

# **PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI**

## **część 2**

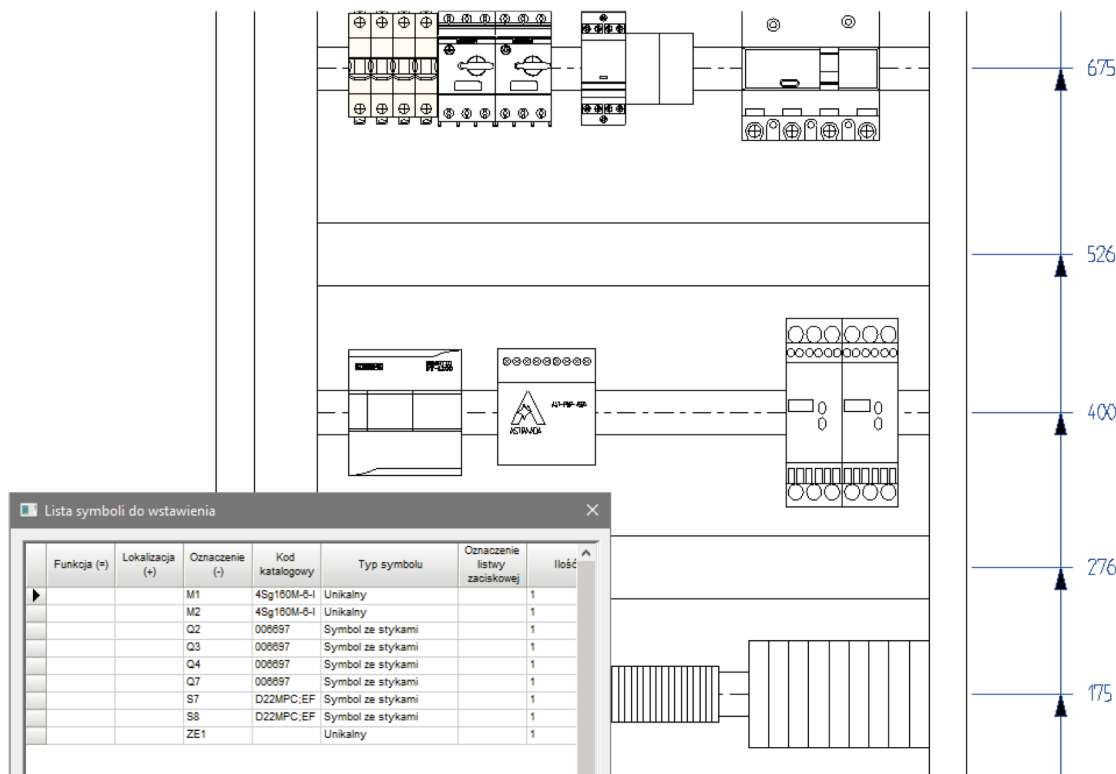
# PROGRAMY CAD ... | OBWODY ELEKTRYCZNE

1. Programy CAD do rysowania schematów
2. Obwody jednofazowe
3. Dzielniki
4. Obwody RC, RLC
5. Obwody trójfazowe

## RYSOWANIE SCHEMATÓW ELEKTRYCZNYCH

1. DoubleCAD XT
2. DraftSight
3. DesignSpark Electrical
4. AutoCad
5. ZWCad – najpopularniejsza alternatywa dla Autocada
6. ProgeCAD – jedna z najtańszych alternatyw dla Autocada
7. See Electrical
8. PCSchematic
9. Eplan
10. ....

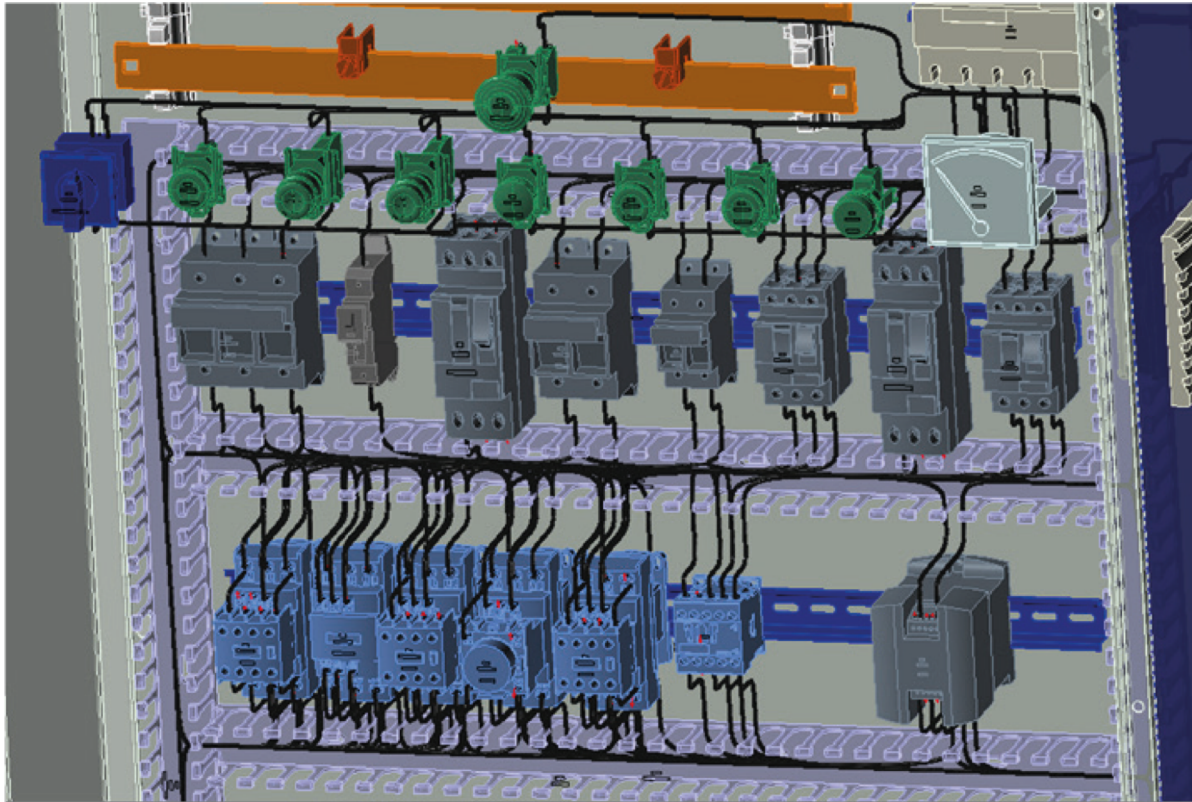
See Electrical



Moduł umożliwia proste projektowanie pulpituów i szaf 2D. Moduł pozwala profesjonalnie projektować pulpity sterownicze i szafy. Moduł może być łączony z konfiguracją Standard lub Advanced. Automatycznie wiąże symbole wstawione na schematach z tymi wstawionymi w innym module. Aparaty wstawiane są bezpośrednio z listy, która zawiera wszystkie części użyte w projekcie.

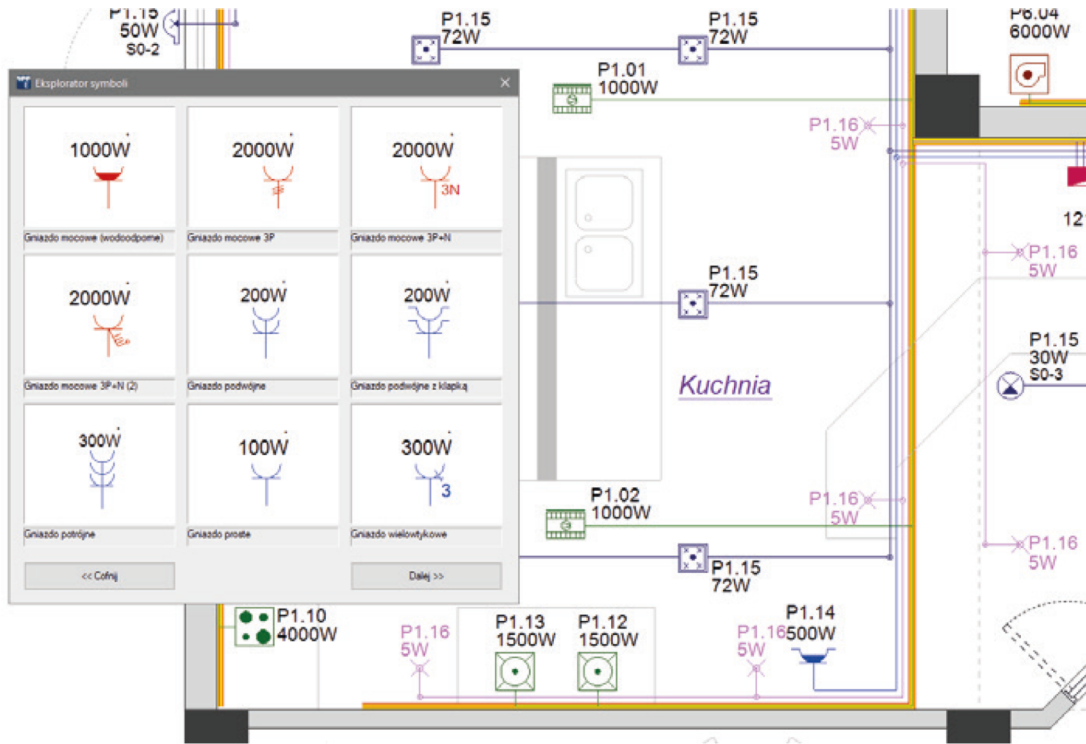
Elementy wstawiane do szaf są prawidłowo skalowane, pobierają dane o szerokości i wysokości z katalogu aparatury.

See Electrical



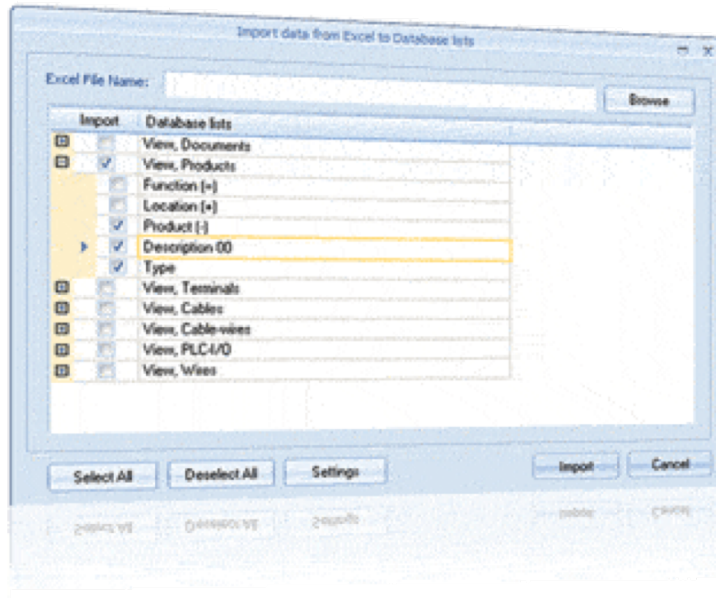
Moduł służący do wydajnego projektowania szaf elektrycznych w 3D. Moduł ten pozwala profesjonalnie projektować pulpity sterownicze i szafy w środowisku 3D. Moduł wymaga posiadania konfiguracji Standard lub Advanced. Program wykorzystuje katalog aparatury SEE Electrical do doboru płyty montażowej i obudowy szafy oraz wstawiania szyn i korytek kablowych.

See Electrical



Moduł CAD służy do rysowania instalacji elektrycznych na podkładach budowlanych (Dostępny z programem na każdym poziomie.)  
 Jest łatwy w użytkowaniu z wieloma bibliotekami symboli elektrycznych jak i elementów architektury. Ma możliwość tworzenia własnych symboli oraz wstawiania tekstów w dowolnych miejscach rysunku.

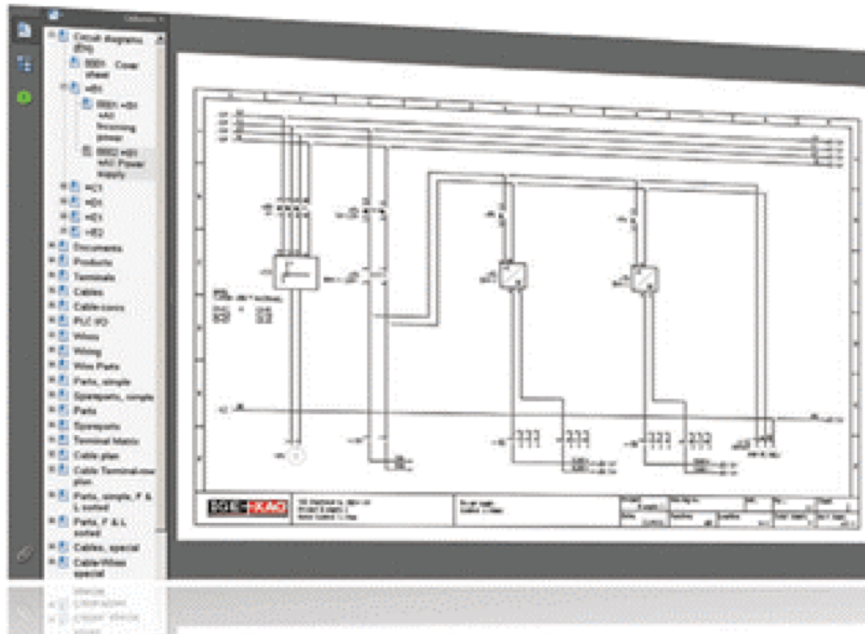
See Electrical



## Open Data

Moduł służy do wzajemnej wymiany danych pomiędzy plikami programu, a arkuszami programu Excel. Dzięki temu projektant oszczędza czas wprowadzania danych: Zawartość bazy technicznej projektu może być edytowana w arkuszach Excel, a następnie zaimportowana do programu SEE Electrical. Moduł ten daje możliwość edycji danych w projekcie bez dostępu do oprogramowania typu CAD elektryczny.

See Electrical



## Intelligent PDF

Moduł umożliwia generację rysunków PDF, z zachowaniem nawigacji pomiędzy adresami krosowymi oraz hiper linkami. Możliwe jest tworzenie dokumentu wielojęzycznego oraz pliku ze znakami wodnymi.

See Electrical

## Intelligent Drawing Legacy-IDL

Moduł wspomaga przerysowywanie zeskanowanej dokumentacji elektrycznej.

Dostępne są dwa typy funkcjonalności, które mogą być użyte razem lub osobno.

1. Poziom Basic – Przetwarzanie zeskanowanej dokumentacji. Importowanie wielu rysunków do osobnych schematów. W przypadku, gdy symbole są wstawione poza obszarem roboczym, zostaje dodane białe pole. Wprowadzanie zmian jest szybkie i proste.

2. Poziom Standard – Rozpoznawanie bloków importowanych z plików DXF/DWG. Po zdefiniowaniu odpowiedników symboli, import pozostałych elementów może być przeprowadzony w sposób inteligentny. W rezultacie będzie możliwa nawigacja, połączenia będą ponumerowane, a zestawienia generowane są jak w przypadku normalnych projektów stworzonych z użyciem SEE Electrical.

# AutoCAD



# AutoCAD

AutoCAD Electrical DEMO01.DWG

Home Project Schematic Panel Reports Import/Export Data Electromechanical Conversion Tools Add-ins A360 Featured Apps

Tools Schematic Panel Attributes Touch

PROJECT MANAGER

INFPADemo

Projects

SCHEMATIC

- demo01.dwg
- demo02.dwg
- demo03.dwg
- demo04.dwg
- demo05.dwg
- demo06.dwg
- demo07.dwg
- PANEL
- demo08.dwg
- demo09.dwg

EXTRA LIBRARY DEMO

POINT2POINT

WDDEMO

Details

Status: Accessible

Sheets

Description: Flow and Interconnection diagram, I/O list

File Name: demo01.dwg

Location: C:\Users\greston.dunivin\Documents\AcadE 2018\AeData\proj\INFPADemo

File Size: 117KB (119852 bytes)

Last Saved: 2/13/2017 11:41:14 AM

Last Edited By:

MAIN CONTROL PANEL  
 REF DWG DEMO09

RECP226 RECP227

207CBL 211CBL 215CBL

TAS624 TAS617

LS406 LS407 LS408

FLOW

TAS607 TAS623

JBOX TS-A

DISC207 DISC211 DISC215

RECP229

OPERATOR STATION  
 REF DWG DEMO08

CONVEYOR MOTOR  
 MTR208

HYDRAULIC MOTOR  
 MTR212

INDEXING MOTOR  
 MTR216

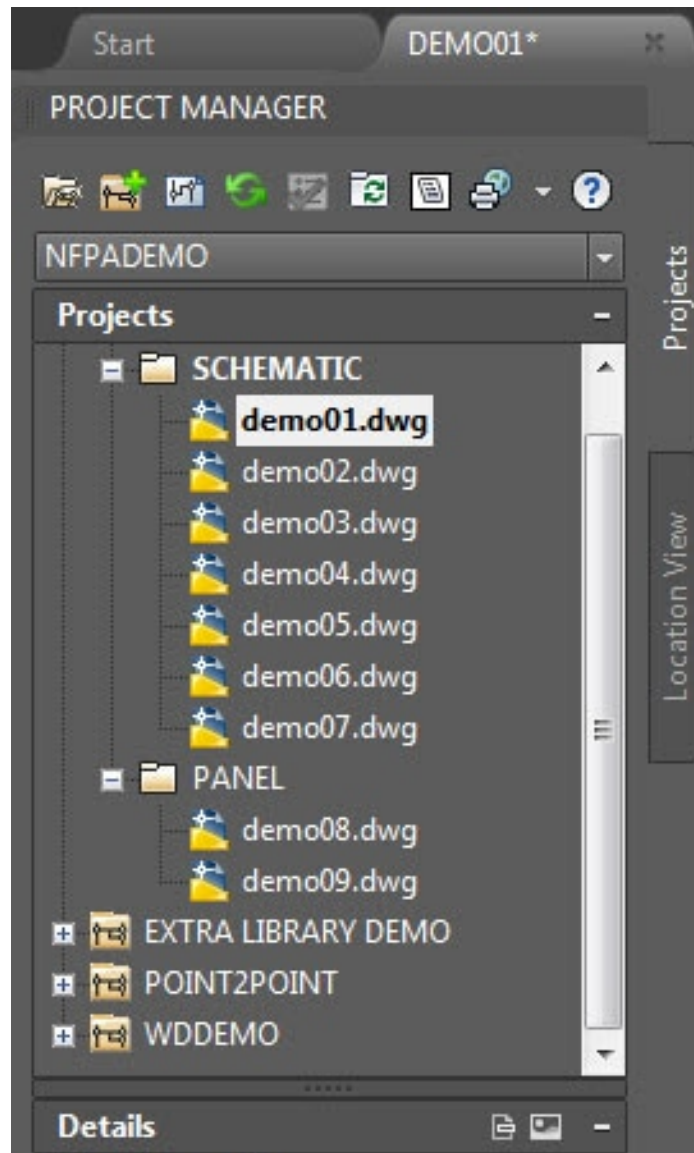
STACK LIGHT

MACHINE DEVICES

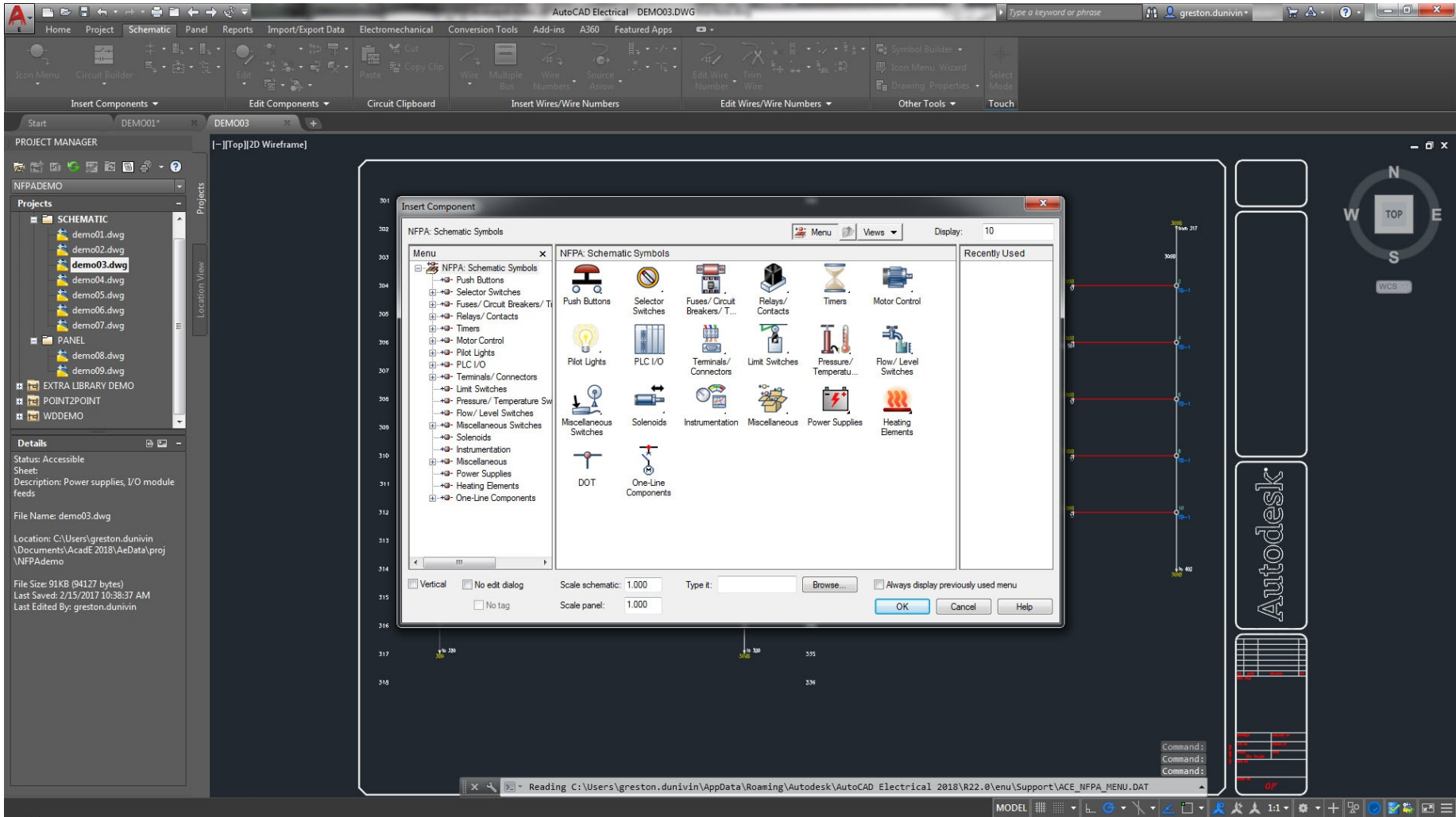
Device	Location	Attributes
DISC207	...	...
DISC211	...	...
DISC215	...	...
...	...	...

Autodesk

# AutoCAD

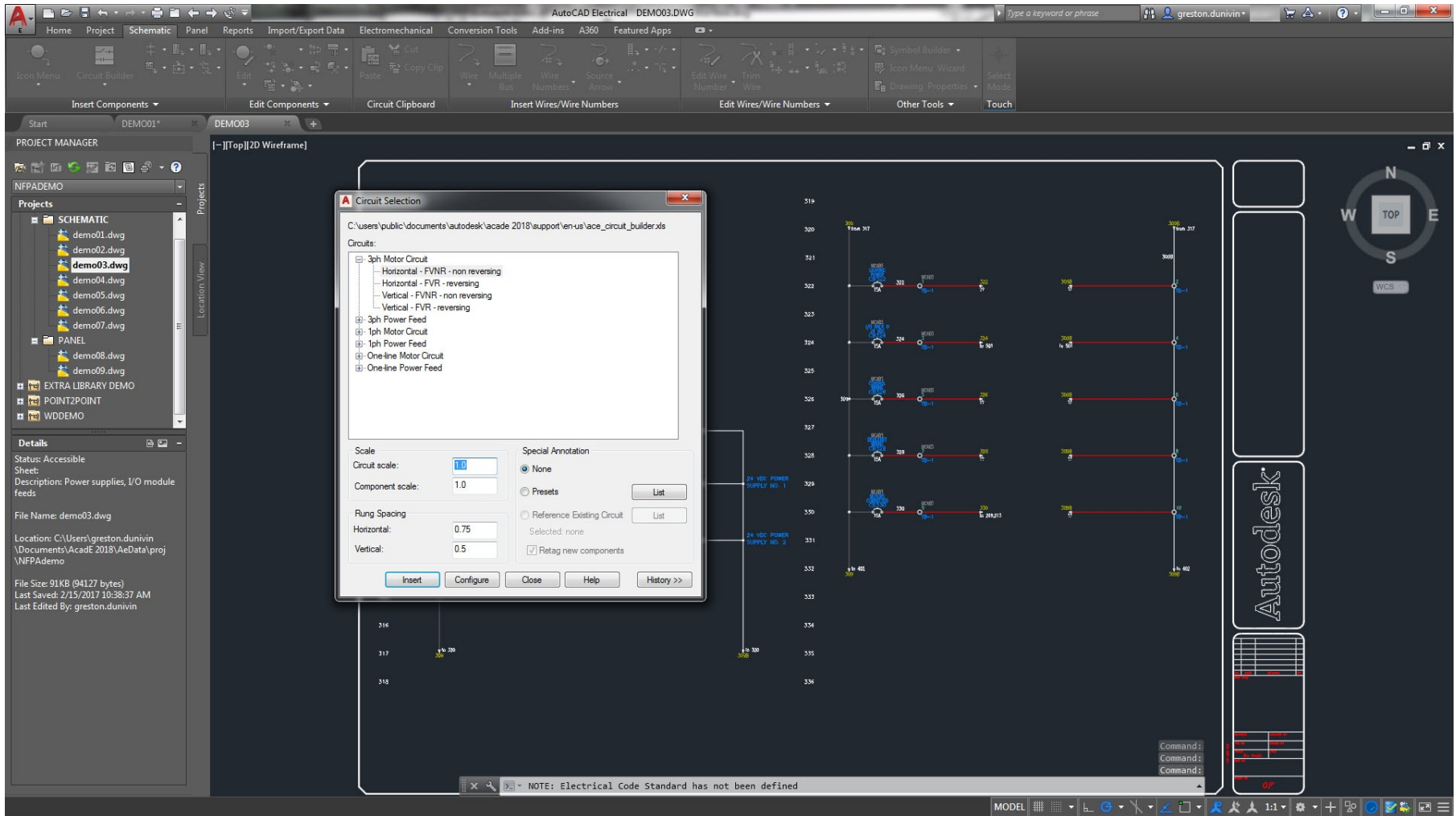


# AutoCAD



Biblioteki symboli do schematów elektrycznych

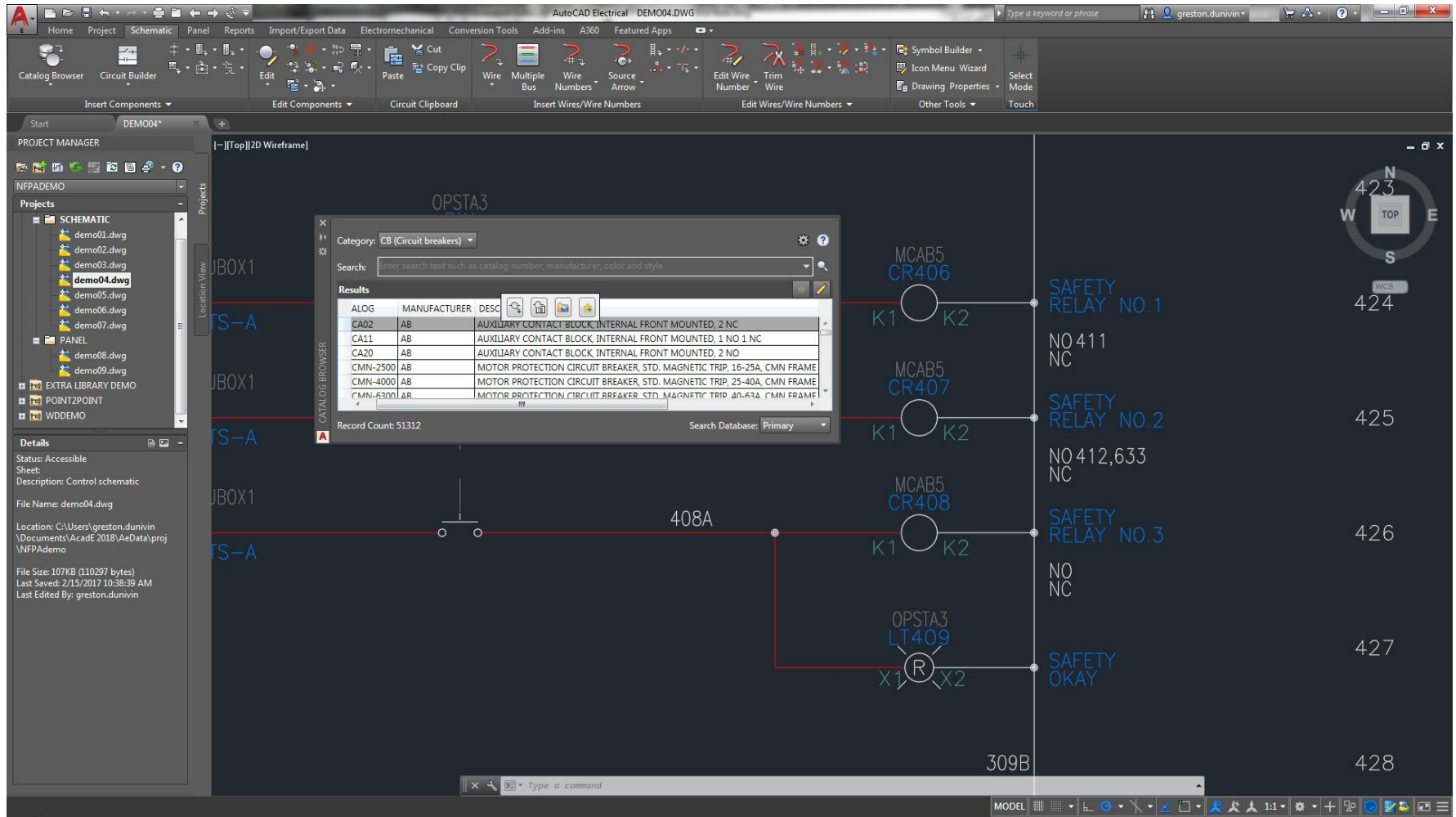
# AutoCAD



Projektowanie i ponowne wykorzystywanie obwodów

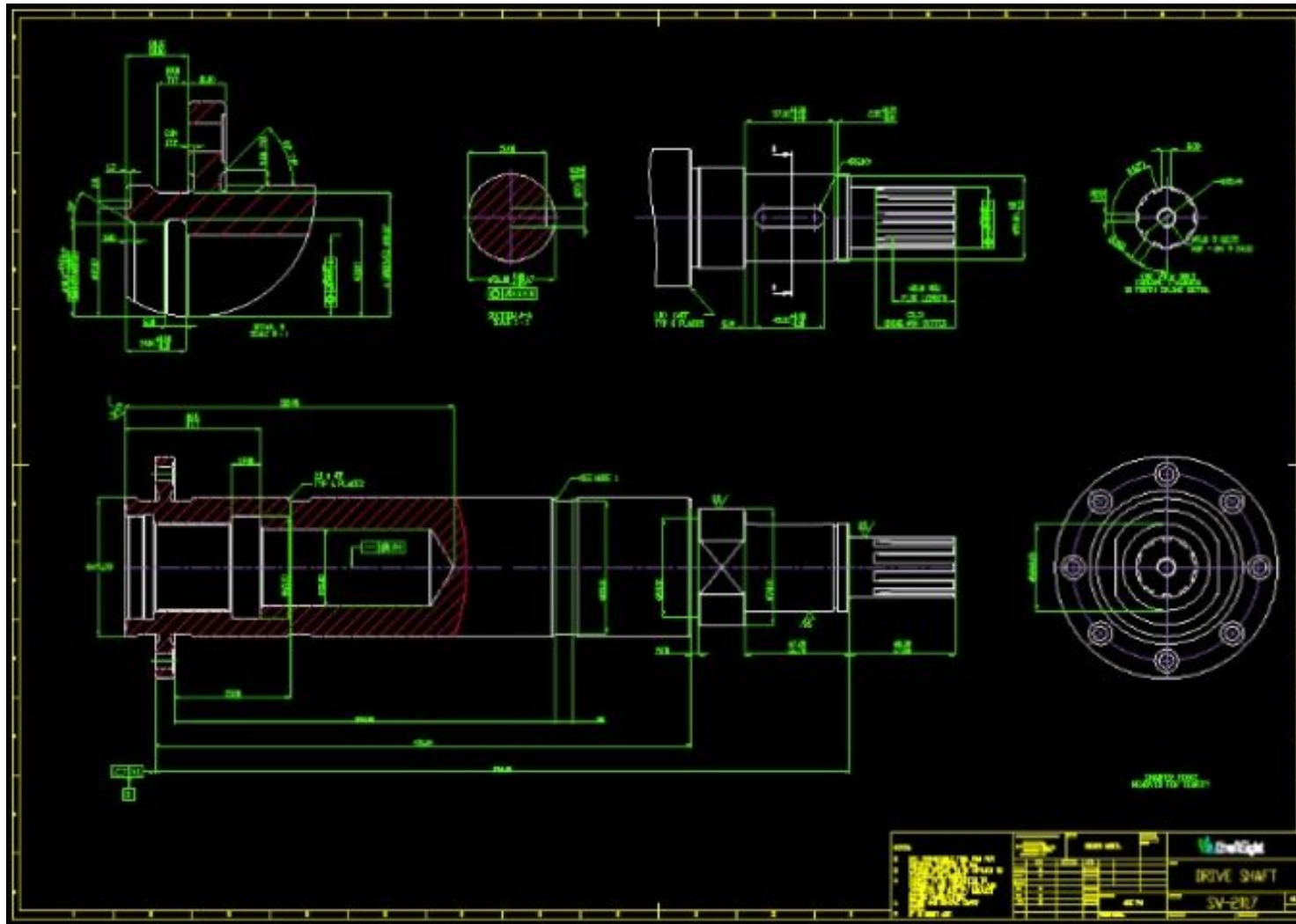


# AutoCAD

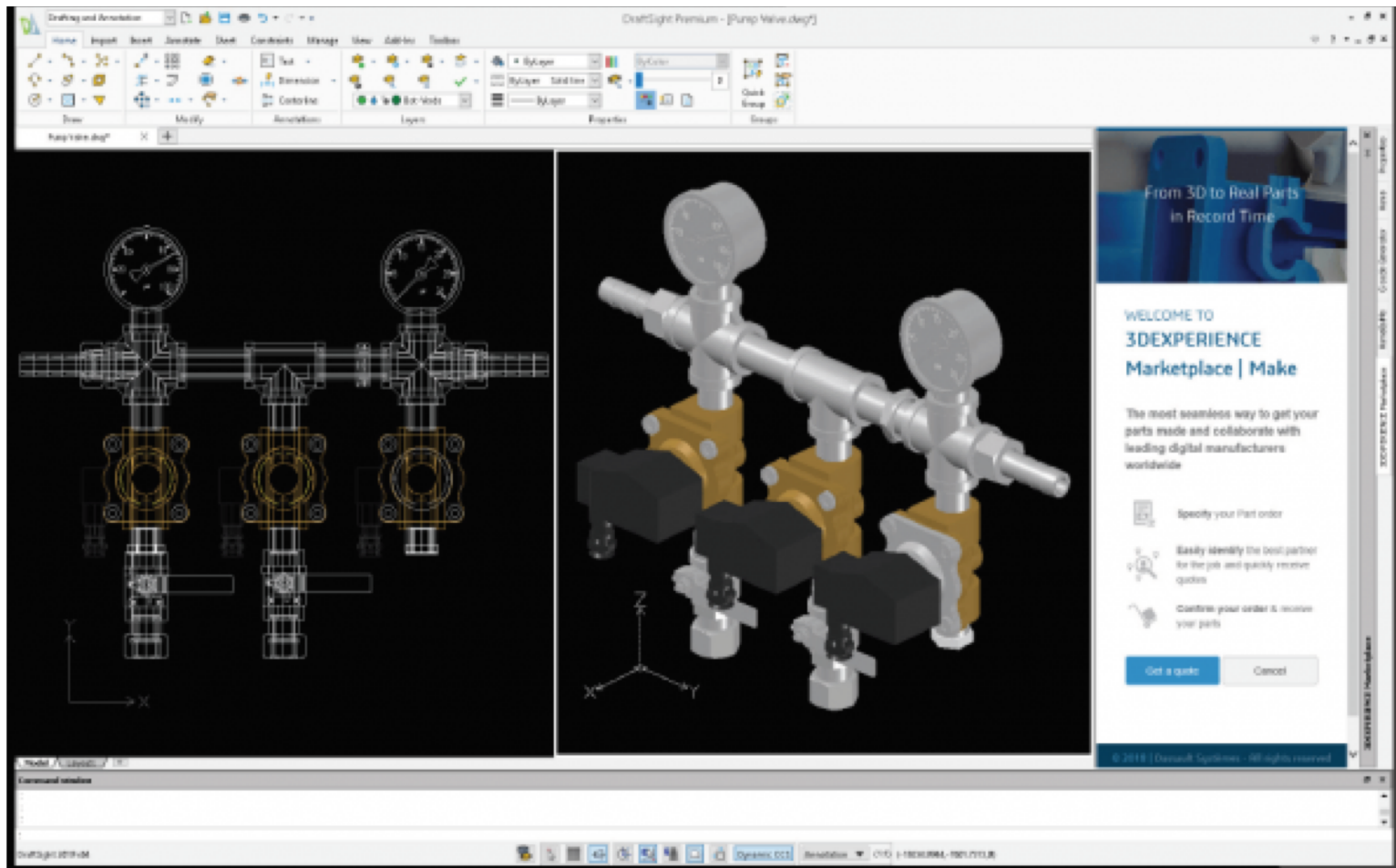


**Przeglądarka katalogów części**  
Ulepszony podgląd i bezpośrednie wstawianie komponentów.

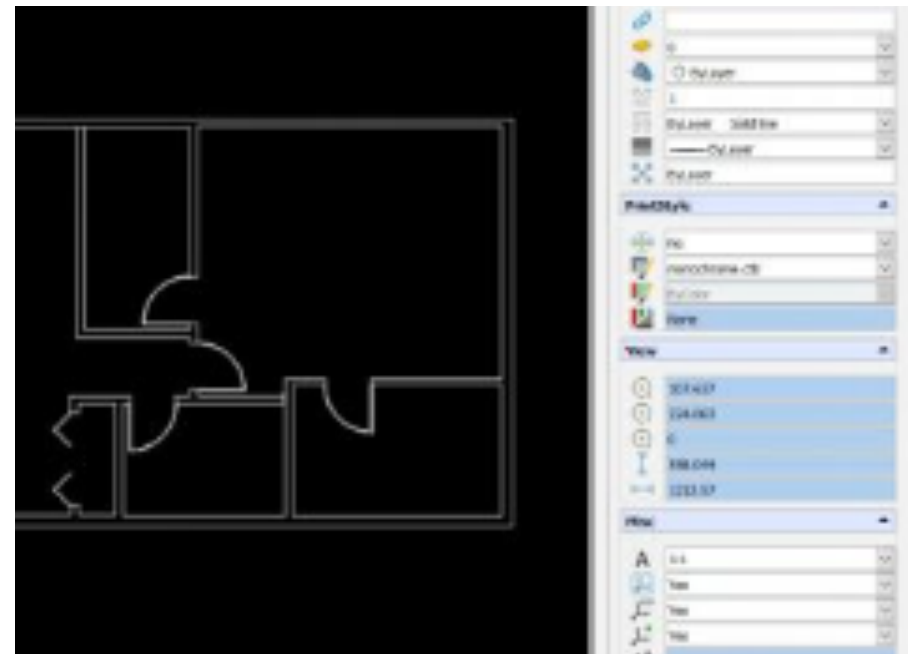
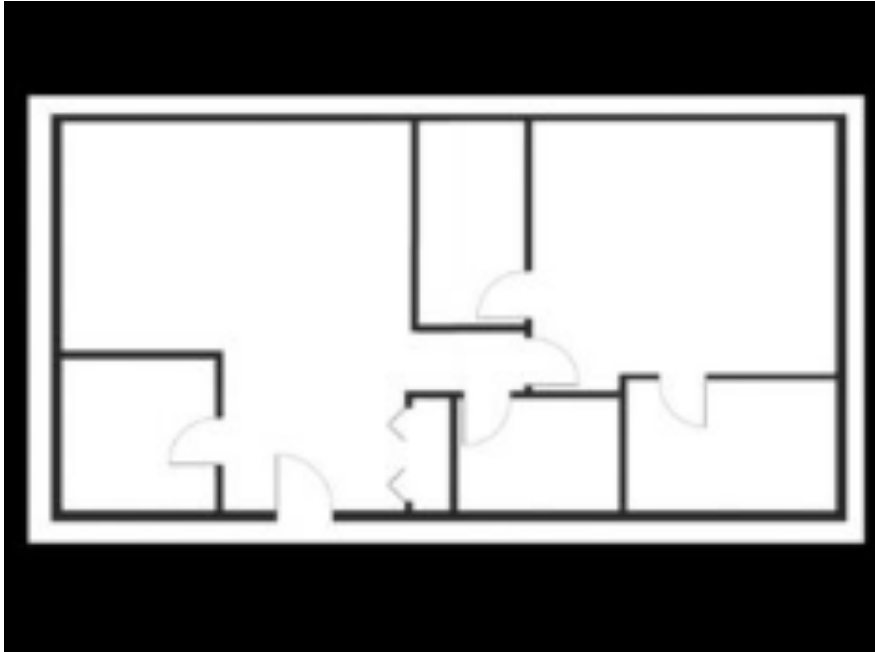
# Draft sight



# Draft sight



## Draft sight



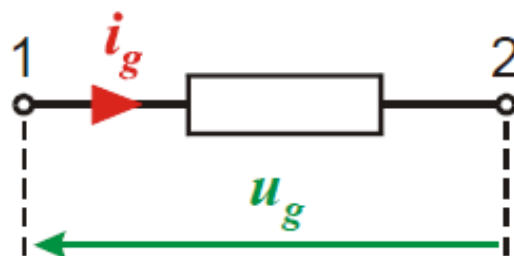
Konwersja pliku rastrowego na DWG

# OBWODY ELEKTRYCZNE JEDNOFAZOWE



**Gałąź obwodu** jest to układ zawierający jeden lub wiele dowolnie połączonych elementów (zarówno pasywnych jak i aktywnych), posiadający dwie wyprowadzone końcówki (zaciski) do połączenia z pozostałą częścią obwodu.

Gałąź jest więc dwójnikiem do opisu którego wystarczy znajomość napięcia gałęziowego  $u_g$  i prądu gałęziowego  $i_g$ .

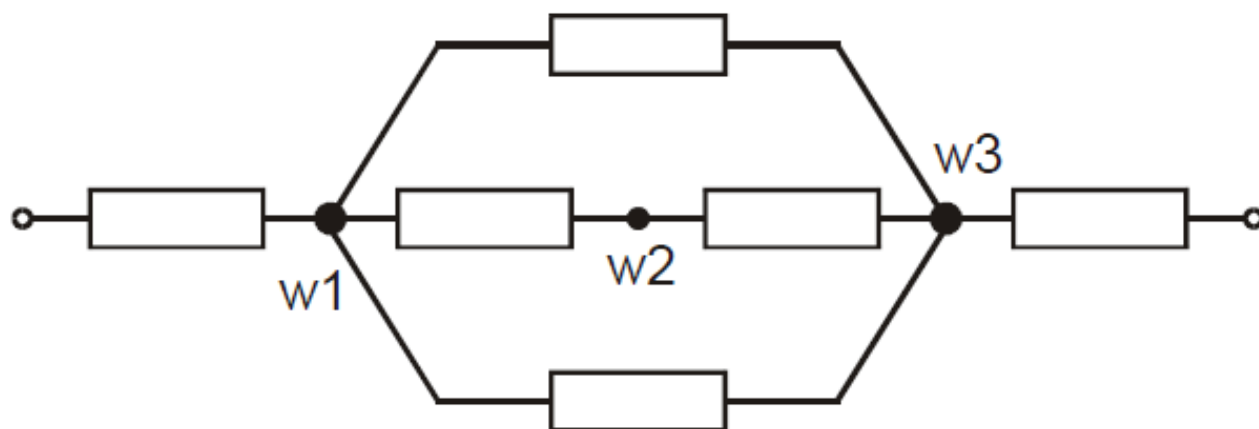


*Gałąź obwodu*

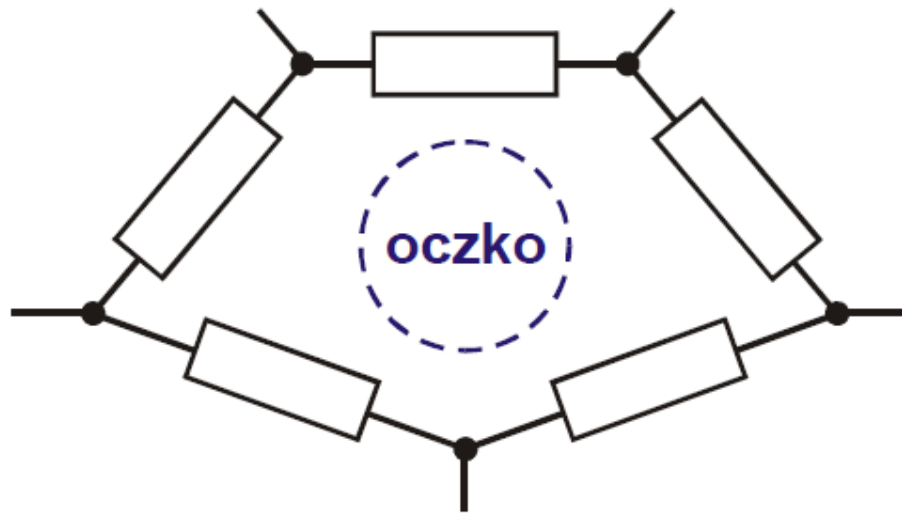
Końcówkom gałęzi często narzuca się kolejność, tzn. oznaczamy jedną z nich jako pierwszą (1), która stanowi początek gałęzi a pozostałą jako drugą (2), stanowiącą jej koniec.

Węzłem obwodu nazywamy końcówkę (zacisk) gałęzi, do której jest przyłączona jedna następna gałąź lub kilka gałęzi.

- *Węzłem głównym* obwodu nazywamy końcówkę (zacisk) gałęzi do której dołączono co najmniej dwie inne gałęzie (w1 i w3). Zatem węzeł główny (zwany potocznie węzłem), to taki punkt (zacisk) obwodu w którym zbiegają się co najmniej trzy końcówki różnych gałęzi.
- Jeśli liczba zbiegających się w punkcie końcówek gałęzi jest równa dwa, to punkt nazywamy *węzłem pomocniczym*. (w2).



**Oczko obwodu** elektrycznego jest to zbiór połączonych ze sobą gałęzi tworzących zamkniętą drogę dla prądu i posiadającą tę właściwość, że po usunięciu dowolnej gałęzi oczka pozostałe gałęzie nie tworzą drogi zamkniętej.

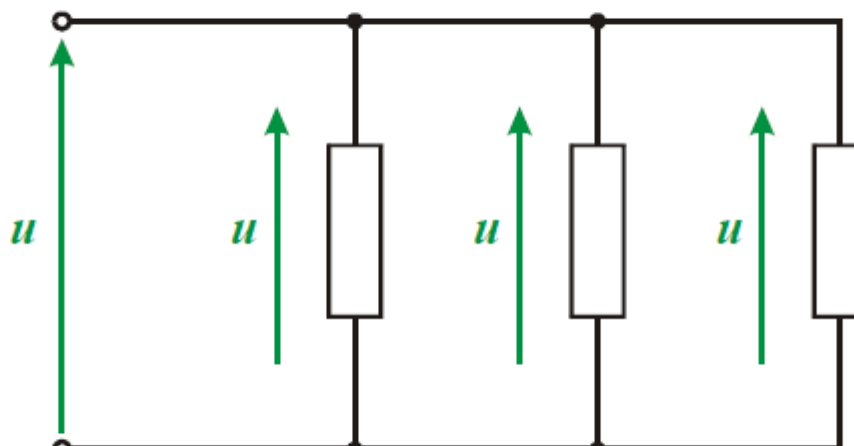


- Układ połączeń nazywamy **szeregowym**, wtedy gdy w każdej gałęzi układu występuje **ten sam prąd elektryczny**, tzn. o tej samej wartości i zwrocie.



*Połączenie szeregowe*

- Układ połączeń nazywamy **równoległym**, wtedy gdy na każdej gałęzi układu występuje **to samo napięcie elektryczne**, tzn. o tej samej wartości i zwrocie.

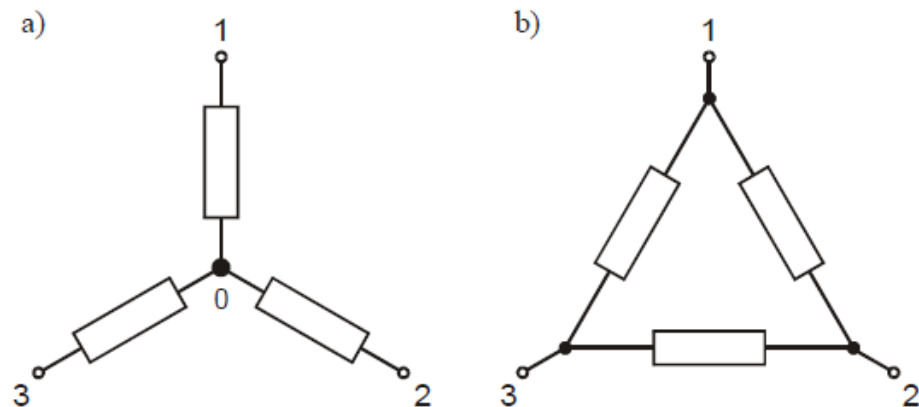


- Połączenie  $n$  gałęzi obwodu w taki sposób, że końce każdej z gałęzi tworzą wspólny węzeł (zwany punktem zerowym), pozostałe zaś końce dołączone są do innych elementów obwodu nazywamy połączeniem **gwiazdowym**.

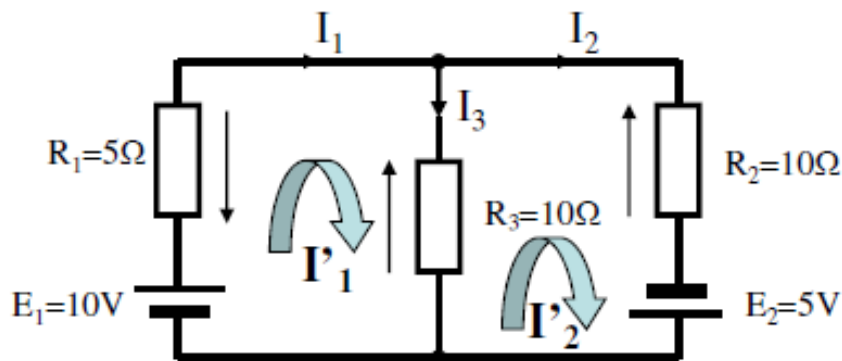
*Szczególnym przypadkiem połączenia gwiazdowego przy  $n = 3$  jest połączenie w gwiazdę trójramienną.*

- Połączenie gałęzi obwodu w figurę płaską, która ma  $n$  wierzchołków i boki łączące każdy wierzchołek z wszystkimi pozostałymi, nazywamy połączeniem **wielokątnym** (wielobocznym).

*Szczególnym przypadkiem połączenia wielokątnego przy  $n = 3$  jest połączenie w trójkąt.*



## Metoda oczkowa



W rozpatrywanym obwodzie wprowadzamy *prądy oczkowe*, krążące jak gdyby wzdłuż poszczególnych oczek obwodu.

Najwygodniej jest przyjąć, że zwroty prądów oczkowych są takie same we wszystkich oczkach, na przykład są zgodne z ruchem wskazówek zegara. Prądy w gałęziach zewnętrznym obwodu, tj. w gałęziach nie będących wspólnymi dla dwóch oczek, są równe odpowiednim prądom oczkowym. Prądy w gałęziach wspólnych dla dwóch oczek równają się różnicy odpowiednich prądów oczkowych.

$$E_1 - I'_1 \cdot (R_1 + R_3) + I'_2 \cdot R_3 = 0$$

$$I'_1 \cdot R_3 - I'_2 \cdot (R_3 + R_2) + E_2 = 0$$

$$I'_1 = \frac{E_1 + I'_2 \cdot R_3}{R_1 + R_3}$$

$$\frac{E_1 + I'_2 \cdot R_3}{R_1 + R_3} \cdot R_3 - I'_2 \cdot (R_3 + R_2) + E_2 = 0$$

$$E_1 \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} + I'_2 \cdot \frac{R_3^2}{R_1 + R_3} - I'_2 \cdot (R_2 + R_3) + E_2 = 0$$

$$I'_2 \cdot \left( \frac{R_3^2}{R_1 + R_3} - R_2 - R_3 \right) + E_1 \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} + E_2 = 0$$

$$I'_2 \cdot \left( \frac{R_3^2 - R_1 R_2 - R_1 R_3 - R_2 R_3 - R_3^2}{R_1 + R_3} \right) + E_1 \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} + E_2 = 0$$

$$E_1 \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} + E_2 = I'_2 \cdot \left( \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 + R_3} \right)$$

$$I'_2 = \frac{E_1 R_3 + E_2 (R_1 + R_3)}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

$$I'_2 = \frac{10 \cdot 10 + 5 \cdot (5 + 10)}{5 \cdot 10 + 5 \cdot 10 + 10 \cdot 10} = \frac{175}{200} = 0,875 \text{ A}$$

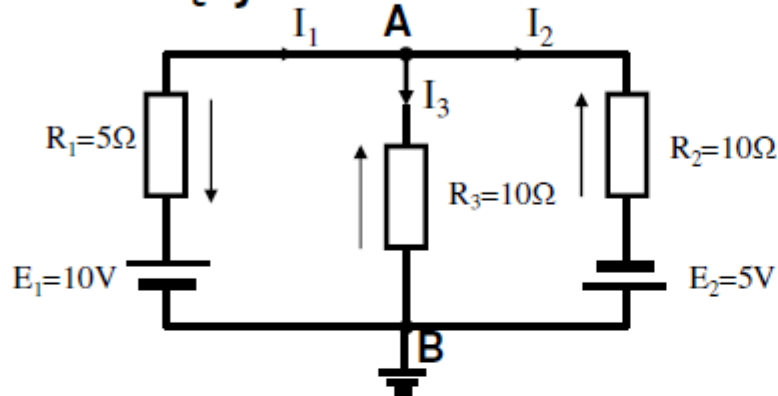
$$I'_1 = \frac{10 + 0,875 \cdot 10}{5 + 10} = 1,25 \text{ A}$$

$$I_1 = I'_1 = 1,25 \text{ A}$$

$$I_2 = I'_2 = 0,875 \text{ A}$$

$$I_3 = I'_1 - I'_2 = 0,375 \text{ A}$$

## Rozwiązywanie obwodów metodą potencjałów węzłowych



Tok obliczeń prądów gałęziowych jest następujący:

1. Strzałkuje się dowolnie prądy we wszystkich gałęziach obwodu.
2. Strzałkuje się napięcia (przeciwnie do strzałki prądu) na wszystkich elementach rezystancyjnych obwodu.
3. Oznacza się potencjały węzłów, przyjmując potencjał jednego dowolnego węzła równy zero (węzeł odniesienia).
4. Układa się równania węzłowe dla  $(w-1)$  węzłów obwodu, opuszczając węzeł odniesienia.
5. Rozwiązuje się powyższy układ równań ze względu na potencjały węzłowe.
6. Oblicza się napięcia występujące na poszczególnych gałęziach wzorem  $U_{kl} = V_k - V_l$ .
7. Prądy gałęziowe wyznacza się z prawa Ohma.

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$I_1 = \frac{E_1 - V_A}{R_1} \quad I_2 = \frac{E_2 + V_A}{R_2} \quad I_3 = \frac{V_A}{R_3}$$

$$\frac{E_1 - V_A}{R_1} = \frac{E_2 + V_A}{R_2} + \frac{V_A}{R_3}$$

$$\frac{E_1}{R_1} - \frac{V_A}{R_1} = \frac{V_A}{R_2} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{V_A}{R_3}$$

$$\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} = \frac{V_A}{R_1} + \frac{V_A}{R_2} + \frac{V_A}{R_3}$$

$$V_A = \frac{\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

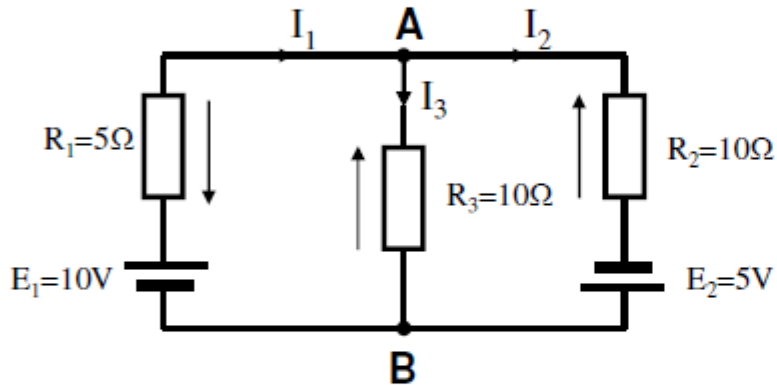
$$V_A = \frac{\frac{10}{5} - \frac{5}{10}}{\frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10}} = \frac{1,5}{\frac{4}{10}} = 3,75 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{10 - 3,75}{5} = 1,25 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{3,75 + 5}{10} = 0,875 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{3,75}{10} = 0,375 \text{ A}$$

## Rozwiązywanie obwodu metodą Thevenina



*Rozwieramy zaciski A i B*

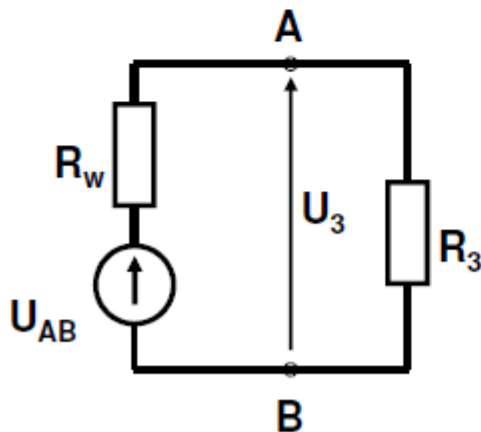
$$U_{AB} = E_1 - I_1 \cdot R_1 = E_1 - \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} \cdot R_1$$

$$U_{AB} = 10 - \frac{10 + 5}{5 + 10} \cdot 5 = 5 \text{ V}$$

*Likwidujemy źródła napięcia*

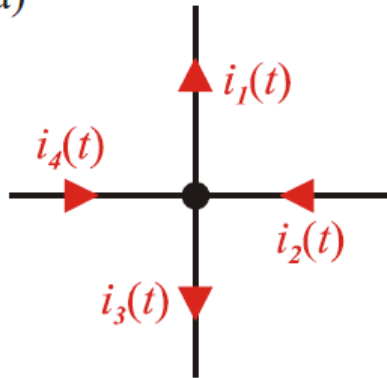
$$R_w = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5 \cdot 10}{5 + 10} = 3 \frac{1}{3} \Omega$$

$$I_3 = \frac{U_{AB}}{R_w + R_3} = \frac{5}{3 \frac{1}{3} + 10} = \frac{15}{40} = 0,375 \text{ A}$$



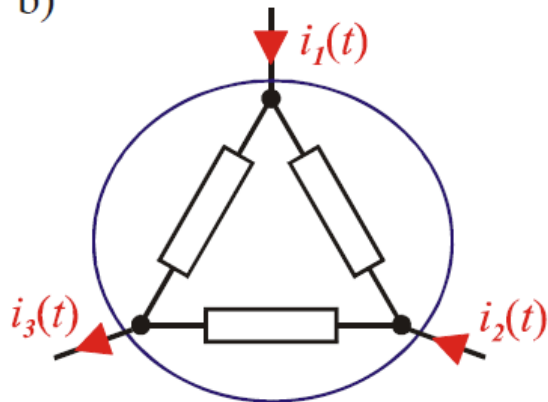
Każdy liniowy dwójnik aktywny można przedstawić w postaci źródła napięcia o sile elektromotorycznej równej napięciu między rozwartymi zaciskami wyjściowymi dwójnika aktywnego. Rezystancja wewnętrzna tego źródła jest równa rezystancji tego dwójnika po usunięciu wszystkich źródeł energii.

a)

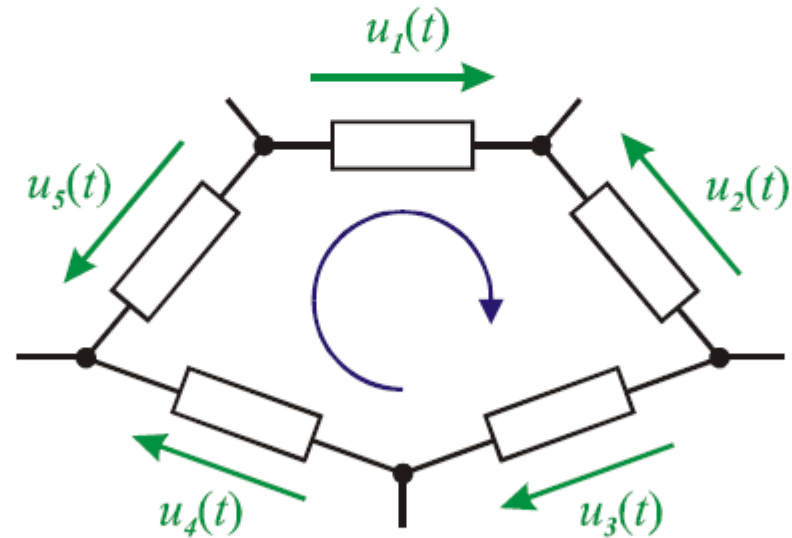


$$-i_1(t) + i_2(t) - i_3(t) + i_4(t) = 0$$

b)

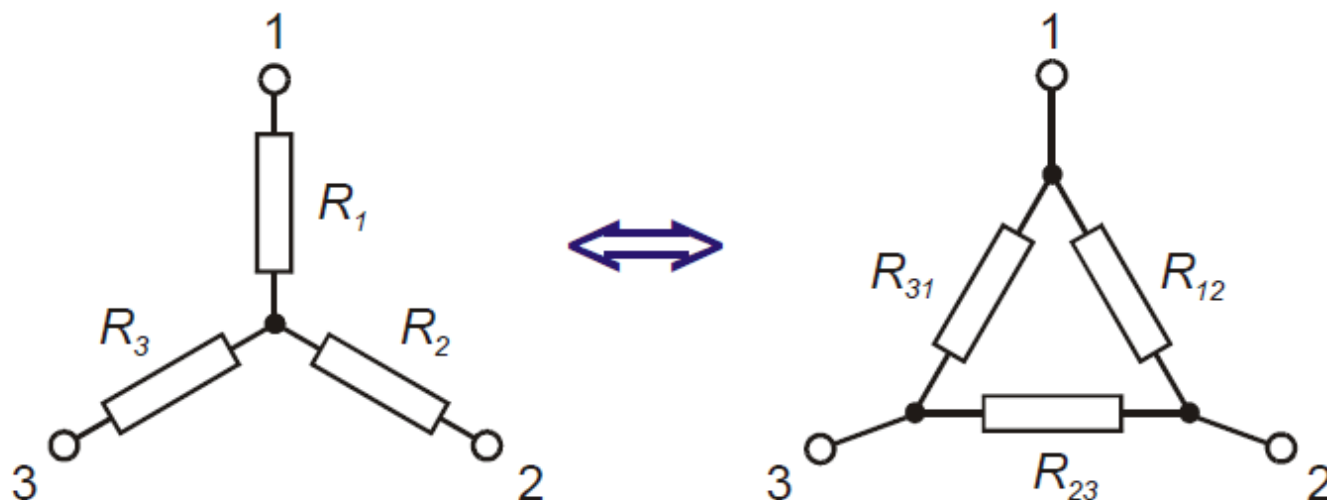


$$i_1(t) + i_2(t) - i_3(t) = 0$$



$$u_1(t) - u_2(t) + u_3(t) + u_4(t) - u_5(t) = 0$$

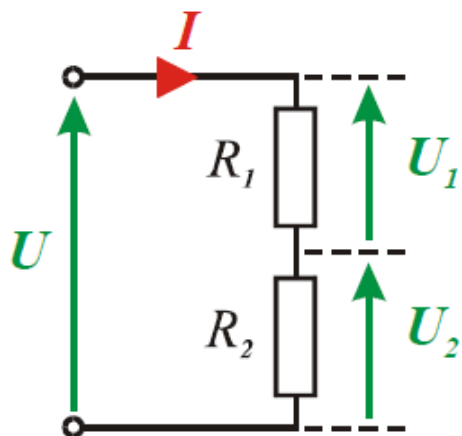
Dwa układy są równoważne z punktu widzenia ich zacisków, jeżeli zależności między napięciami i prądami związanymi z tymi zaciskami są w obu układach identyczne



Dany trójkąt szukamy gwiazdy	Dana gwiazda szukamy trójkąta
$R_1 = \frac{R_{31} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$	$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}$
$R_2 = \frac{R_{12} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$	$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}$
$R_3 = \frac{R_{23} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$	$R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}$

➤ **DZIELNIK NAPIĘCIA**

*Dzielnik napięciowy jest układem dwóch rezystorów połączonych szeregowo*



$$I = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

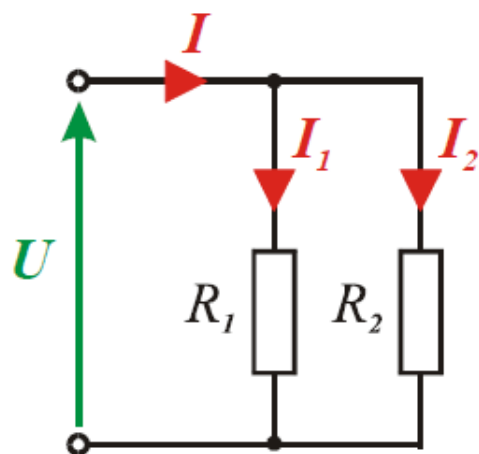
$$U_1 = R_1 I, \quad U_2 = R_2 I$$

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

$$U_1 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} U, \quad U_2 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} U$$

➤ **DZIELNIK PRĄDU**

*Dzielnik prądowy jest układem dwóch rezystorów połączonych równolegle*



$$U = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I$$

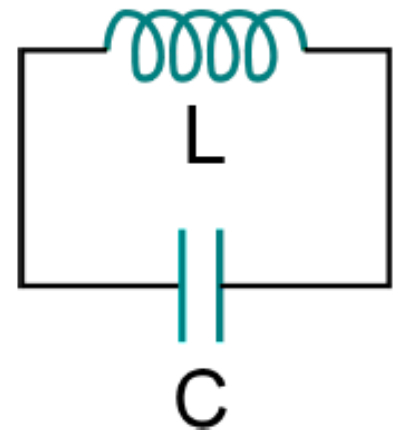
$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

$$I_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} I, \quad I_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} I$$

Opis matematyczny obwodów prądu zmiennego jest podobny do opisu drgań harmoniczych odważnika umieszczonego na sprężynie - rolę analogiczną do przemieszczenia odgrywa ładunek.

Jeśli naładowany kondensator połączymy równolegle z cewką, kondensator zacznie się rozładowywać. Doprowadzi to do wzrostu natężenia prądu płynącego przez cewkę, a w konsekwencji – do zmagazynowania energii w cewce w postaci pola magnetycznego. Po całkowitym rozładowaniu kondensatora, prąd w obwodzie nadal płynął, ponieważ pole magnetyczne wytworzone przez cewkę będzie przeciwstawiać się zmianie natężenia. Doprowadzi to do naładowania kondensatora.



Korzystając z II prawa Kirchoffa:  $U_L + U_C = 0$

Wartości napięcia na okładkach kondensatora i na cewce opisujemy wyrażeniami:

$$U_L = L \frac{dI}{dt} \quad U_C = \frac{q}{C}$$

Otrzymujemy następujące równanie:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} = -\frac{1}{LC} \cdot q$$

Jest to równanie drgań harmoniczych, z częstotliwością drgań własnych:

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

Energia zgromadzona w cewce:  $E_L = \frac{LI^2}{2}$

Energia zgromadzona w kondensatorze:  $E_C = \frac{q^2}{2C}$

Obwód LC składa się z cewki o pojemności  $L = 1\text{mH}$  i pojemności  $C = 1\text{nF}$ . W chwili  $t=0$  całkowity prąd płynący przez obwód wynosi  $I = 1\text{A}$ , a kondensator jest rozładowany. Oblicz, po jakim czasie wartość ładunku zgromadzonego na okładkach kondensatora osiągnie wartość maksymalną i podaj tę wartość.

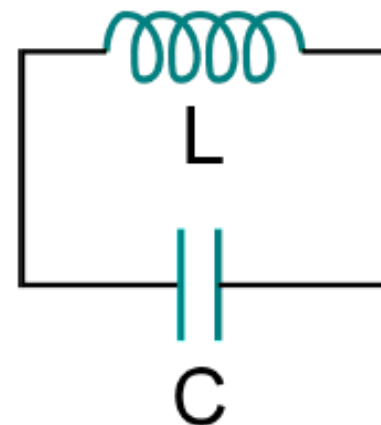
W chwili  $t=0$  kondensator jest rozładowany, a zatem cała energia jest zgromadzona w cewce w postaci pola magnetycznego

$$E_L = \frac{LI^2}{2}$$

Energia w obwodzie jest zachowana, a zatem energia ta jest równa energii kondensatora po jego całkowitym naładowaniu:

$$E_C = \frac{q^2}{2C} = E_L$$

Z równania obliczamy maksymalny ładunek  $Q$  zgromadzony na kondensatorze, który wynosi  $1 \cdot 10^{-6}\text{C}$ .



Wiemy, że częstość własna drgań obwodu wynosi

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

Na tej podstawie możemy obliczyć okres drgań:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{LC}$$

Szukany czas wynosi pół okresu – cała energia obwodu jest wtedy zgromadzona w kondensatorze.

$$t_x = \frac{1}{2} \cdot 2\pi\sqrt{LC}$$

Po obliczeniu otrzymujemy wartość  $t_x = 3.14 \cdot 10^{-6}\text{s}$ .

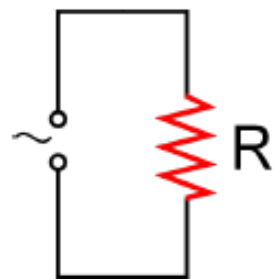
Siła elektromotoryczna wytwarzana przez prądnicę prądu zmiennego jest sinusoidalnie zmienna:

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$$

gdzie  $\omega$  oznacza częstość kołową, a  $\varepsilon_m$  – amplitudę drgań.

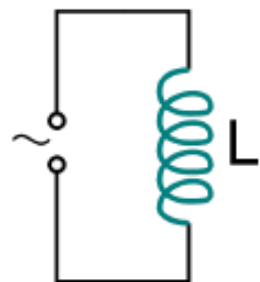
$$I = I_m \sin(\omega t - \phi)$$

gdzie  $I_m$  – amplituda natężenia,  $\phi$  – faza początkowa



$$I = \frac{U_m}{R} \sin \omega t$$

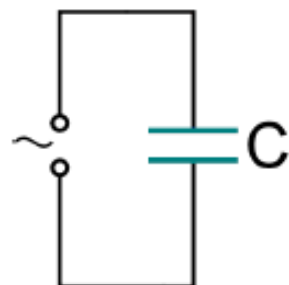
Natężenie prądu płynącego przez opornik jest w fazie z napięciem wymuszającym (maksimum natężenia odpowiada maksimum napięcia), zatem faza  $\phi = 0$



$$X_L = \omega L$$

$$I = \frac{U_m}{X_L} \sin(\omega t - \pi/2)$$

$X_L$  oznacza reaktancję cewki. Natężenie opóźnia się względem napięcia wymuszającego o  $\pi/2$ .



$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

$$I = \frac{U_m}{X_c} \sin(\omega t + \pi/2)$$

$X_c$  oznacza reaktancję kondensatora. Natężenie wyprzedza napięcie wymuszające o  $\pi/2$ .

W obwodzie szeregowym zawierającym kondensator, cewkę i opornik amplituda drgań harmoniczných maleje wykładniczo– na oporniku energia jest rozpraszana w postaci ciepła.

Po podłączeniu obwodu do źródła prądu zmiennego wymuszone drgania ładunku odbywają się z częstotnością wymuszającą.

Związek między amplitudą natężenia prądu a amplitudą napięcia opisuje wyrażenie:

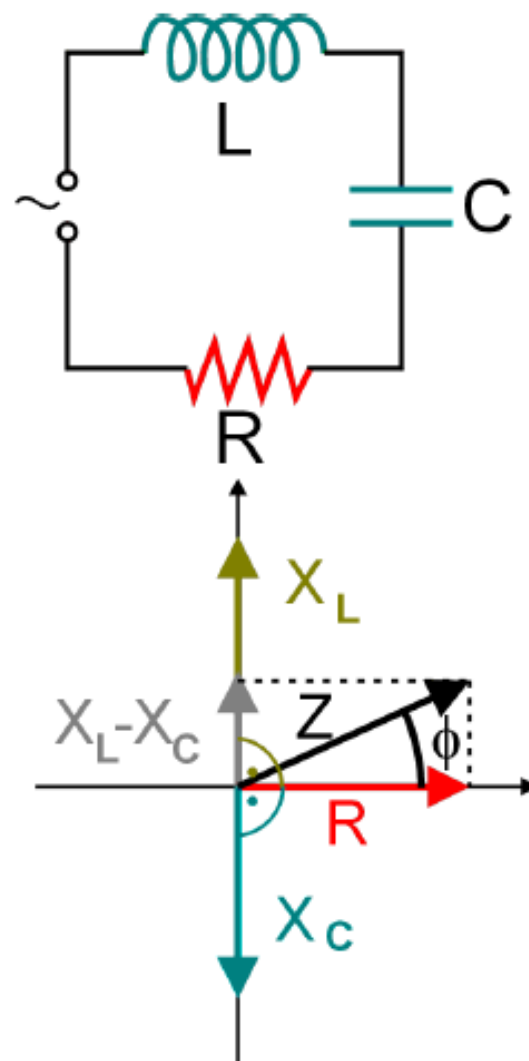
$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U_m}{Z}$$

gdzie  $Z$  oznacza impedancję obwodu.

Fazę początkową  $\phi$  określa wyrażenie:  $\operatorname{tg} \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$

Jeśli częstotliwość wymuszająca jest równa częstotliwości własnej obwodu, to  $X_L = X_C$ , a zatem  $\phi = 0$ . Jest to efekt rezonansowy, który odpowiada maksymalnemu natężeniu prądu (i maksymalnej mocy rozpraszanej) na oporniku.

Impedancję można przedstawić graficznie jako sumę wektorów odpowiadających oporowi i reaktancjom.



Cewka o indukcyjności  $L=0,1$  H, kondensator o pojemności  $C=10$   $\mu$ F i opornik o oporze  $R=100$   $\Omega$  są podłączone szeregowo do źródła napięcia zmiennego o częstotliwości  $f=50$  Hz i wartości skutecznej  $U_{sk}=220$  V. Oblicz wartość skuteczną natężenia prądu w obwodzie szeregowym  $RLC$  i moc rozpraszaną w obwodzie. Podaj przesunięcie fazowe między prądem w obwodzie a napięciem zasilającym, przedstaw graficznie impedancję.

Zaczynamy od obliczenia impedancji obwodu. Wyraża się ona wzorem:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad X_L = 2\pi fL$$

Otrzymujemy:  $X_L=31.42$   $\Omega$ ,  $X_C= 318.3$   $\Omega$ , i  $Z=303.8$   $\Omega$

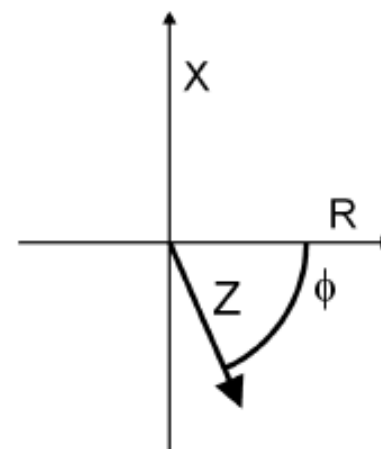
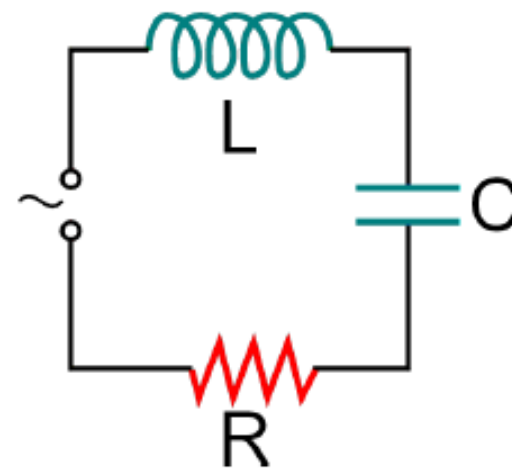
$$I_{sk} = \frac{U_{sk}}{Z} \quad \text{Otrzymujemy wartość natężenia } I_{sk} = 0.72 \text{ A.}$$

Moc rozpraszana w obwodzie wyniesie:  $P_{sr} = I_{sk}^2 R$

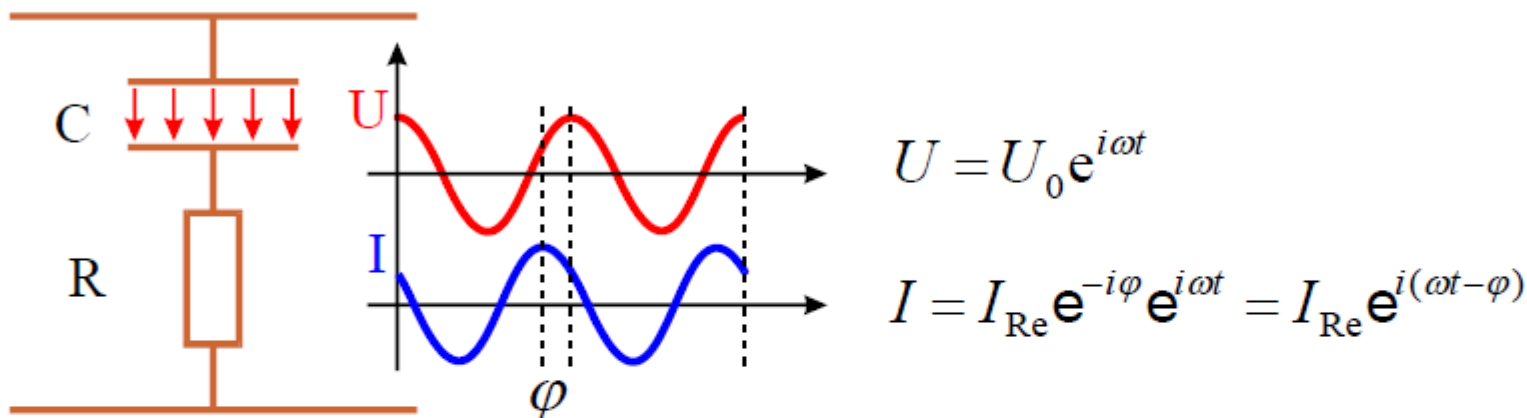
Wartość obliczona wynosi 51.84 W

$$\text{Obliczamy przesunięcie fazowe: } \operatorname{tg} \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Przesunięcie fazowe  $\phi$  wynosi  $-70.8^\circ$ . Impedancja ma charakter pojemnościowy – natężenie wyprzedza napięcie wymuszające.



## Przesunięcie fazowe w obwodzie RC



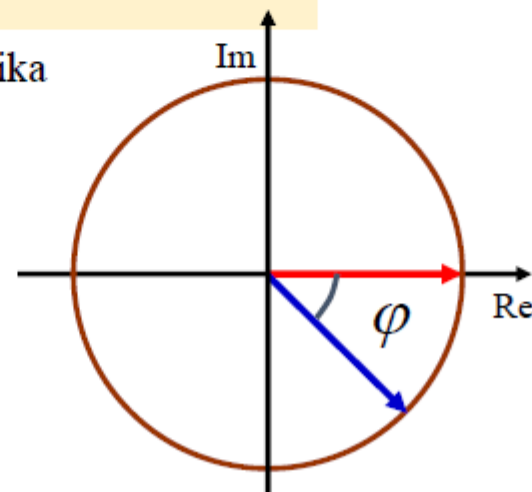
Impedancję wypadkową przy łączeniu szeregowym lub równoległym oporników, kondensatorów i cewek liczymy analogicznie jak oporność wypadkową w obwodach prądu stałego.

Impedancja:  $Z = \frac{1}{i\omega C} + R$

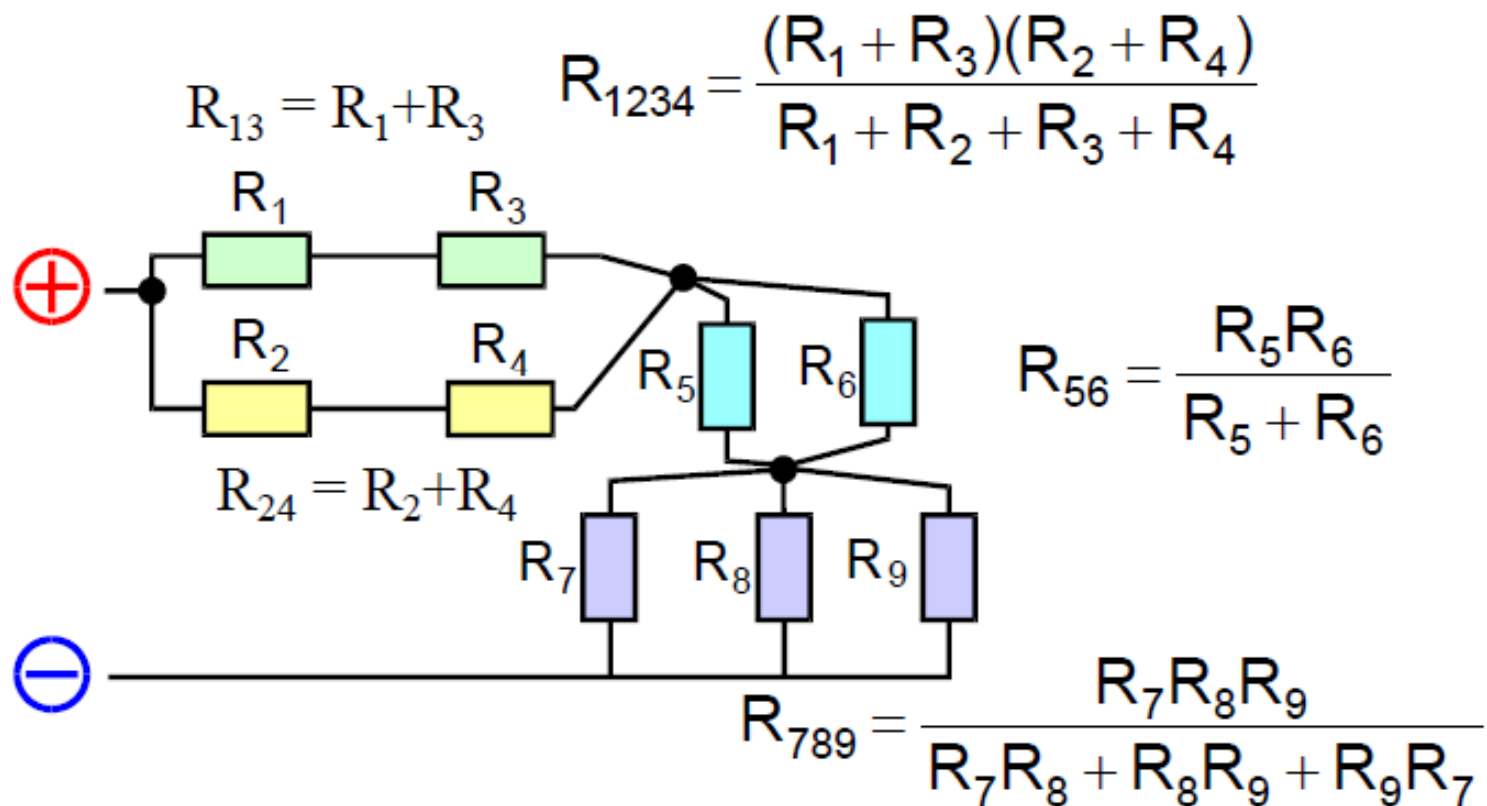
- impedancja opornika wynosi R.

Zawada:  $Z = \sqrt{\frac{1}{\omega^2 C^2} + R^2}$

Faza:  $\text{tg}(\varphi) = -\frac{1}{\omega CR}$



Napięcie spóźnia się względem natężenia.



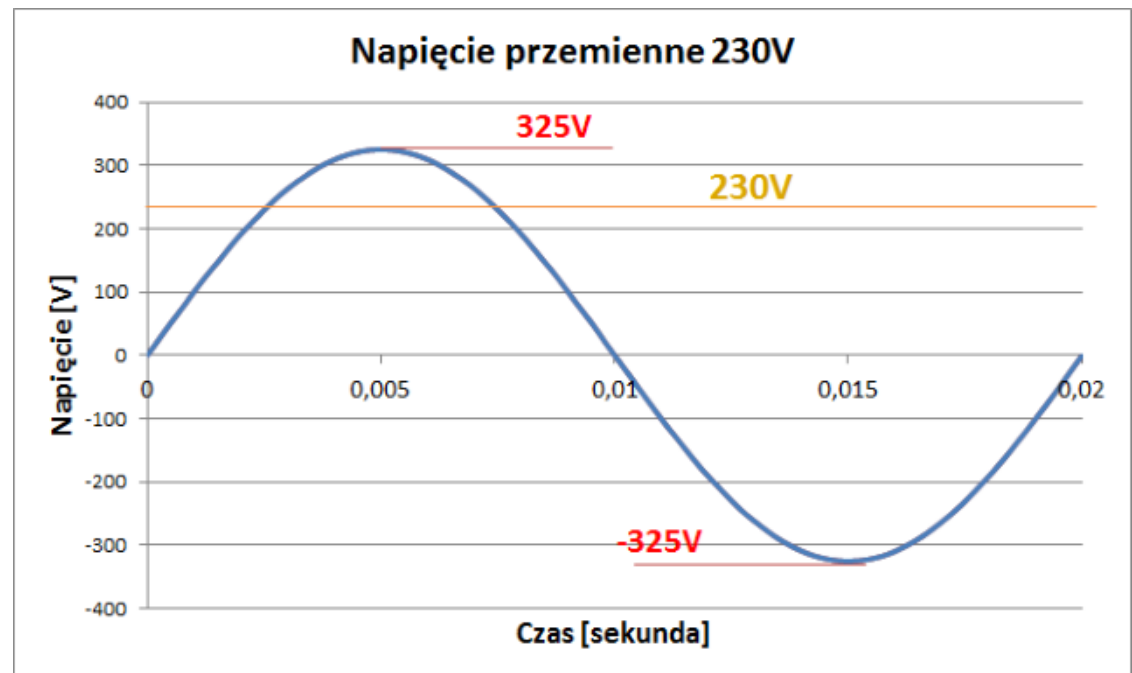
$$R_S = R_{1234} + R_{56} + R_{789}$$

$$R_S = \frac{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} + \frac{R_5 R_6}{R_5 + R_6} + \frac{R_7 R_8 R_9}{R_7 R_8 + R_8 R_9 + R_9 R_7}$$

# OBWODY ELEKTRYCZNE TRÓJFAZOWE

## Definicja układu trójfazowego

Układem trójfazowym nazywamy układ trzech obwodów elektrycznych, w których istnieją trzy źródła napięć sinusoidalnych o jednakowej częstotliwości, przesunięte względem siebie o określony kąt fazowy i wytworzone w jednym generatorze zwanym generatorem trójfazowym. Poszczególne obwody generatora trójfazowego nazywać będziemy **fazami** i oznaczać literami A, B, C lub kolejnymi cyframi 1, 2, 3.

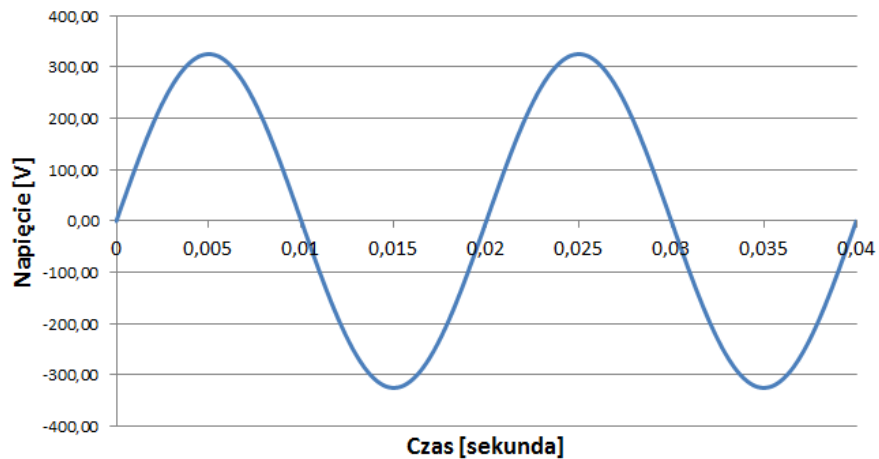




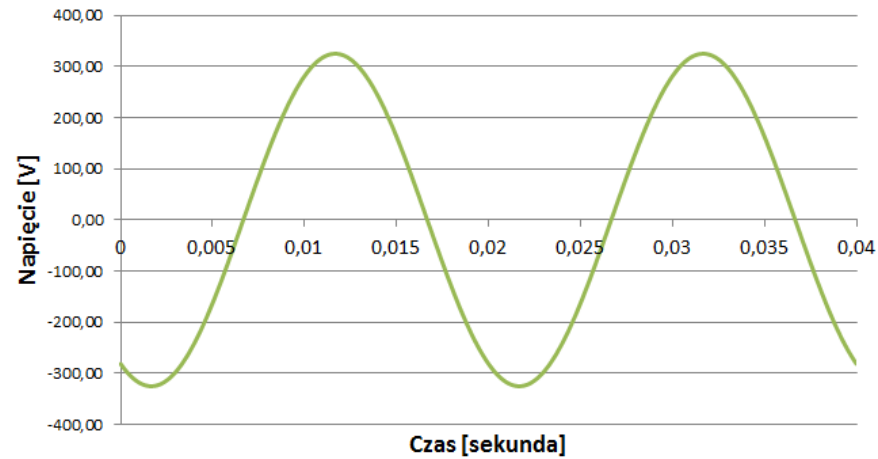
Układ napięć źródłowych generatora trójfazowego jest symetryczny, jeśli napięcia kolejnych faz są przesunięte względem siebie o kąt  $120^\circ$  a amplitudy ich są sobie równe.

W normalnym systemie trójfazowym przyjmuje się kolejność wirowania zgodną, w której faza B opóźnia się względem fazy A o kąt  $120^\circ$  a faza C (opóźniona względem fazy B o kolejny kąt  $120^\circ$ ) wyprzedza fazę A o kąt równy  $120^\circ$ .

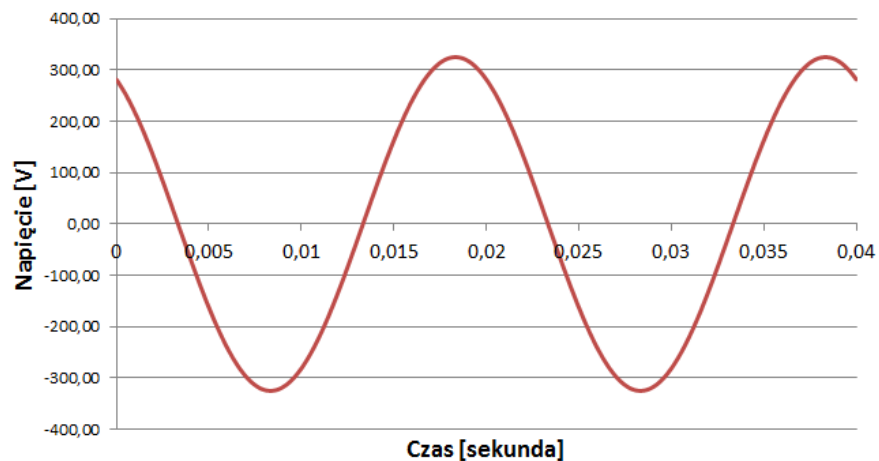
Napięcie przemienne L1

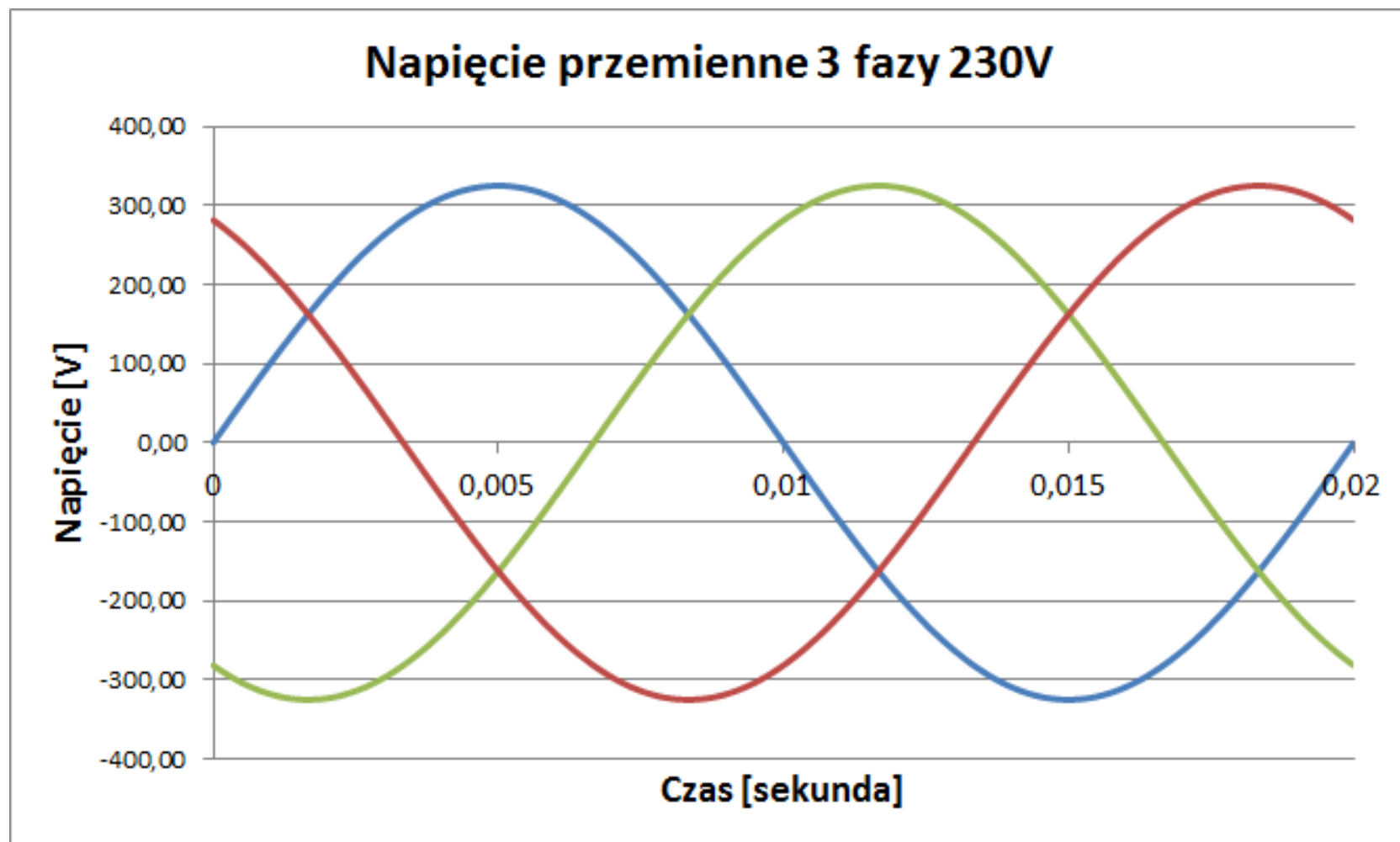


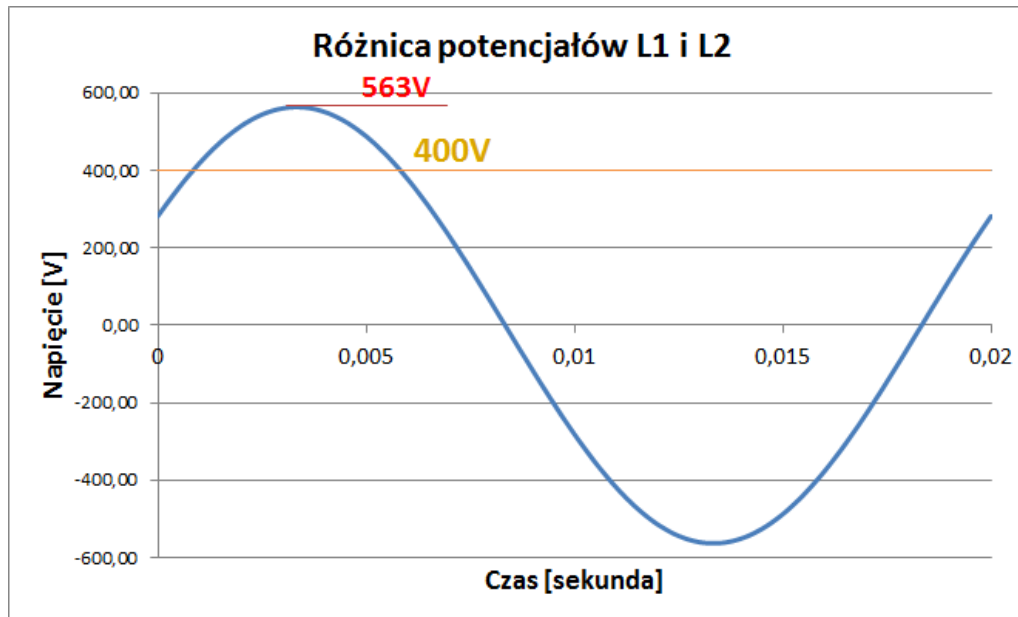
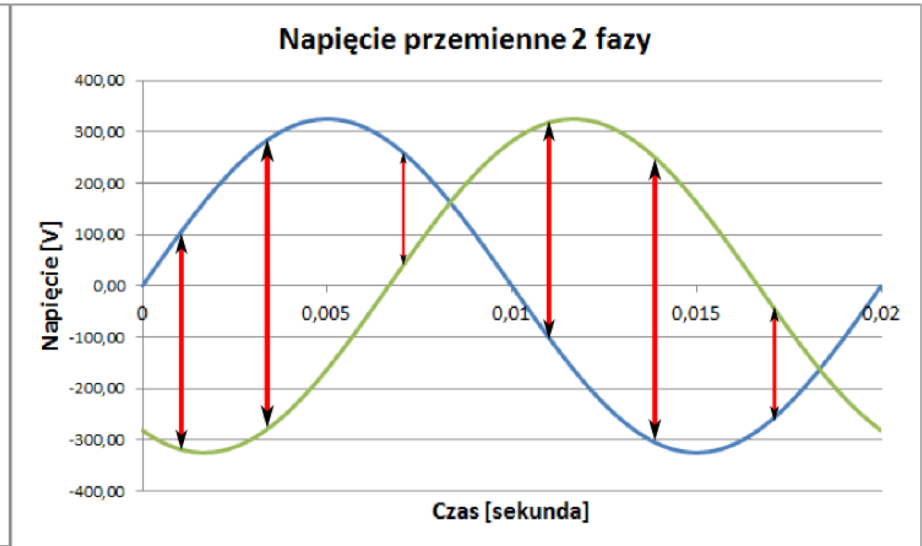
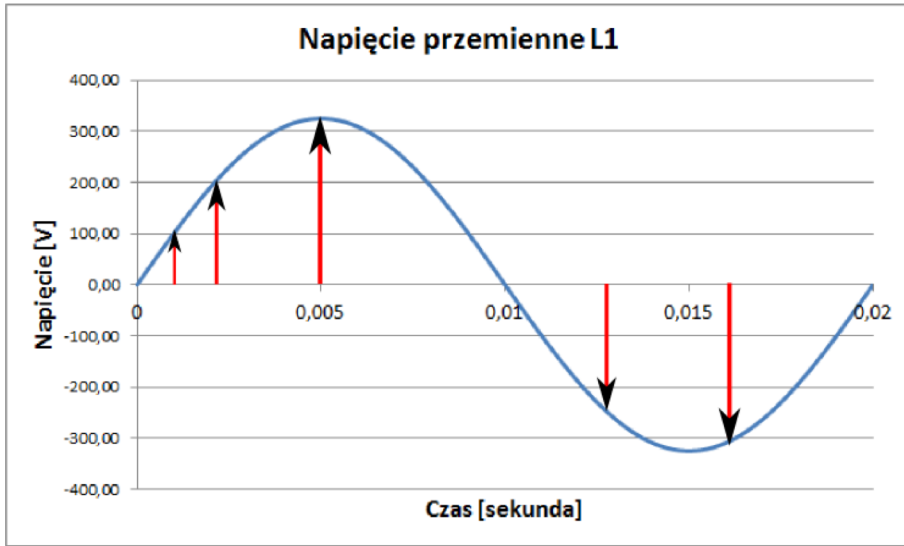
Napięcie przemienne L2



Napięcie przemienne L3







# Dziękuję za uwagę



mgr inż. Robert Czak  
*tel: 0048 603687444*  
*mail: robert.czak@op.pl*