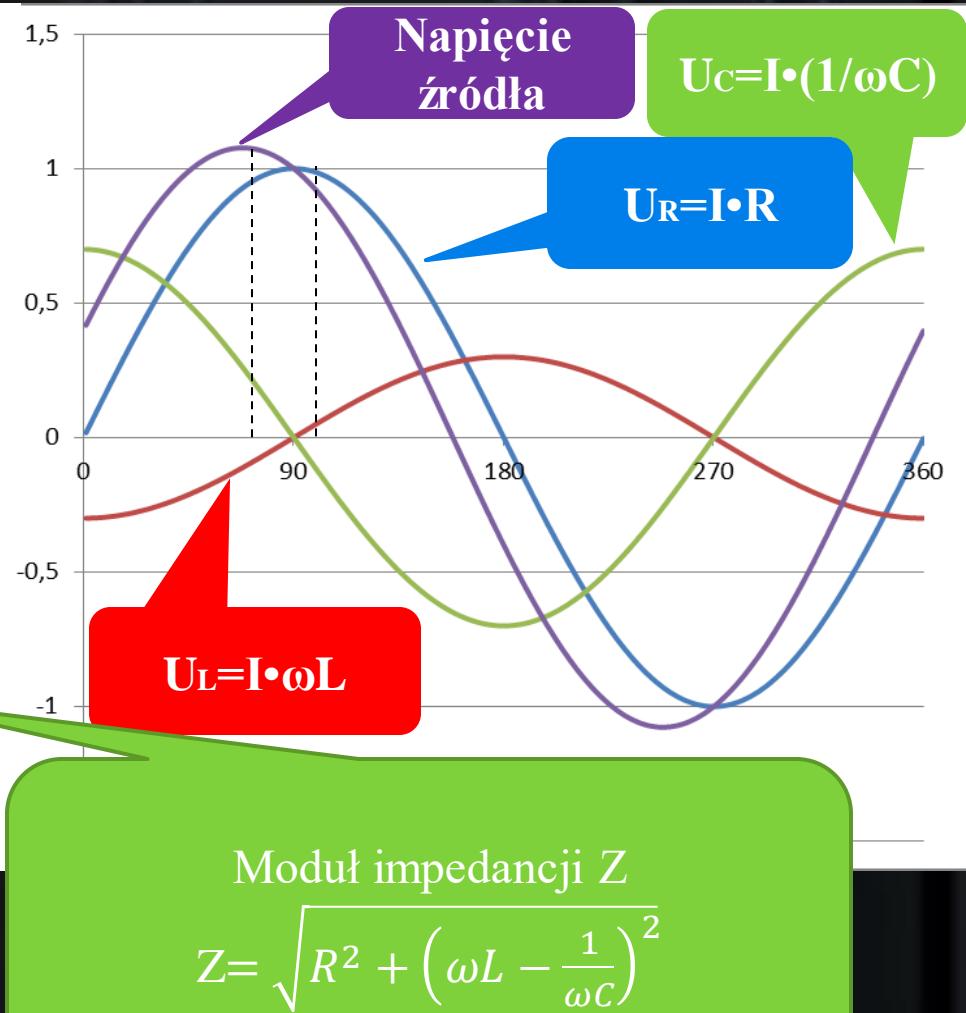
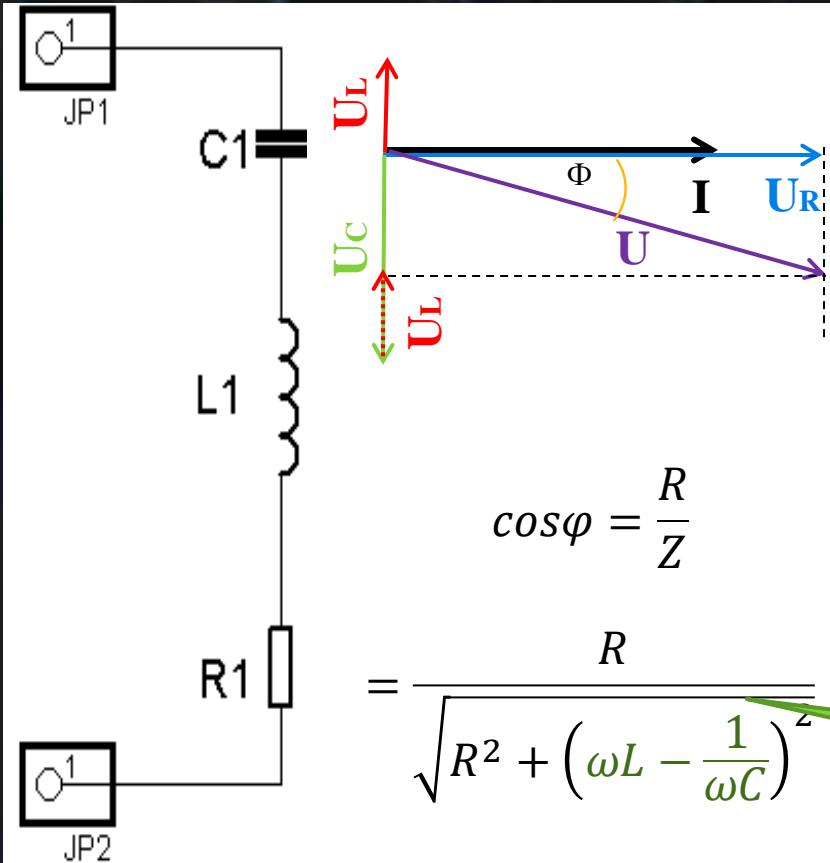
$$U_R = I \cdot R$$

$$U_L = I \cdot \omega L$$

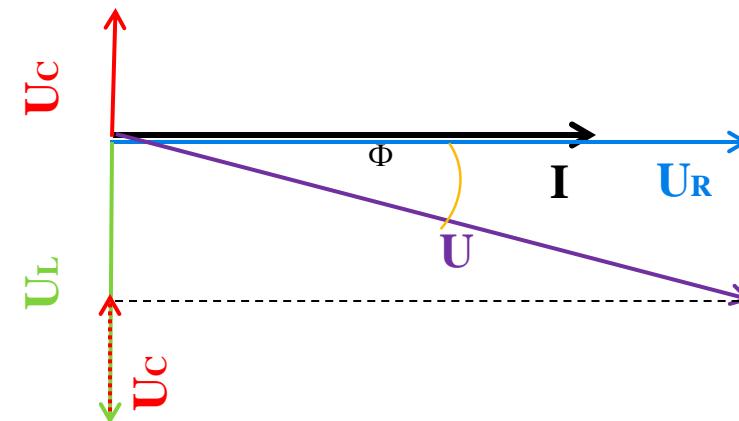
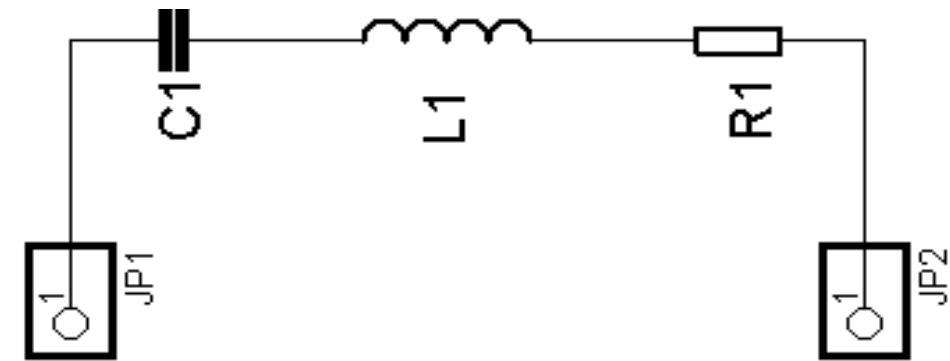
Moduł impedancji  $Z$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

# Połączenie szeregowego opornika, kondensatora i cewki.



# Połączenie szeregowe opornika, kondensatora i cewki.



$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{(IR)^2 + I^2 \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} = I \sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$$

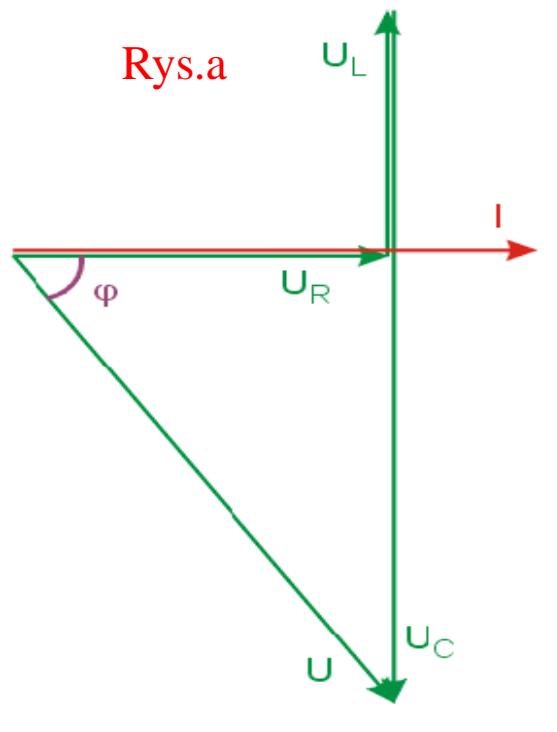
Lub

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}$$

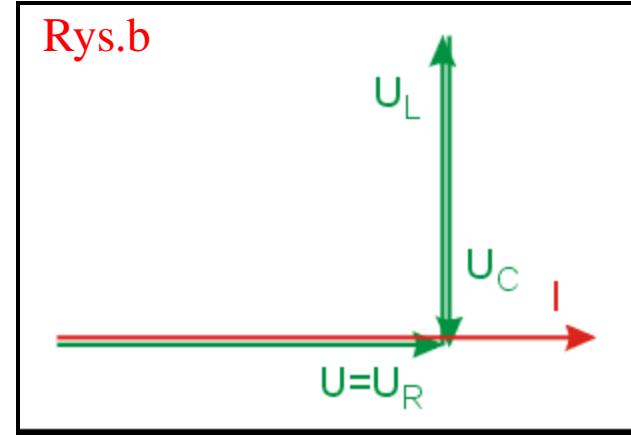
Impedancia oznaczana przez  
 $Z = \sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$

Zmiana częstotliwości zmienia oczywiście relację między napięciami na tych elementach reaktancyjnych (przeskalowanie wartości). Dla częstotliwości mniejszych niż rezonansowa napięcie na kondensatorze jest większe niż na cewce (przy mniejszej częstotliwości impedancja kondensatora jest większa), a przy częstotliwościach większych niż rezonansowa napięcie na cewce większe ni na kondensatorze (impedancja cewki rośnie wraz ze wzrostem częstotliwości a impedancja kondensatora maleje). Na rys. przedstawiono wykresy wektorowe prądu i napięć w obwodzie szeregowym RLC dla częstotliwości mniejszych niż rezonansowa (rys.a), dla częstotliwości rezonansowej (rys.b) oraz dla częstotliwości większych niż rezonansowa (rys. c).

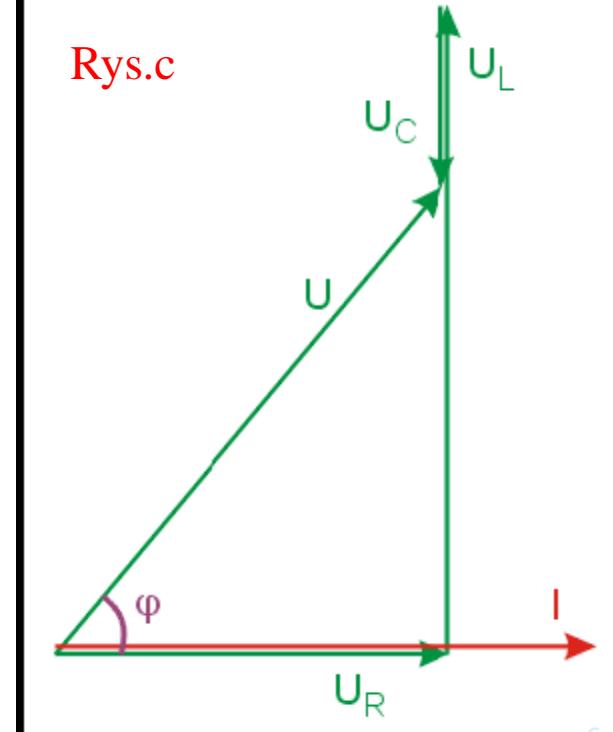
Rys.a



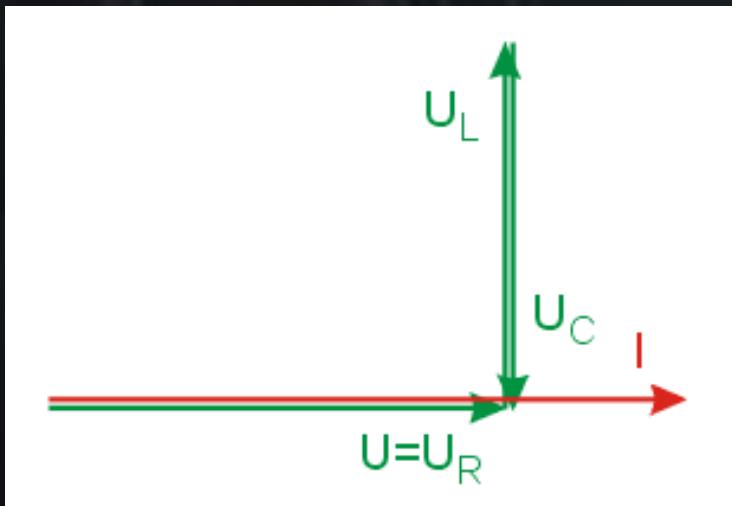
Rys.b



Rys.c



# Rezonans napięć.

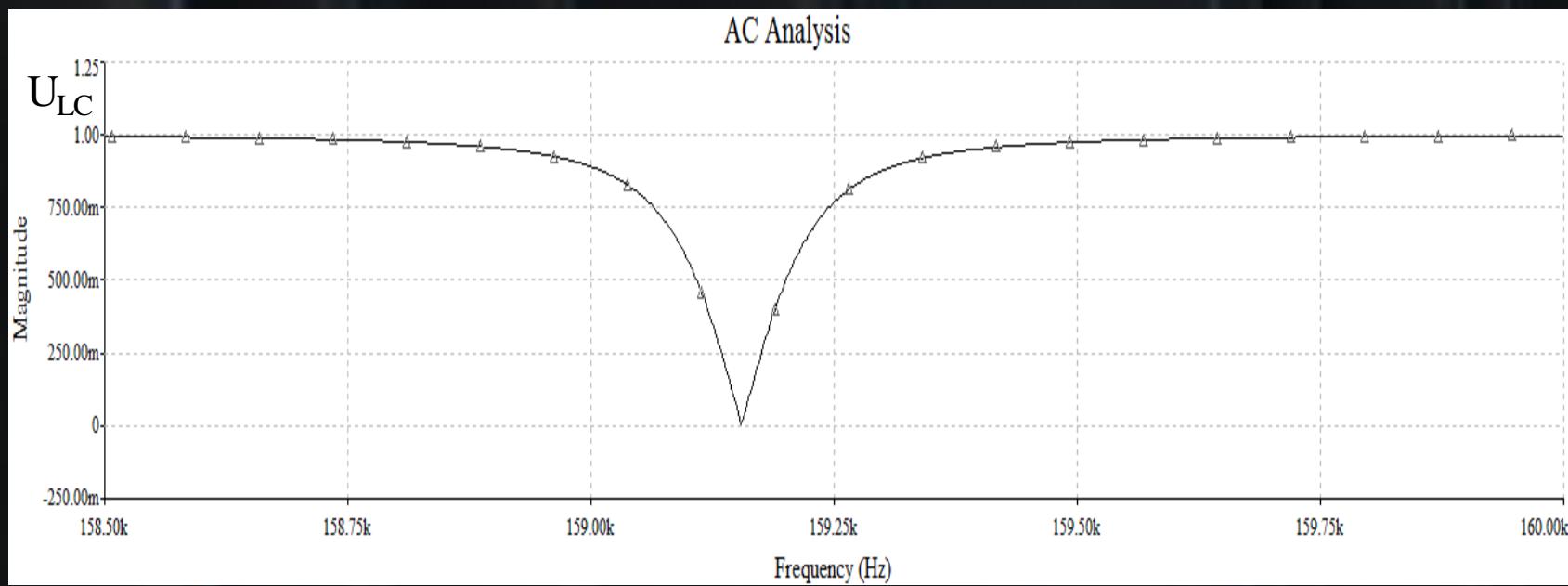
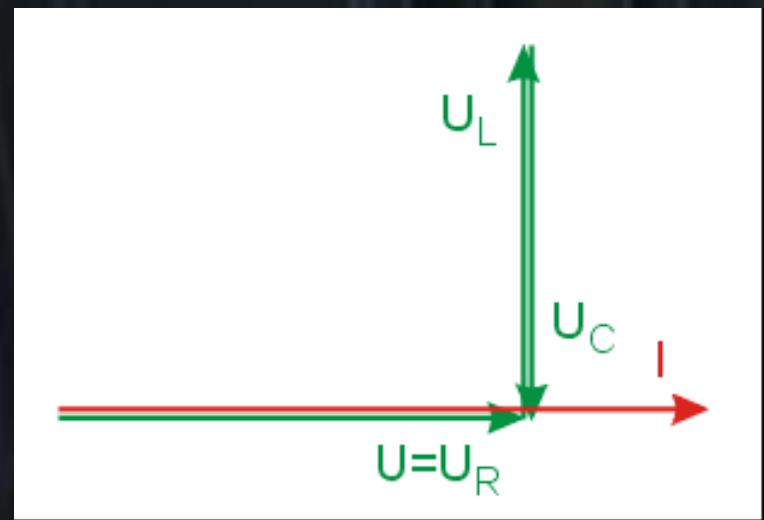
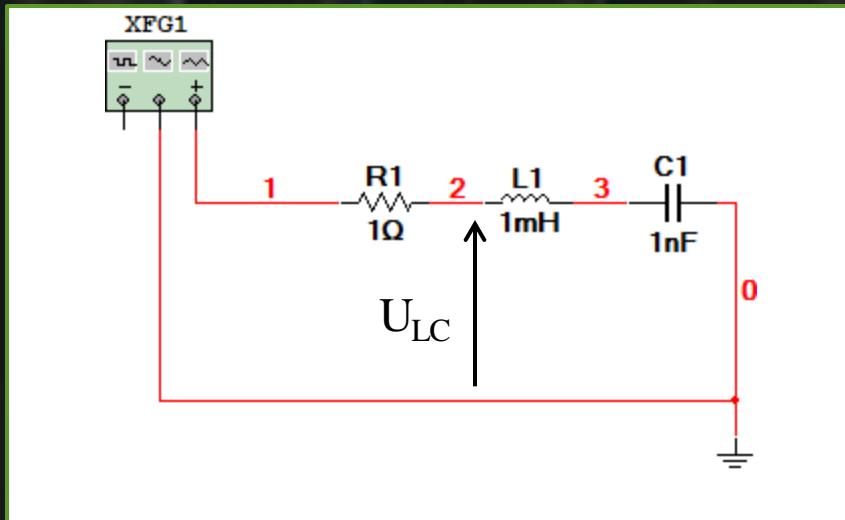


$$Z_0 = \sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)} = \sqrt{R^2 + 0} = R$$

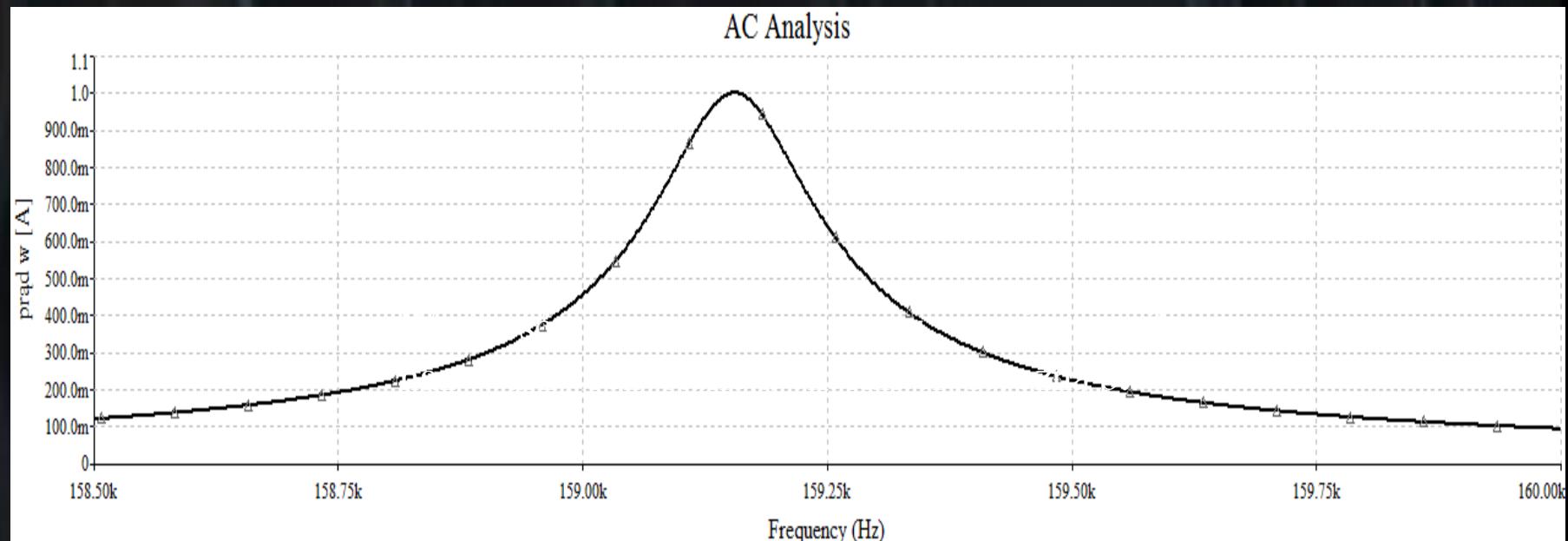
$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

$$\text{Więc } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\text{lub } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



# Charakterystyka częstotliwościowa.



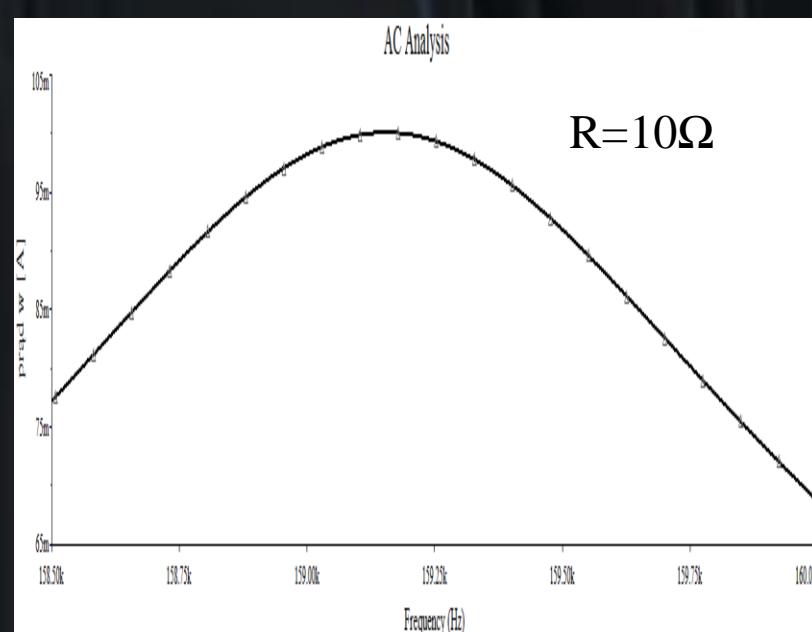
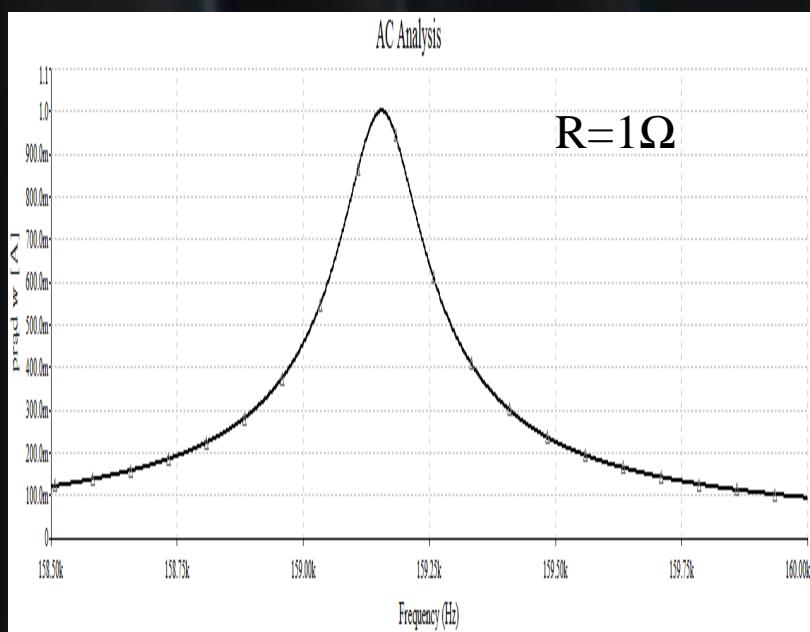
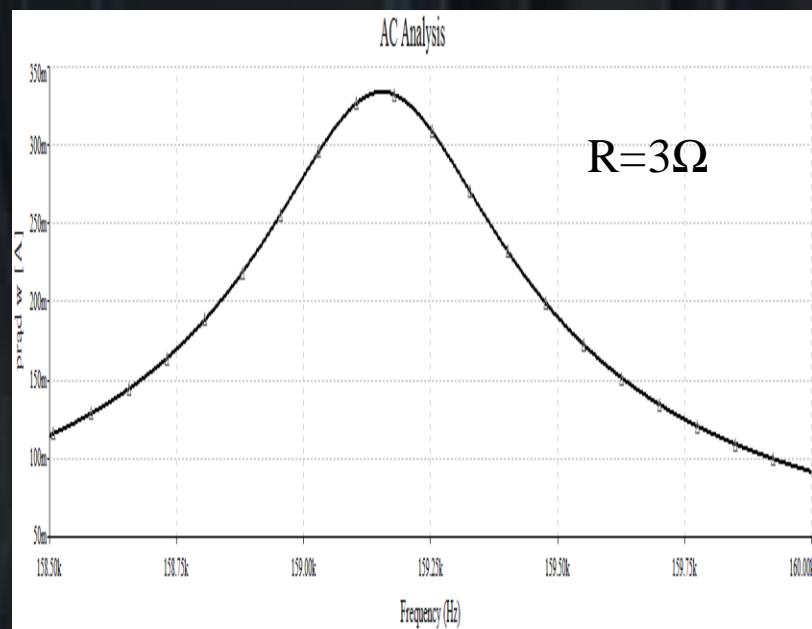
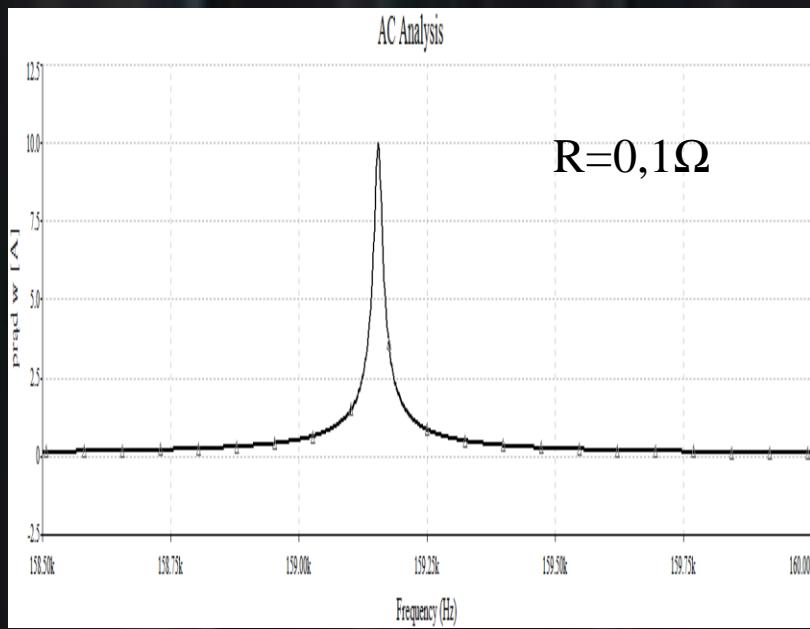
$$| I | = \frac{| U |}{| Z |} = \frac{| U |}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

# Dobroć.

Ważnym parametrem obwodu rezonansowego jest **dobroć**  $Q$  określana zwykle w punkcie rezonansowym (dla częstotliwości rezonansowej). W obwodzie szeregowym RLC dobocią nazywamy stosunek napicia na elemencie reaktancyjnym (kondensatorze lub cewce) do napicia na elemencie rezystancyjnym w czasie rezonansu. Stąd wartość dobroci może być wyznaczona ze wzoru.

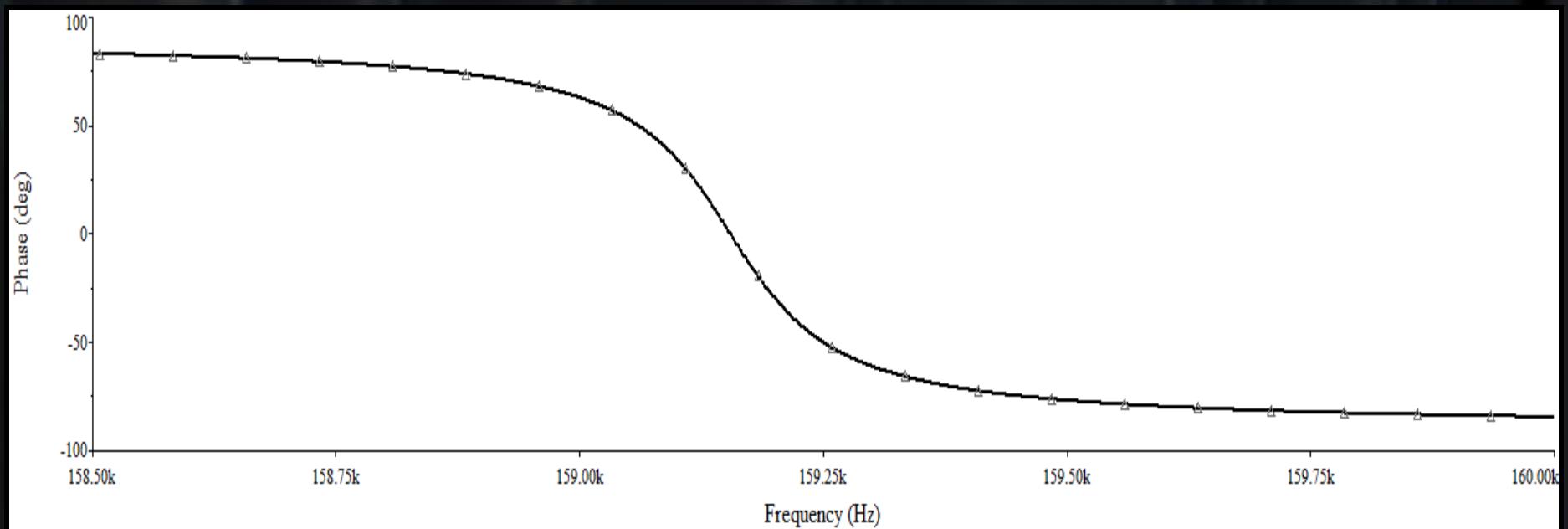
$$Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R}$$

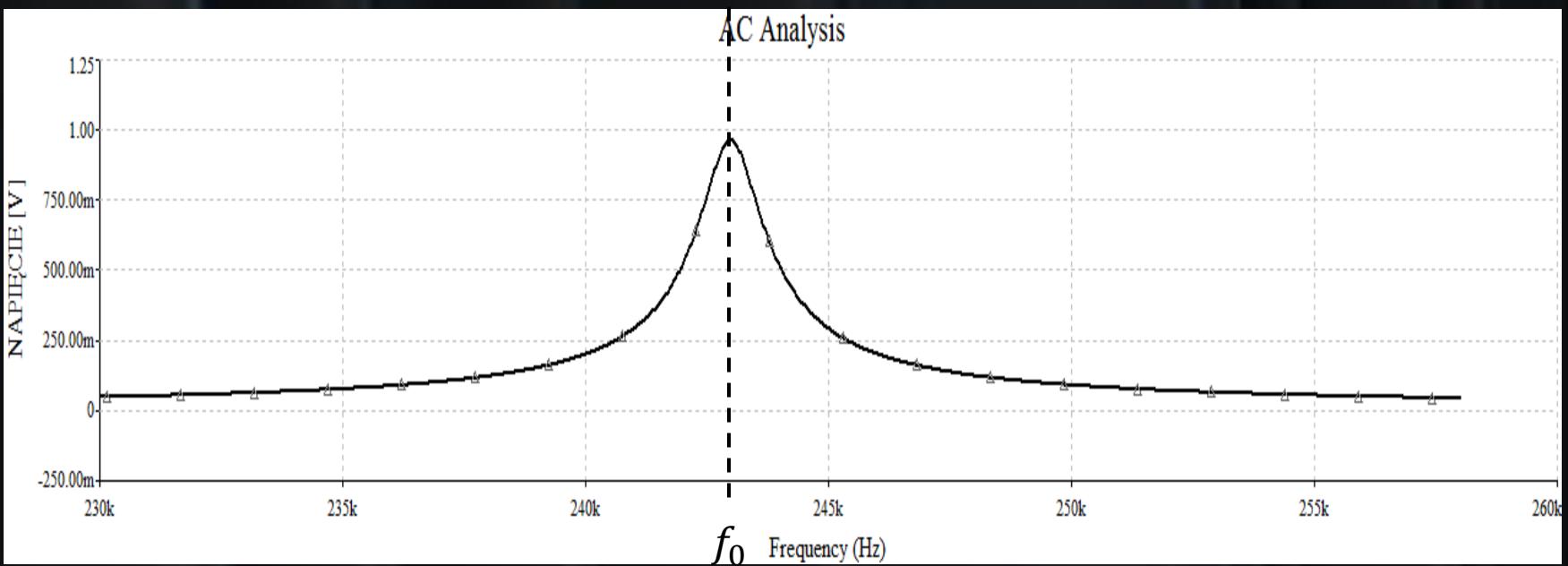
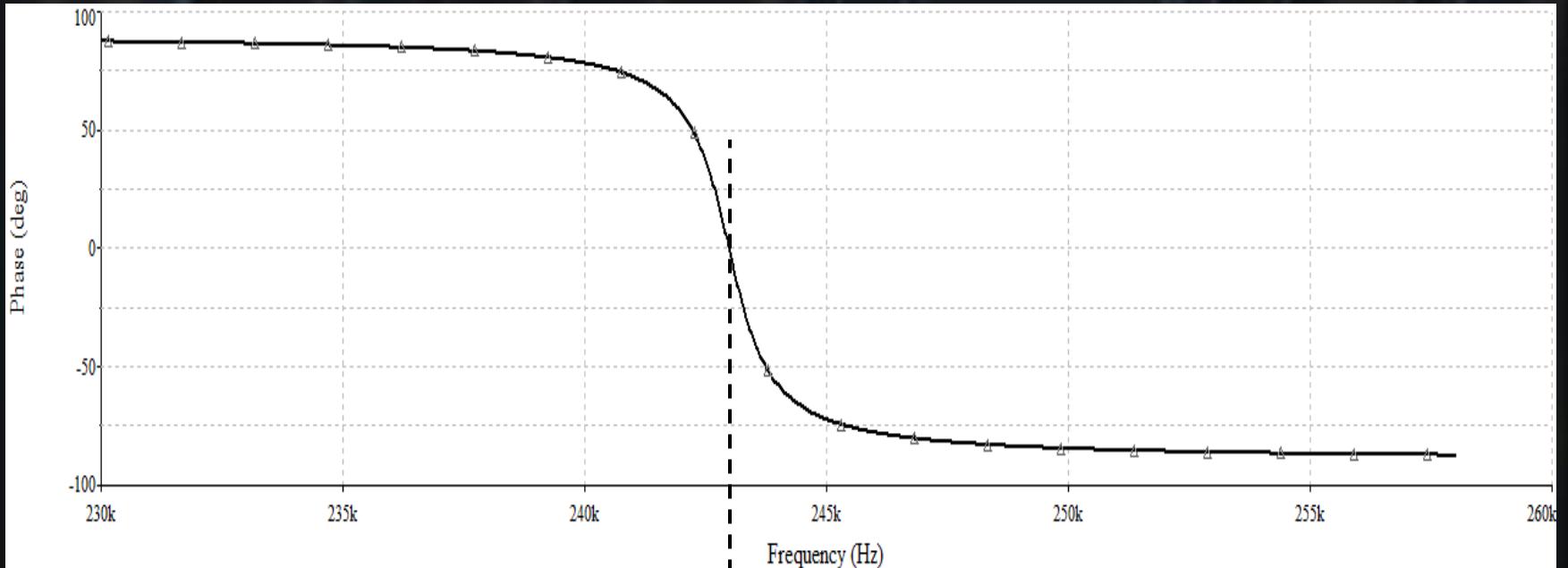
Wielkość występującą w mianowniku nazywamy rezystancją charakterystyczną  $\rho$ .



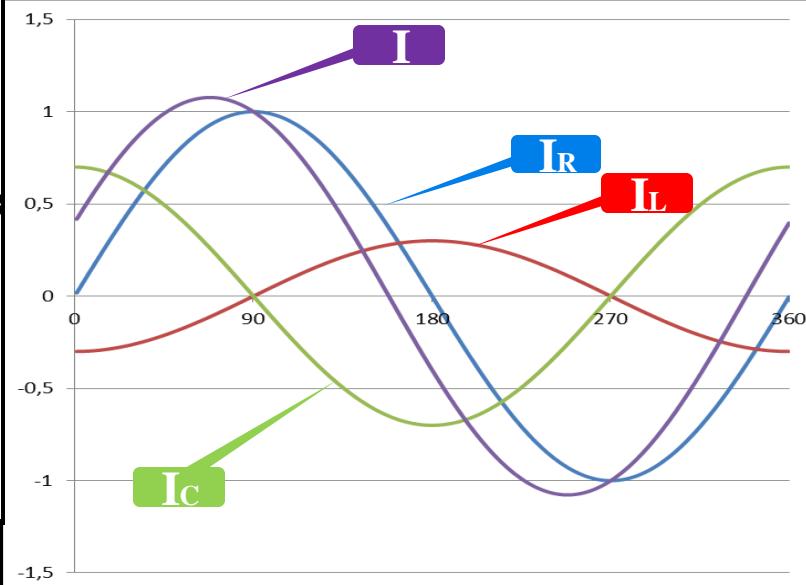
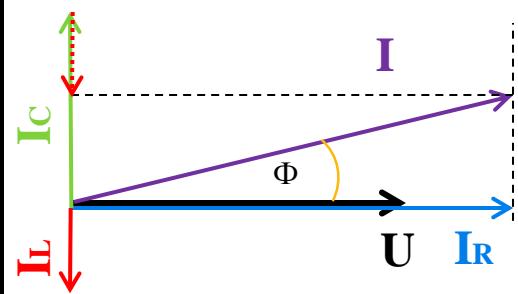
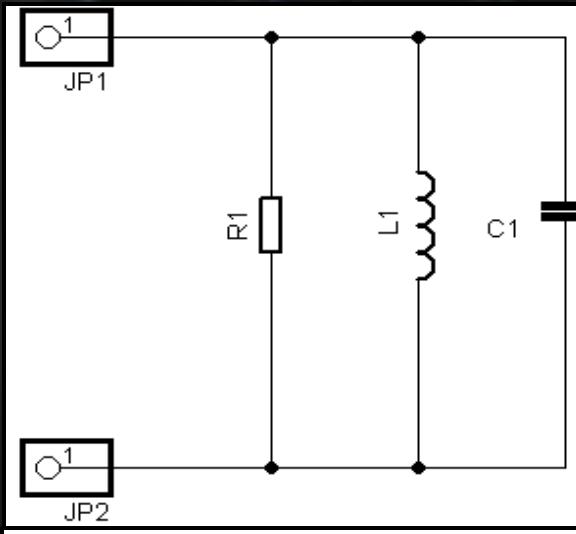
# Charakterystyka fazowa.

$$\varphi = -\arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$





# Obwody rozgałęzione prądu zmennego.



$$Z = \sqrt{\left(\frac{U}{R}\right)^2 + \left(\frac{U}{\omega L} + \frac{U}{\omega C}\right)^2}$$

# Rezonans prądów.

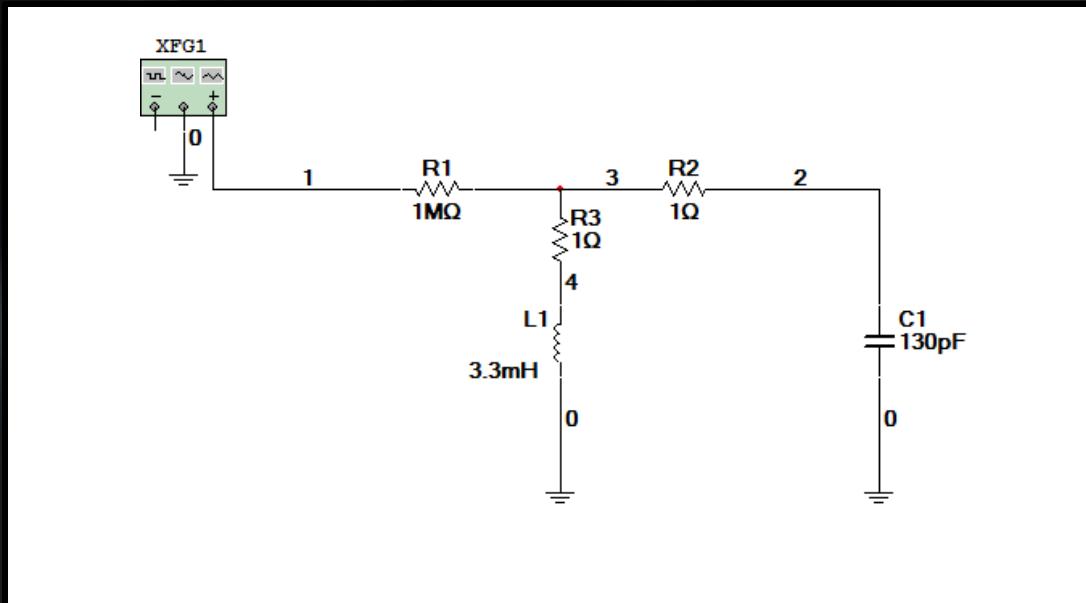
$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

Więc

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ lub } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

# Rezonans równoległy.

Rezonans prądów zwany również **rezonansem równoległy**m może wystąpić w obwodzie zawierającym połączone równolegle elementów RLC. Istnieje wiele struktur obwodów, w których może powstać rezonans prądów. Warunkiem jest pojawienie się równoległego połączenia cewki i kondensatora, przy czym zarówno cewka jak i kondensator może być w układzie połączeń z innymi elementami rezystancyjnymi.



# Rezonans równoległy.

Zjawiskiem rezonansu nazywamy taki stan obwodu RLC, w którym prąd i napięcie są ze sobą w fazie. Warunek będzie spełniony, jeżeli część urojona poniższej zależności będzie równa zeru, czyli:

$$X_L = X_C$$

Uwzględniając że  $X_L = \omega L$  a  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  otrzymamy warunek na częstotliwość rezonansową:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Lub

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

# Dobroć.

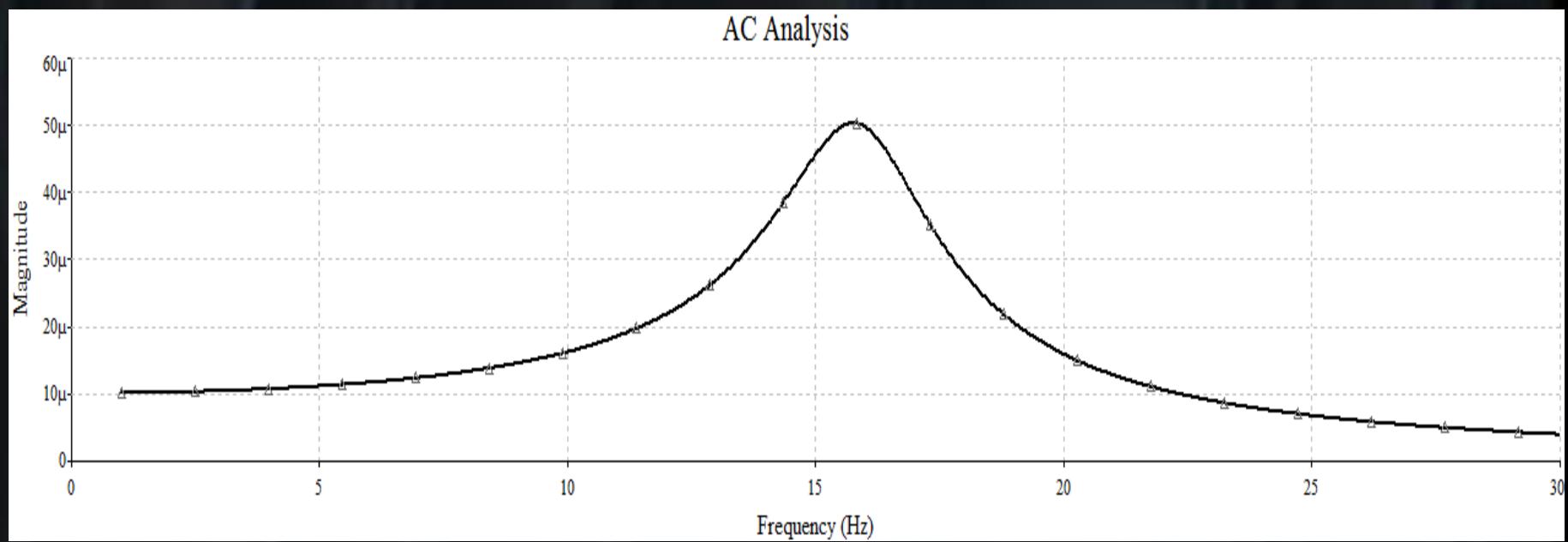
W odróżnieniu od obwodu szeregowego w obwodzie równoległym dobrocią nazywamy stosunek prądu  $I_L$  lub  $C_I$  (są sobie równe w chwili rezonansu) do prądu  $R_I$  w elemencie rezystancyjnym  $R$ .

$$Q = \frac{R}{\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

# Charakterystyka amplitudowa.

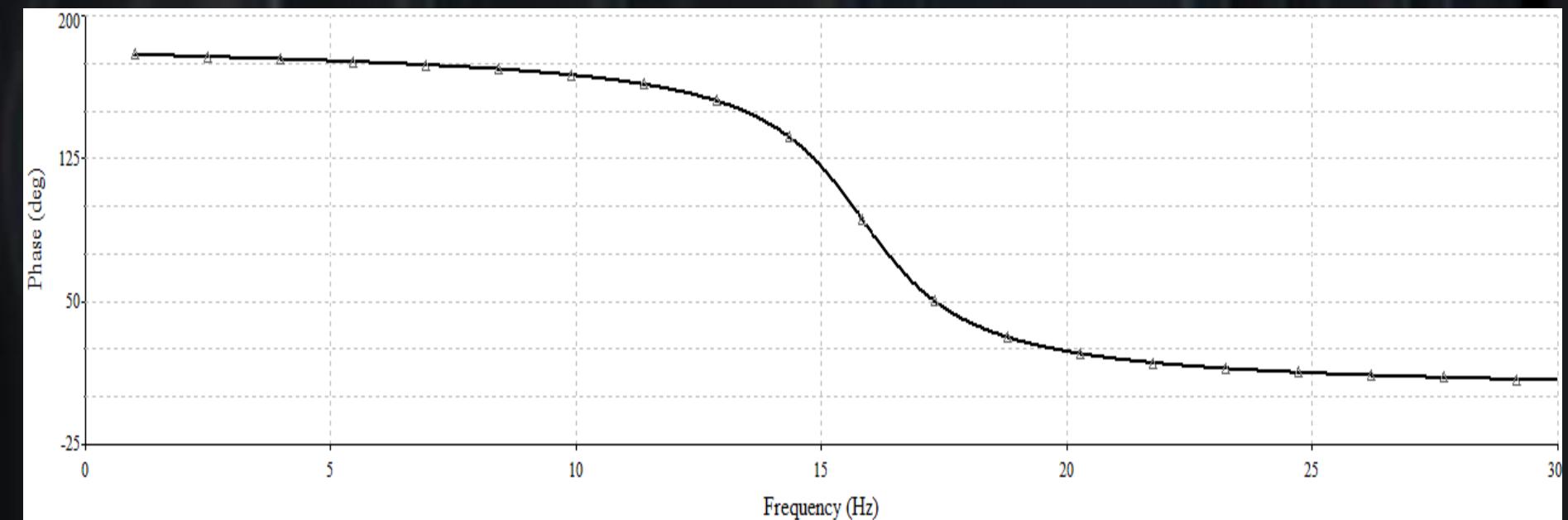
$$|U(\omega)| = \frac{|I|}{\sqrt{G^2 + (\omega C - 1/\omega L)^2}}$$

$$G = 1/R$$



# Charakterystyka fazowa.

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{\omega C - 1/\omega L}{G}$$



# Stany nieustalone w obwodach RC.

Ładowanie i rozładowanie kondensatora.

Opis w dziedzinie czasu

# Stany nieustalone w obwodach RC.

## Ładowanie kondensatora

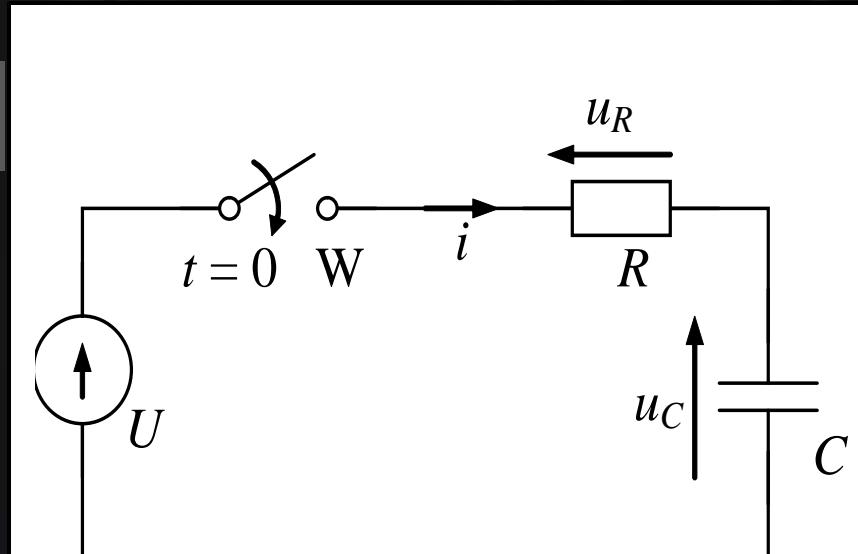
Rozważmy szeregową gałąź  $RC$ , która w chwili  $t = 0$  zostaje załączona na napięcie stałe  $U$  (rys. 1). Na podstawie II prawa Kirchhoffa otrzymujemy

$$U = Ri + u_C = R \left( C \frac{du_C}{dt} \right) + u_C$$

pamiętając, iż  
 $I = \frac{dQ}{dt}$ ,  $Q = UC$

czyli

$$\frac{U}{RC} = \frac{du_C}{dt} + \frac{1}{RC} u_C$$



# Stany nieustalone w obwodach I

Stała czasowa  
 $\tau = RC$

Przy założeniu, że kondensator nie był początkowo naładowany, rozwiązaniem tego równania jest:

$$u_C(t) = U \left( 1 - e^{-t/\tau} \right)$$

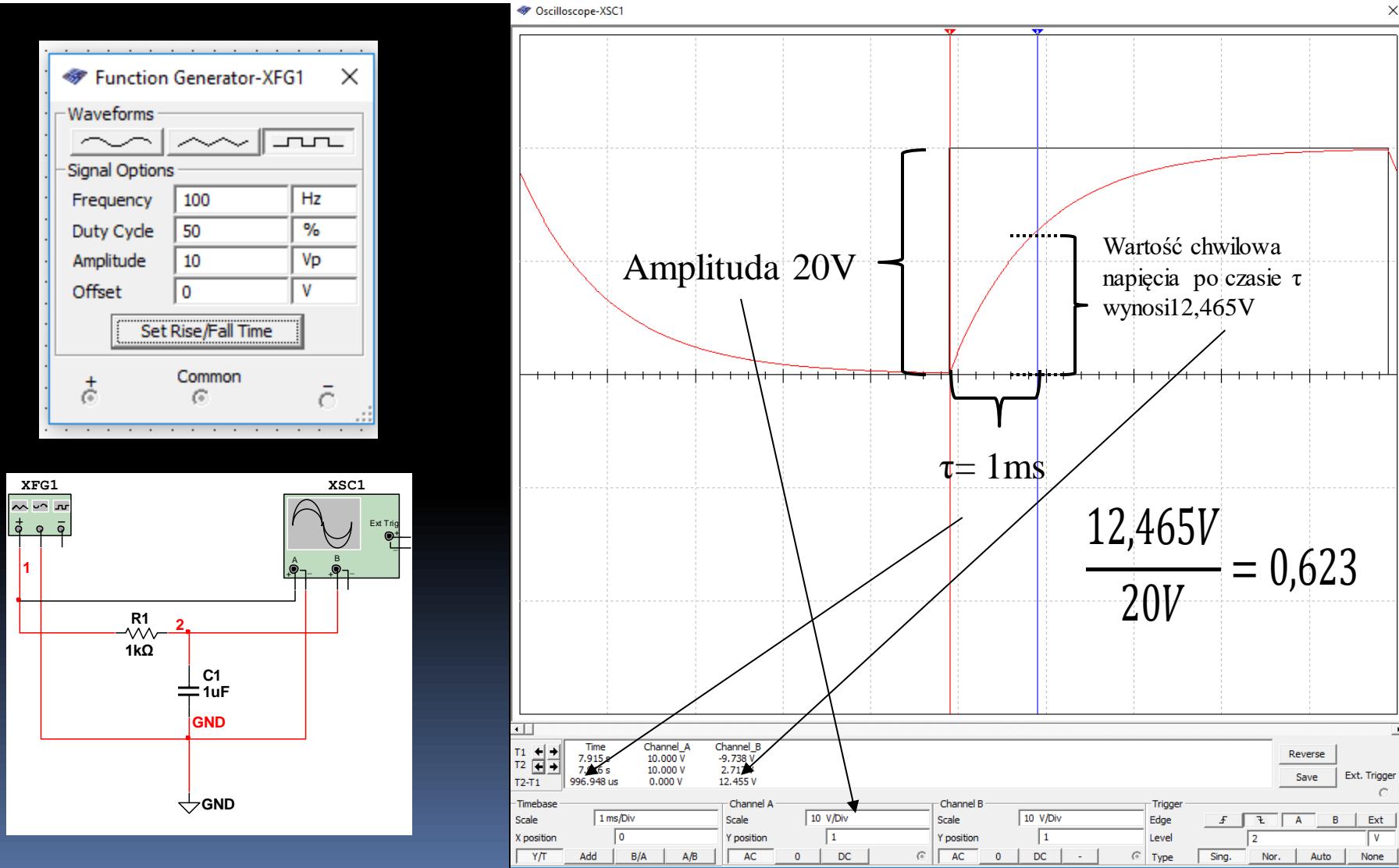
A prąd płynący w obwodzie:

$$i(t) = C \frac{du_C}{dt} + \frac{1}{C} u_C = \frac{U}{R} e^{-t/\tau}$$

gdzie  $t$  jest tzw. **stałą czasową**, która w rozpatrywanym przypadku równa się  $RC$ . Charakteryzuje ona szybkość zanikania składowej przejściowej (szybkość dochodzenia do stanu ustalonego). Przyjmuje się, że po upływie czasu równego około  $3 \div 5$  stałych czasowych składowa przejściowa praktycznie zanika. Z matematycznego punktu widzenia stała czasowa jest czasem, po jakim składowa przejściowa zmalaje e razy.

# Interpretacja stałej czasowej RC.

$$u_C(\tau) = U \left(1 - e^{-\tau/\tau}\right) = U(1 - 0,368) = 0,632U$$

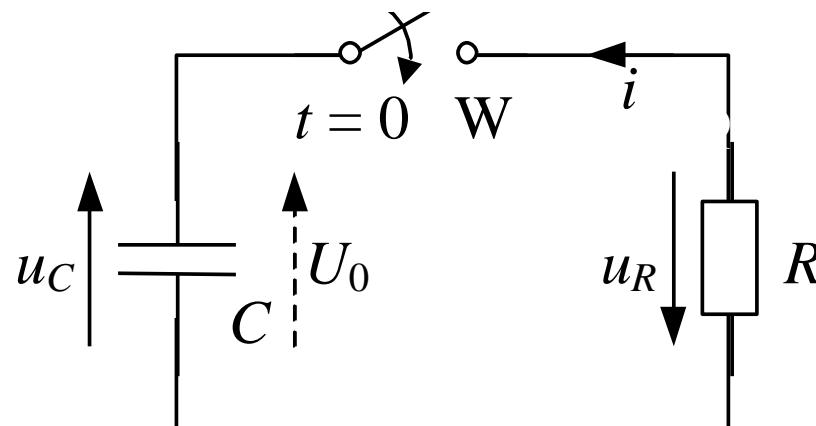


# Rozładowanie kondensatora

Rozważmy kondensator naładowany początkowo do napięcia  $U_0$ . W chwili  $t = 0$  zewrzymy jego zaciski przez rezystor  $R$ . Na podstawie II prawa Kirchhoffa otrzymujemy

$$0 = Ri + u_C = R \left( C \frac{du_C}{dt} \right) + u_C \quad I = \frac{dQ}{dt}, \quad Q = UC$$

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{RC} u_C = 0$$



## Stany nieustalone w obwodach RC. Rozładowanie kondensatora.

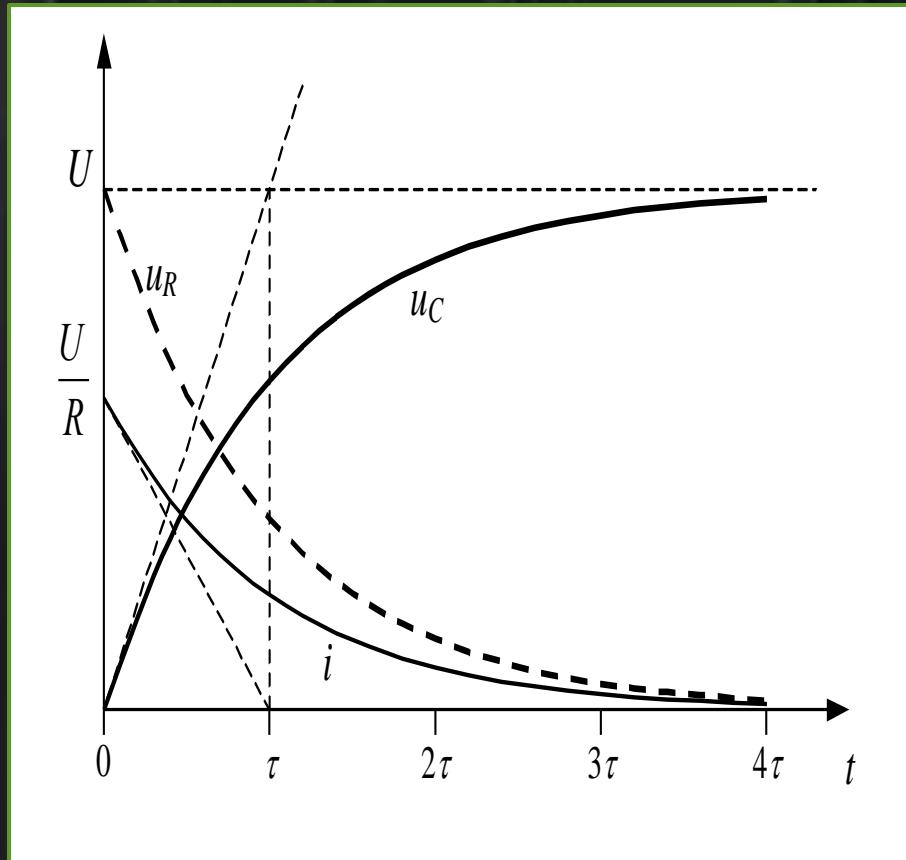
Rozwiązaniem tego równania przy warunku początkowym  $u_C(0) = U_0$  jest:

$$u_C(t) = U_0 e^{-t/\tau}$$

a prąd płynący w obwodzie wynosi:

$$i(t) = C \frac{du_C}{dt} = -\frac{U_0}{R} e^{-t/\tau}$$

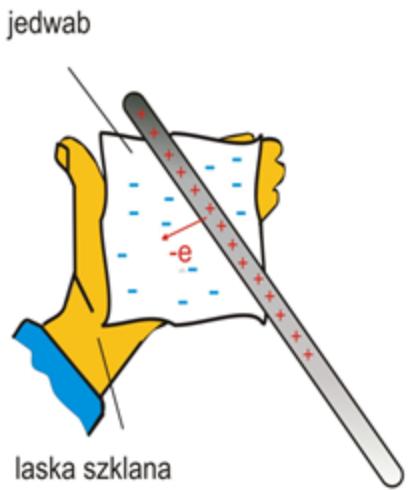
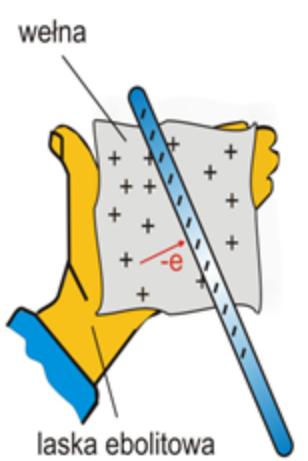
# Stany nieustalone w obwodach RC. Ładowanie kondensatora.



100%  
167



## ELEKTRYZOWANIE PRZEZ POTARCIE



# William Gilbert

ur. 24 maja 1544 w Colchester –  
zm. 10 grudnia 1603 w Londynie



1600

Twórca terminu ELEKTRYCZNOŚĆ!!!

# Otto von Guericke

ur. 20 listopada 1602 w Magdeburgu,  
zm. 11 maja 1686 w Hamburgu



Zbudował pierwszą MASZYNE ELEKTROSTATYCZNĄ!!!

# Stephen Gray

ur. w grudniu 1666 w Canterbury,  
zm. 7 lutego 1736 w Londynie



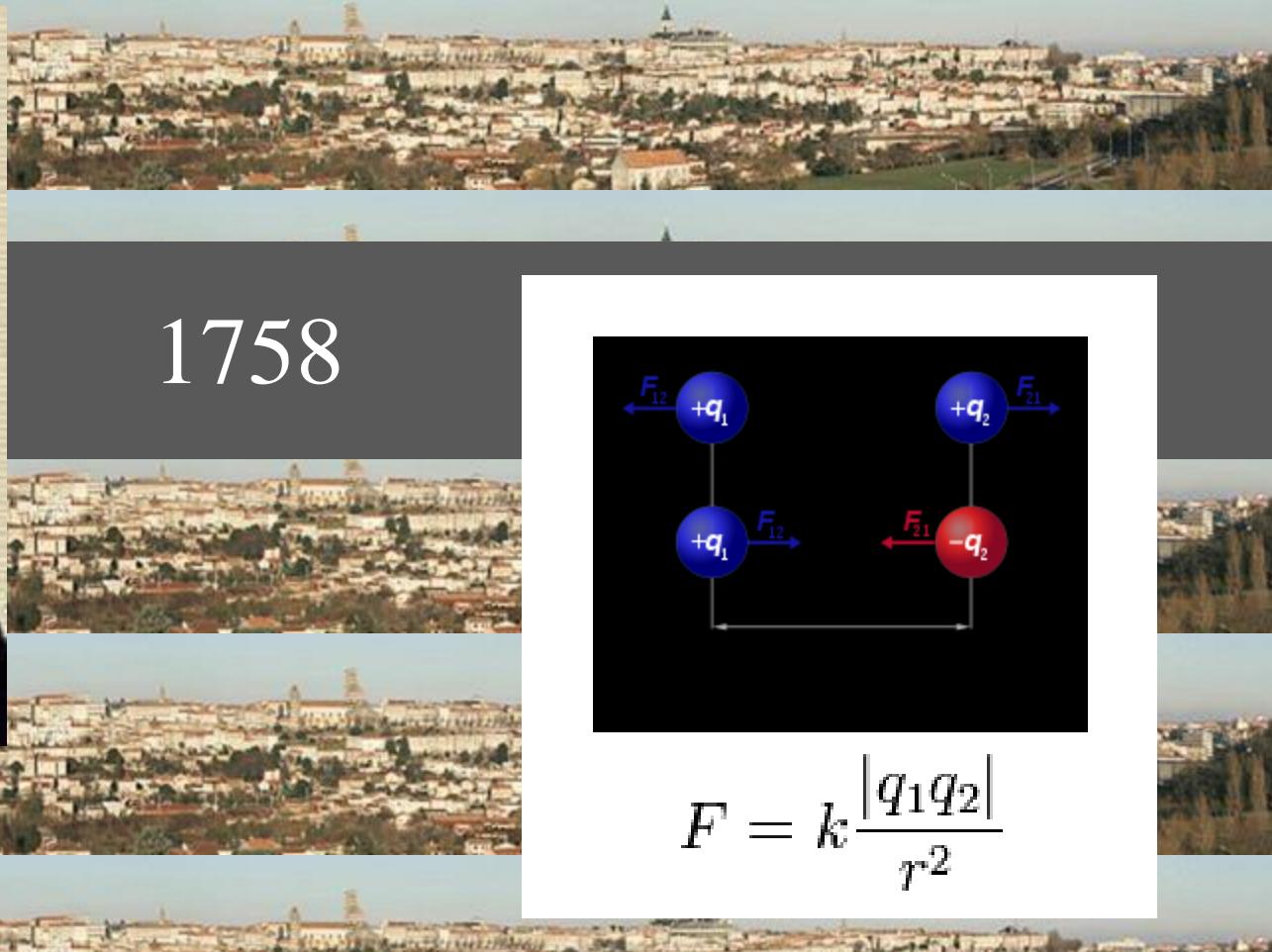
1727



Odkrył zjawisko INDUKCJI ELEKROSTATYCZNEJ!!!

# Charles Augustin de Coulomb

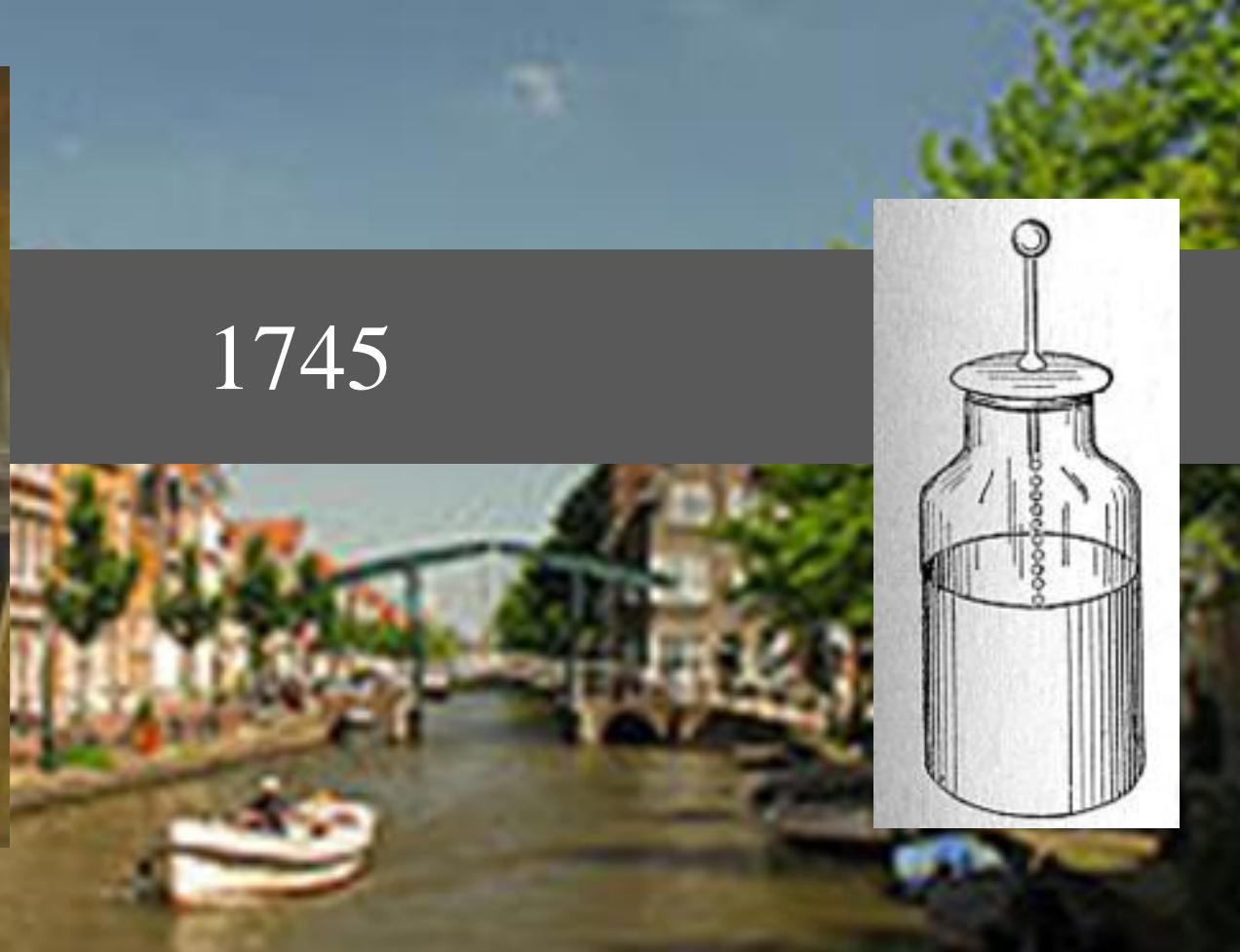
ur. 14 czerwca 1736 w Angoulême,  
zm. 23 sierpnia 1806 w Paryżu



Ogłosił prawo dotyczące oddziaływanie ładunków punktowych.

# Pieter van Muschenbroek

ur. 14 marca 1692 w Lejdzie,  
zm. 19 września 1761 tamże

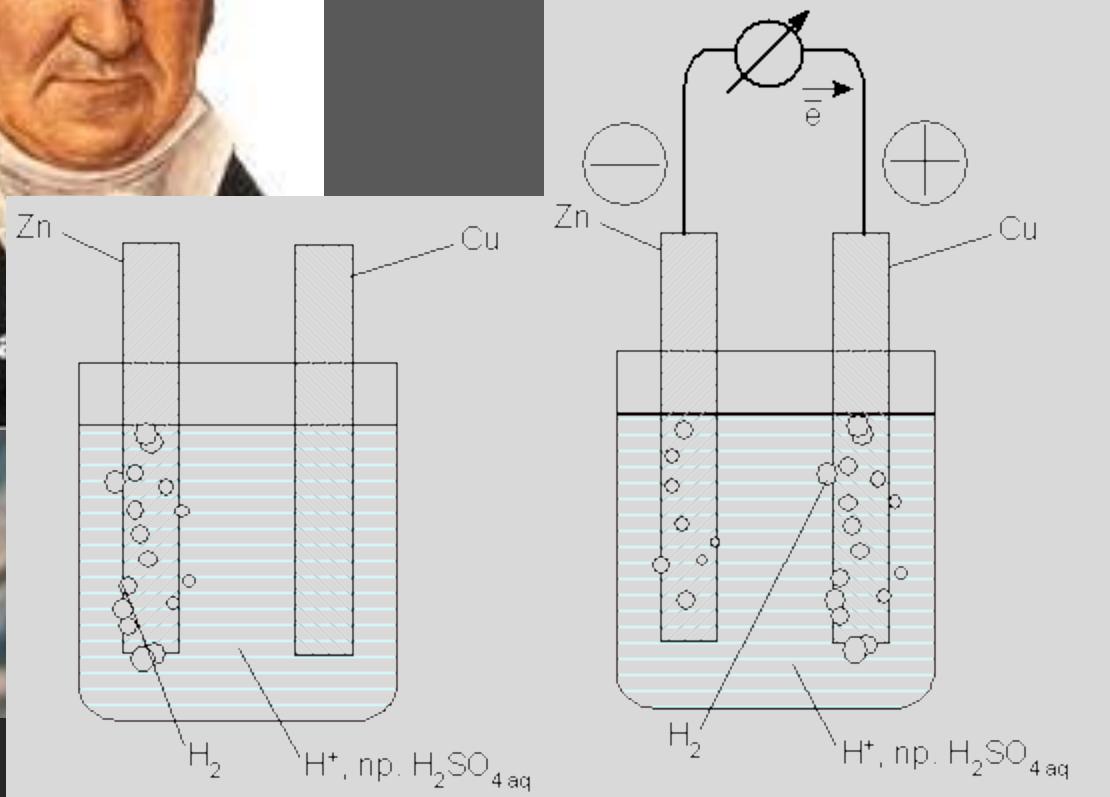
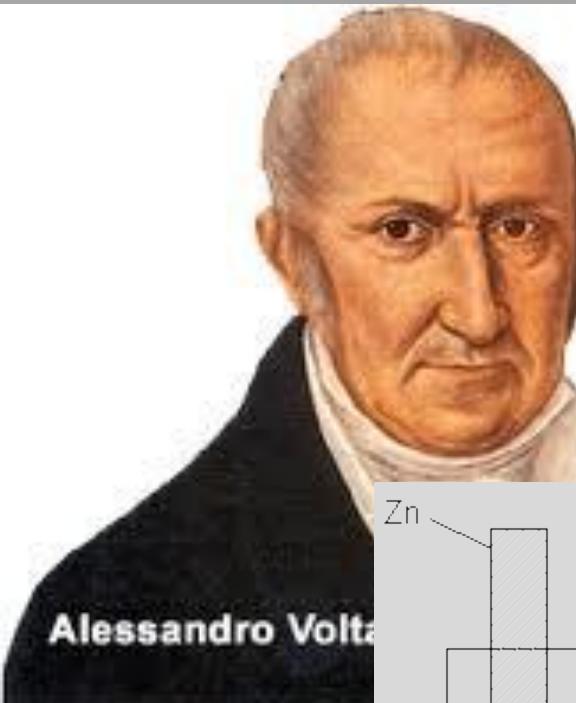


1745

Wynalazł pierwszy kondensator (tzw. BUTELKĘ LEJDEJSKĄ).

# Alessandro Volta

ur. 18 lutego 1745 w Como,  
zm. 5 marca 1827



Ogniwo Volty.

# Hans Christian Oersted

ur. 14 sierpnia 1777 w Rudkøbing,  
zm. 9 marca 1851 w Kopenhadze



1819

W prostym eksperymencie pokazał, że igła kompasu odchyla się pod wpływem prądu w przewodzie.



Wykonał eksperiment świadczący o wzajemnym oddziaływaniu elektryczności i magnetyzmu.

# Andre Maria Ampere

ur. 20 stycznia 1775 w Lyonie, zm. 10 czerwca 1836 w Marsylii, pochowany na Cmentarzu Montmartre w Paryżu



1820

Opisał zjawisko elektrodynamicznego oddziaływania przewodników.



Opisał zjawisko elektrodynamicznego oddziaływania przewodników.

# Georg Ohm

ur. 16 marca 1789 w Erlangen,  
zm. 6 lipca 1854 w Monachium



1826

$$I = U/R$$

Ustalił zależność miedzy opornością, napięciem i natężeniem prądu.

# Michael Faraday

ur. 22 września 1791,  
zm. 25 sierpnia 1867



1831

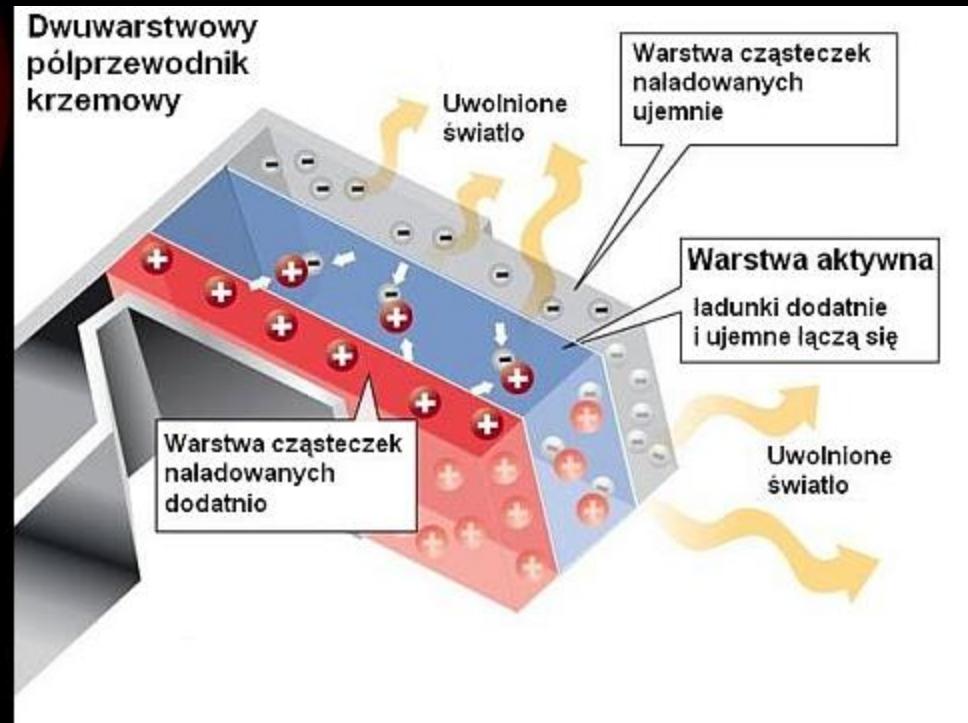
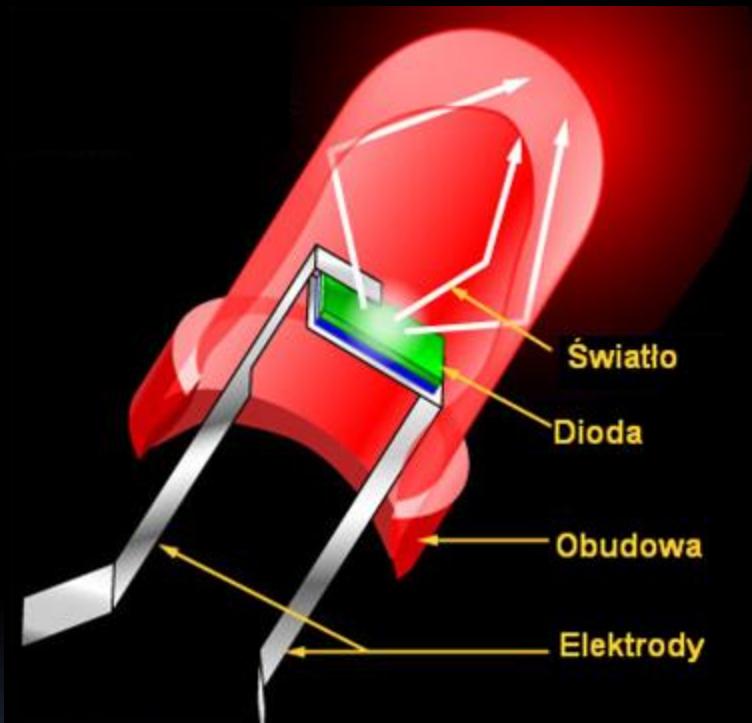
$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{dLi}{dt} = -(L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt})$$

$\varepsilon$  to indukowana siła elektromotoryczna (SEM) w woltach;  $\Phi$  to strumień indukcji magnetycznej przepływający przez powierzchnię objętą przewodnikiem.



Odkrył zjawisko i sformułował zasadę indukcji elektromagnetycznej.

powrót



SD

HD

FHD

UHD

720 x 480  
(0.3M pixels)

1280 x 720  
(0.9M pixels)

1920 x 1080  
(2M pixels)

3840 x 2160  
(8M pixels)



SD      HD      FHD      UHD

720 x 480  
(0.3M pixels)

1280 x 720  
(0.9M pixels)

1920 x 1080  
(2M pixels)

3840 x 2160  
(8M pixels)



**ULTRA HD**  
3840 x 2160

**FULL HD**  
1920 x 1080

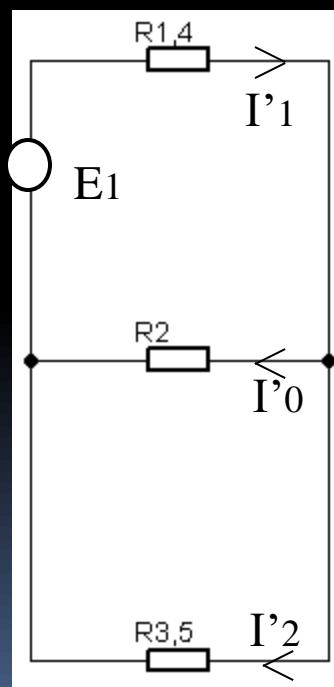
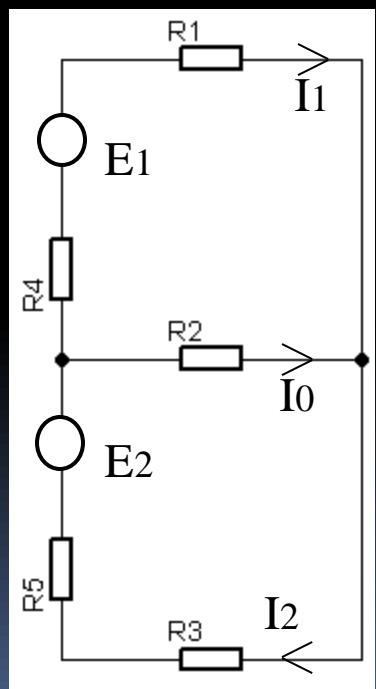
**ULTRA HD**  
3840 x 2160

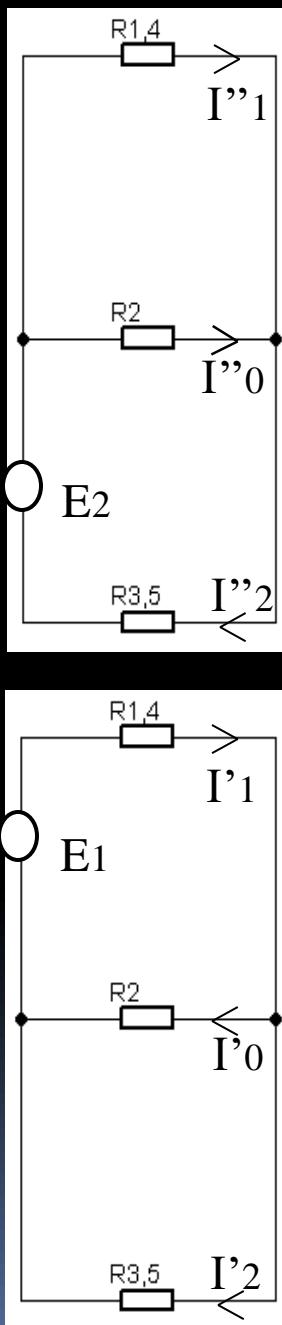
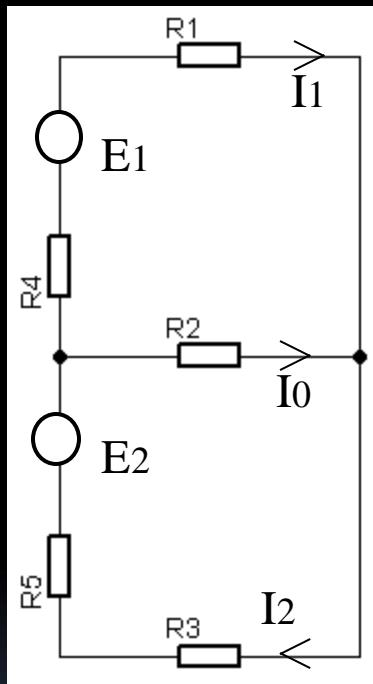
ELEKTRONIKA I TELEKOMUNIKACJA

$$U_C = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t I_C(\tau) d\tau$$

# Zasada superpozycji.

Przy zastosowaniu zasady superpozycji pozostawiamy w obwodzie tylko jedno źródło a usuwamy wszystkie pozostałe, zachowując jednakże ich rezystancje wewnętrzne. Przez usunięcie źródła napięcia rozumiemy jego zwarcie, a źródła prądowego jego rozwarcie. Dane  $E=230V$ ,  $R_1=19\Omega$ ,  $R_2=1\Omega$ ,  $R_3=9\Omega$ ,  $R_4=R_5=1\Omega$





$$I''_2 = \frac{E_1}{R_{3,5} + R_2 \| R_{1,4}} = 21A$$

$$I''_0 + I''_1 = I''_2$$

$$I''_0 \cdot R_2 = I''_1 \cdot R_{1,4}$$

$$I''_0 = I''_2 \cdot \left( R_{1,4} / R_2 \right)$$

$$I''_0 = I''_2 \cdot \frac{R'_2}{R'_2 + R'_{1,4}} = 1A$$

$$I''_1 = I''_2 - I''_0 = 20A$$

$$I'_0 = 10A \quad I'_1 = 11A \quad I'_2 = 1A$$

$$I''_0 = 1A \quad I''_1 = 20A \quad I''_2 = 21A$$

$$\begin{aligned} I_1 &= I'_1 + I''_1 = 12A \\ I_0 &= -I'_0 + I''_0 = 10A \\ I_2 &= I'_2 + I''_2 = 22A \end{aligned}$$