

INSTYTUT INŻYNIERII ELEKTRYCZNEJ

WYDZIAŁ TELEKOMUNIKACJI INFORMATYKI I ELEKTROTECHNIKI

UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy

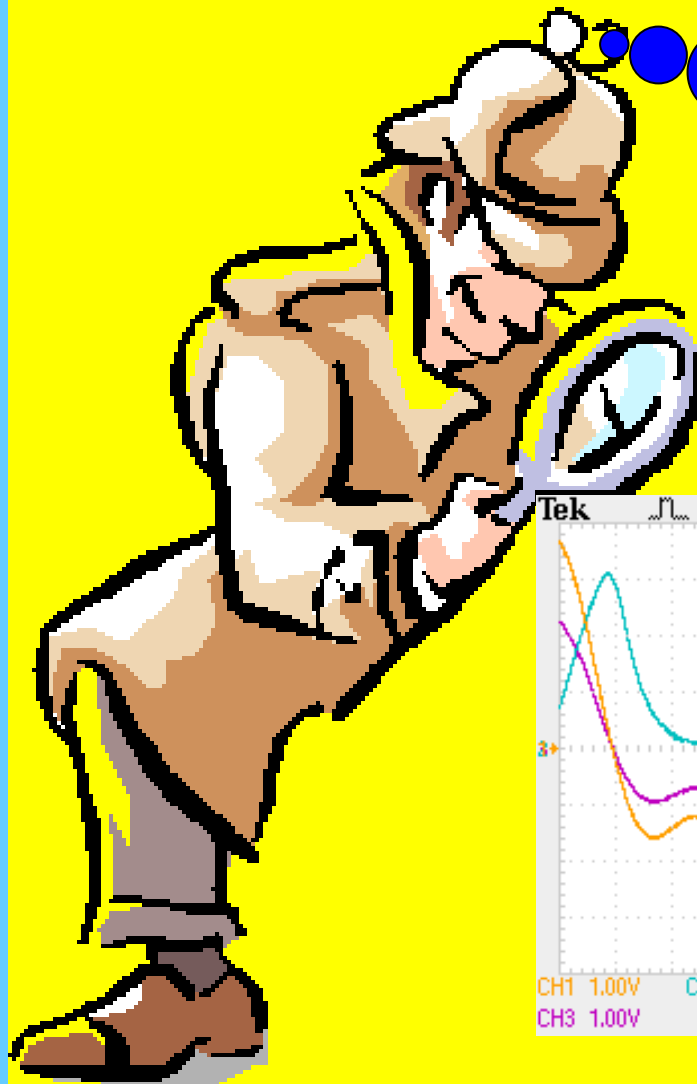
im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy



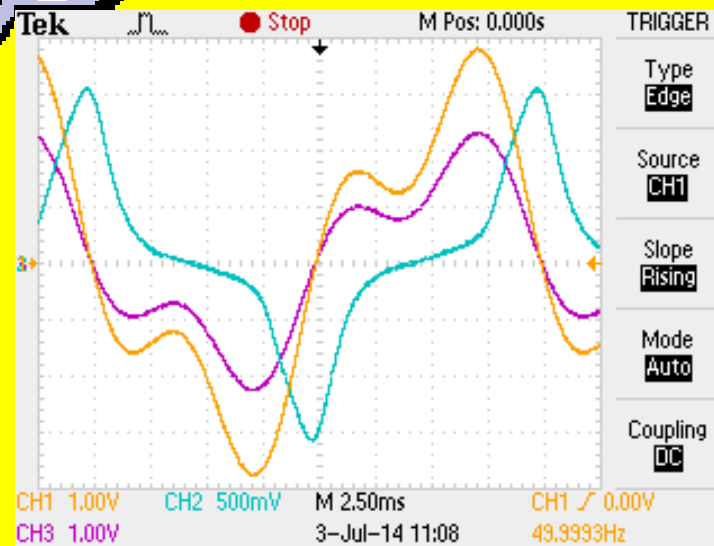
**POSZUKIWANIE PRZYCZYN
ODKSZTAŁCENIA PRZEBIEGÓW NAPIĘĆ
W ELEKTROENERGETYCZNEJ
SIECI PRZESYŁOWEJ**

Sławomir CIEŚLIK

Rynek Energii Elektrycznej, Kazimierz Dolny, 27 kwietnia 2016 r.



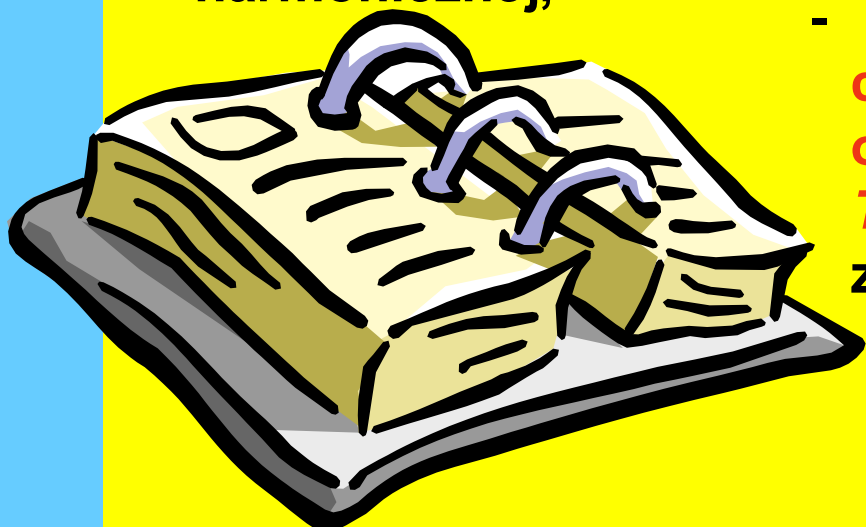
Mówimy o harmonicznym
napięć i prądów.
Wiemy o czym mówimy?
Czy tylko mówimy?



Harmoniczna napięcia – napięcie sinusoidalne o częstotliwości równej całkowitej krotności podstawowej częstotliwości napięcia zasilającego.

Harmoniczne napięcia mogą być określone:

- indywidualnie, przez ich **względną amplitudę (u_h)** odniesioną do napięcia składowej podstawowej u_1 , gdzie h jest rzędem harmonicznym,
- łącznie, na przykład przez **całkowity współczynnik odkształcenia harmonicznymi THD**, obliczony zgodnie z następującym wyrażeniem:



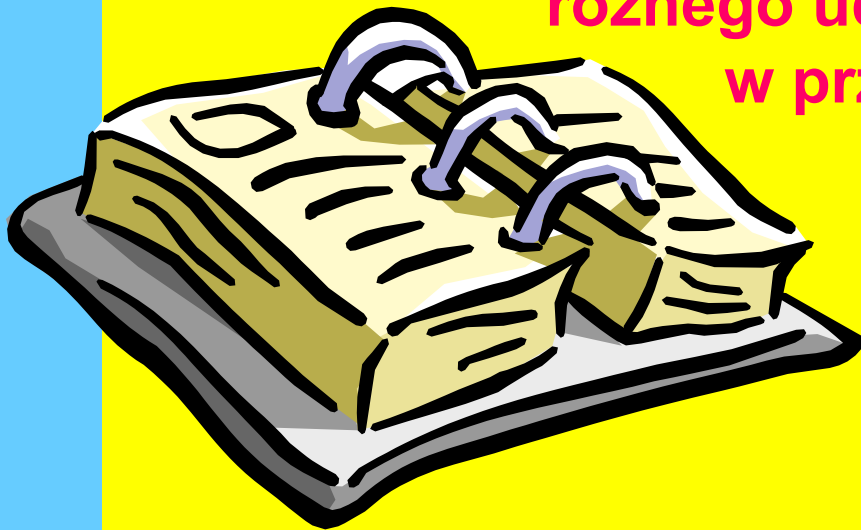
$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2}$$

PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego
w publicznych sieciach elektroenergetycznych 12.2010

Współczynnik całkowitego odkształcenia harmonicznymi:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{A_{mh}}{A_{m1}} \right)^2}$$

Wartość *THD* będzie taka sama dla różnego udziału różnych harmonicznymi w przebiegu danej wielkości!



Klasyka elektrotechniki

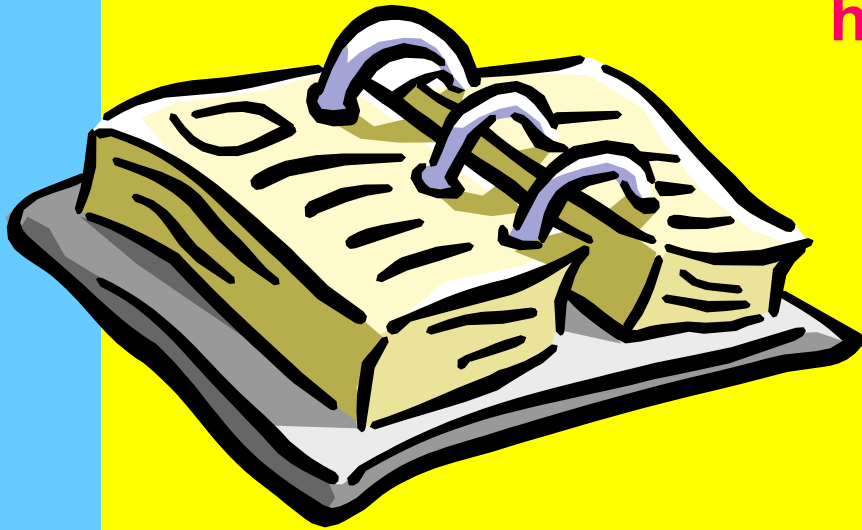
Czy harmoniczne różnych rzędów w taki sam sposób oddziałują na sieć elektroenergetyczną?

HARMONICZNE – faza początkowa

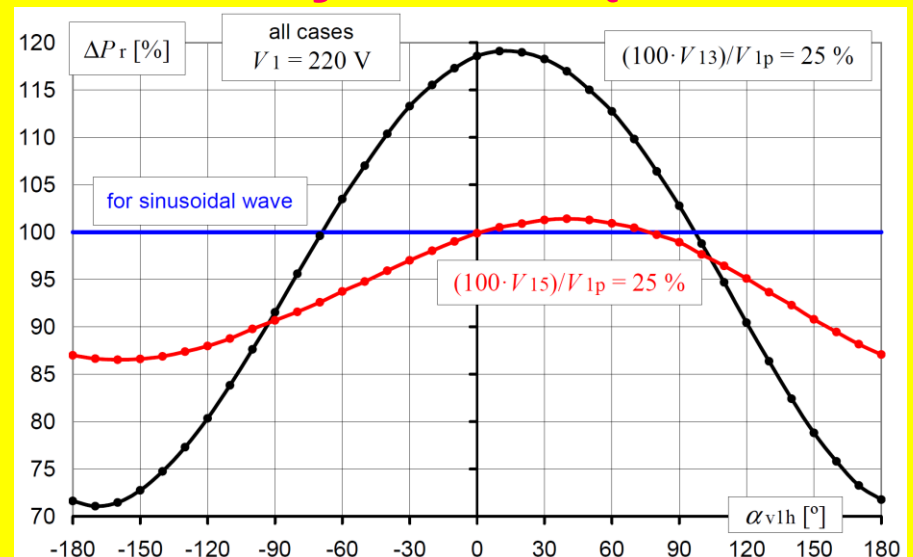
Szereg trygonometryczny Fouriera:

$$a(t) = A_0 + \sum_{h=1}^{\infty} (A_{mh} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot h \cdot t + \psi_h))$$

Czy fazy początkowe
harmonicznych nie są istotne?



Klasyka elektrotechniki



HARMONICZNE - przepisy

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego

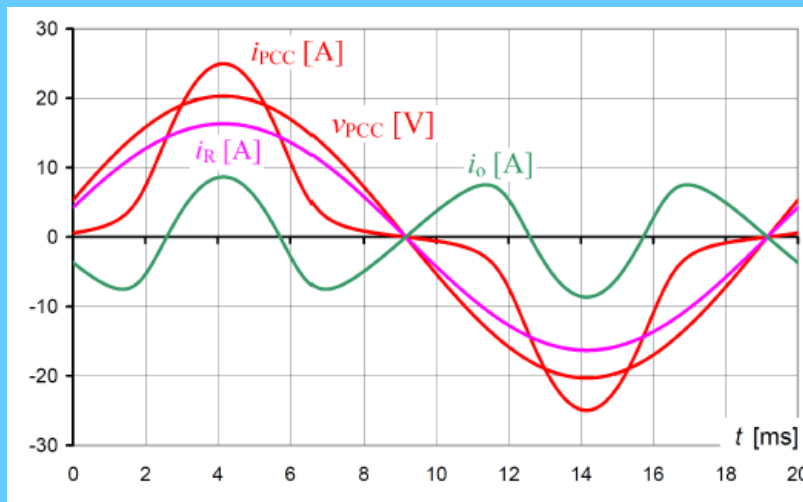
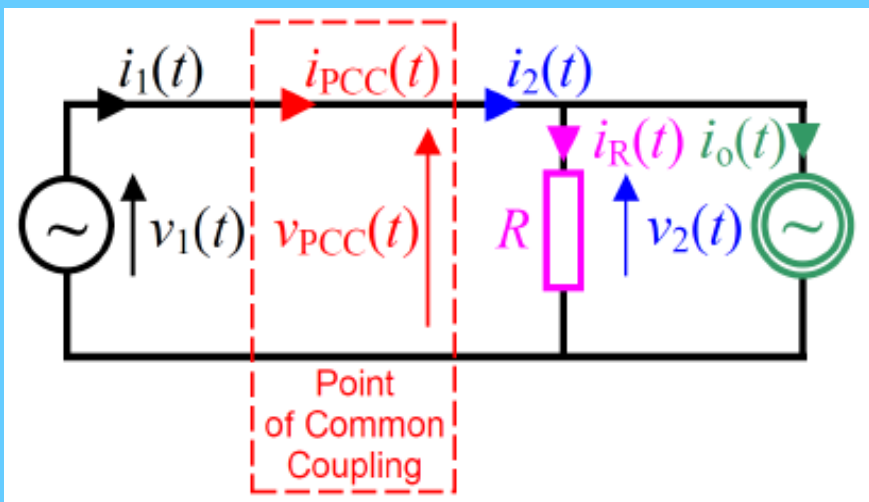
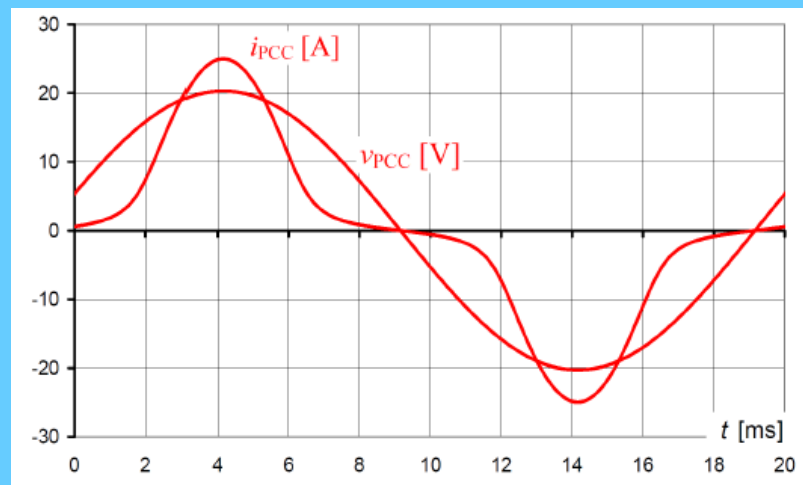
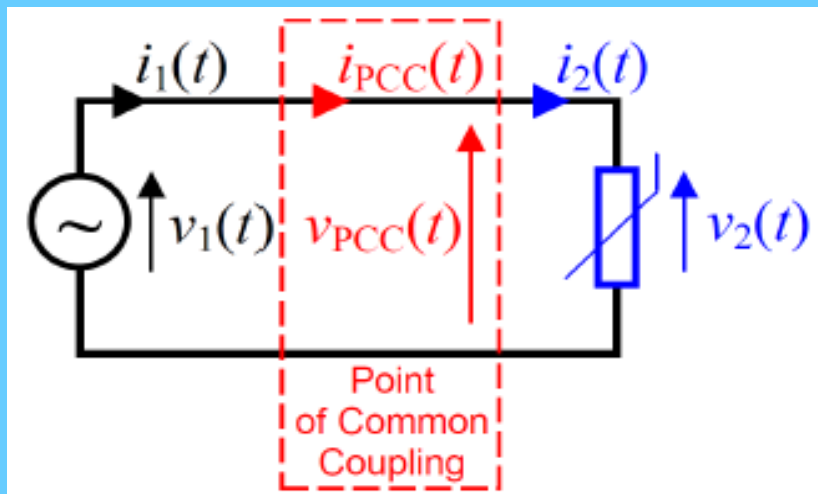
harmoniczne nieparzyste				harmoniczne parzyste	
nie będące krotnością 3		będące krotnością 3			
rząd	względna amplituda	rząd	względna amplituda	rząd	względna amplituda
5	2 %	3	2 %	2	1,5 %
7	2 %	9	1 %	4	1 %
11	1,5 %	15	0,5 %	>4	0,5 %
13	1,5 %	>21	0,5 %		
17	1 %				
19	1 %				
23	0,7 %				
25	0,7 %				
>25	0,2+0,5·25/h				

Wartości poszczególnych harmonicznych napięcia w złączu zasilającym ($36 \text{ kV} < U_n \leq 150 \text{ kV}$) dla rzędu do 25 [PN-EN 50160]

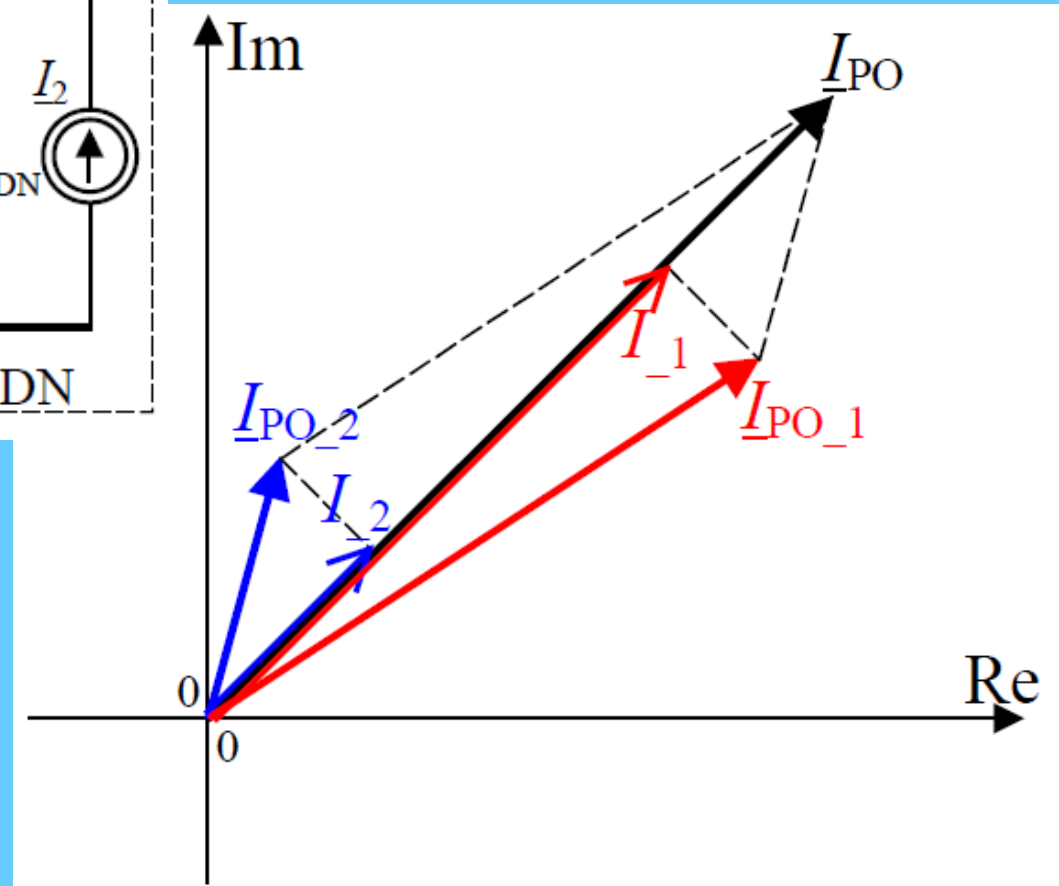
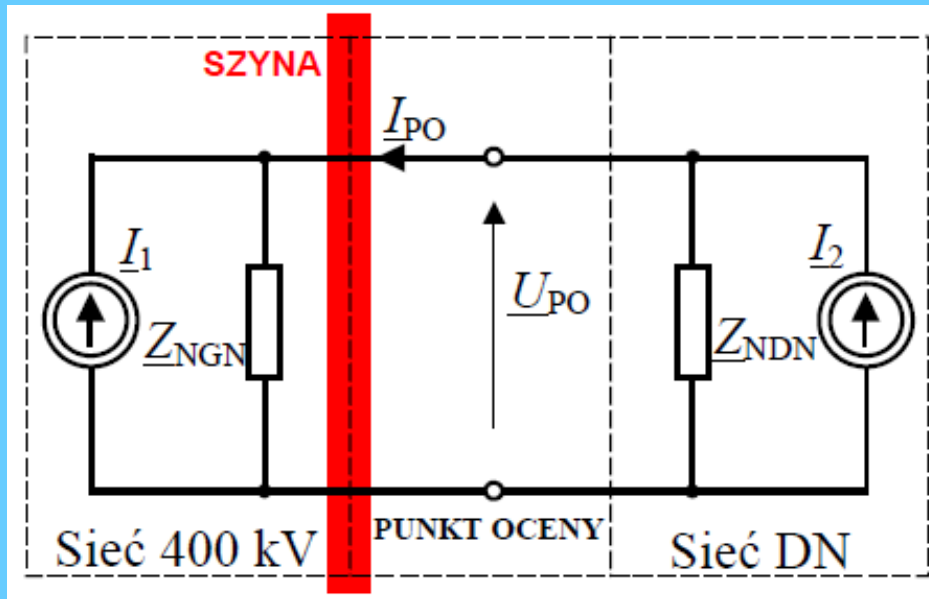
harmoniczne nieparzyste				harmoniczne parzyste	
nie będące krotnością 3		będące krotnością 3			
rząd	względna amplituda	rząd	względna amplituda	rząd	względna amplituda
5	5 %	3	3 % ^a	2	1,9 %
7	4 %	9	1,3 %	4	1 %
11	3 %	15	0,5 %	6 .. 24	0,5 %
13	2,5 %	21	0,5 %		
17	rozważane				
19	rozważane				
23	rozważane				
25	rozważane				

^a W zależności od przeznaczenia sieci, wartość trzeciej harmonicznej może być znacznie niższa

Czego poszukujemy? Identyfikacja lokalizacji źródeł harmonicznych prądów i napięć

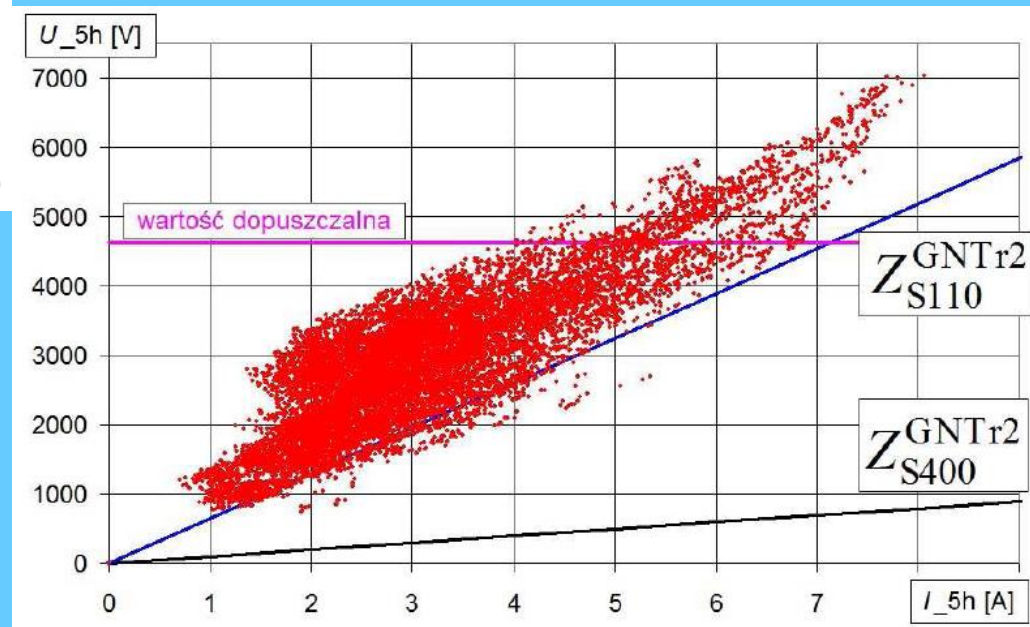
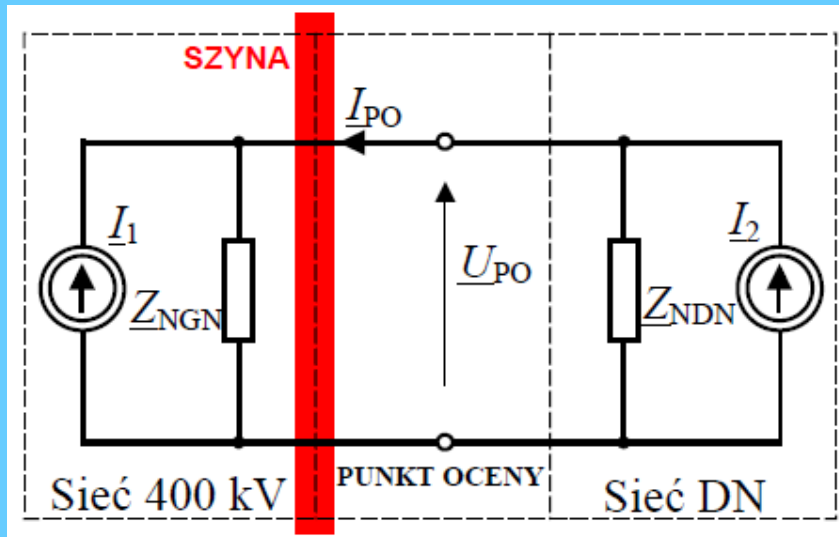


Metody lokalizacji źródeł wyższych harmonicznych napięć i prądów



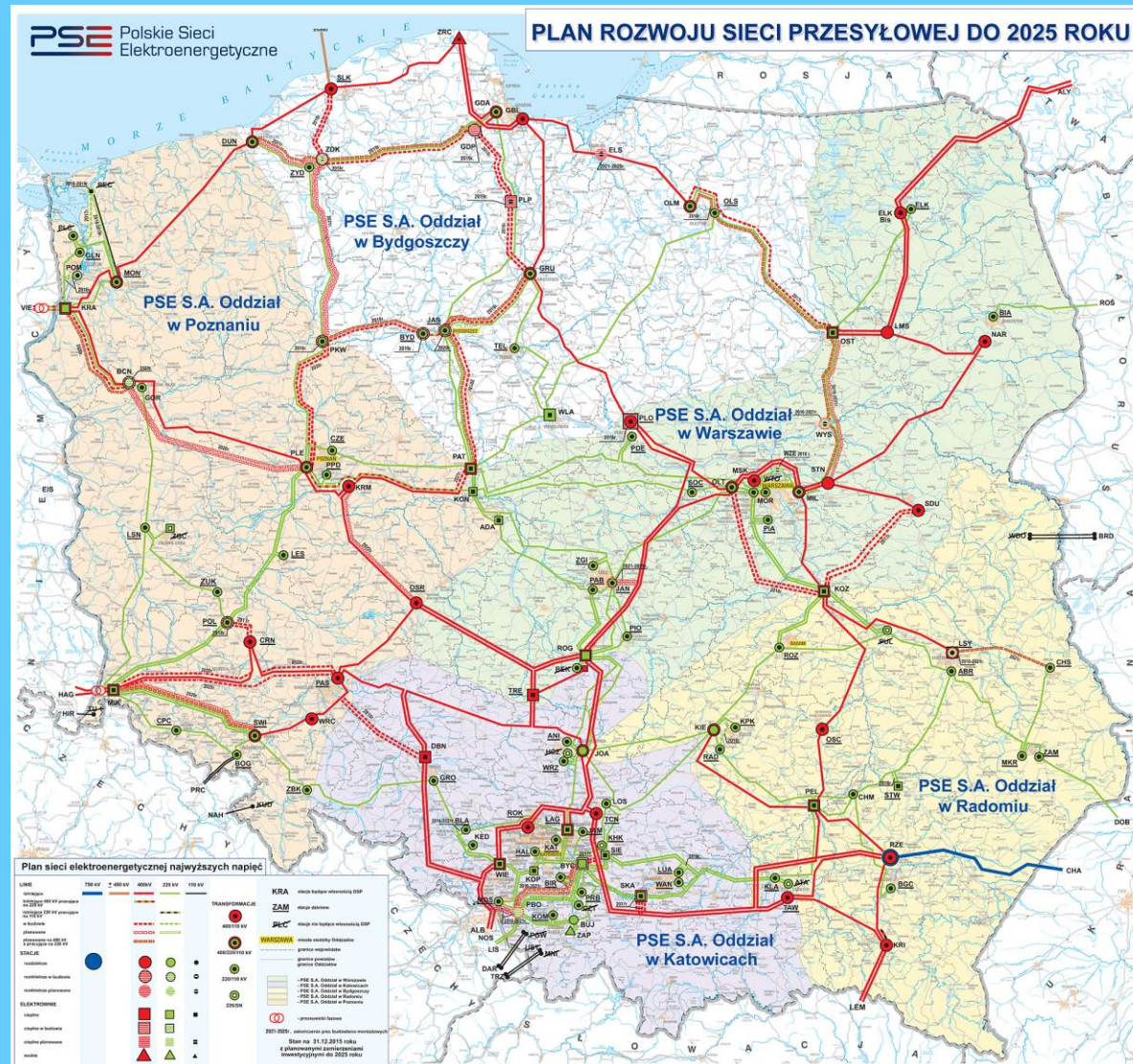
Metoda składowych prądu

Metody lokalizacji źródeł wyższych harmonicznych napięć i prądów

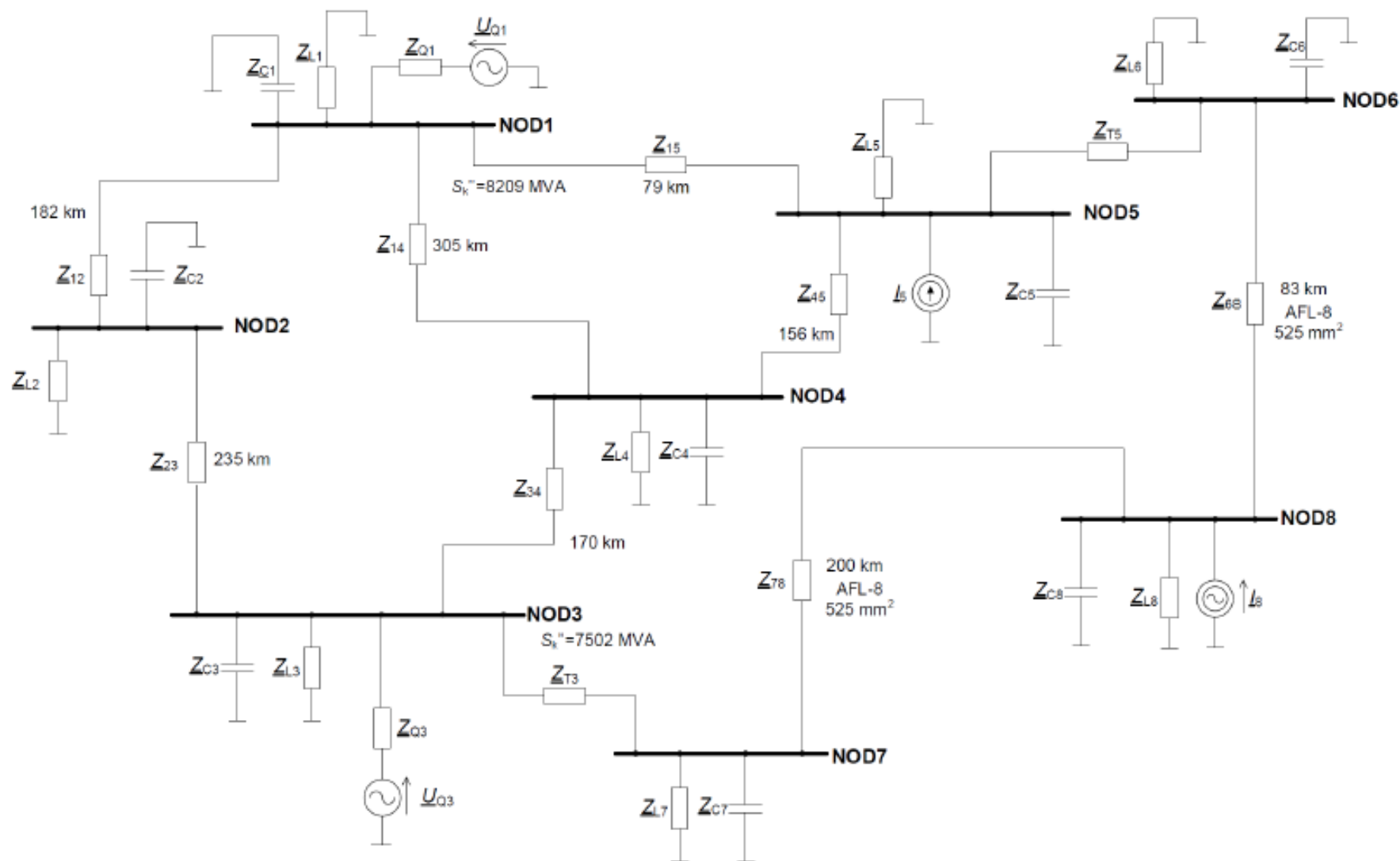


Metoda korelacji harmonicznych prądu i napięcia

Metody lokalizacji źródeł wyższych harmonicznych napięć i prądów



Schemat zastępczy proponowanej sieci przesyłowej



Sławomir CIEŚLIK, Kazimierz Dolny, 27 kwietnia 2016 r.

Model matematyczny proponowanej sieci przesyłowej

$$Y_h U_h = I_h$$

$$Y_h = \begin{bmatrix} \underline{Y}_{11h} & \frac{-1}{\underline{Z}_{12h}} & 0 & \frac{-1}{\underline{Z}_{14h}} & \frac{-1}{\underline{Z}_{15h}} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-1}{\underline{Z}_{12h}} & \underline{Y}_{22h} & \frac{-1}{\underline{Z}_{23h}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-1}{\underline{Z}_{23h}} & \underline{Y}_{33h} & \frac{-1}{\underline{Z}_{34h}} & 0 & 0 & \frac{-1}{\underline{Z}_{T3h}} & 0 \\ \frac{-1}{\underline{Z}_{14h}} & 0 & \frac{-1}{\underline{Z}_{34h}} & \underline{Y}_{44h} & \frac{-1}{\underline{Z}_{45h}} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-1}{\underline{Z}_{15h}} & 0 & 0 & \frac{-1}{\underline{Z}_{45h}} & \underline{Y}_{55h} & \frac{-1}{\underline{Z}_{T5h}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{\underline{Z}_{T5h}} & \underline{Y}_{66h} & 0 & \frac{-1}{\underline{Z}_{68h}} \\ 0 & 0 & \frac{-1}{\underline{Z}_{T3h}} & 0 & 0 & 0 & \underline{Y}_{77h} & \frac{-1}{\underline{Z}_{78h}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{\underline{Z}_{68h}} & \frac{-1}{\underline{Z}_{78h}} & \underline{Y}_{88h} \end{bmatrix}$$

Sławomir CIEŚLIK, Kazimierz Dolny, 27 kwietnia 2016 r.

Model matematyczny proponowanej sieci przesyłowej

$$\underline{Y}_h \underline{U}_h = \underline{I}_h$$

$$\underline{Y}_{11h} = \frac{1}{\underline{Z}_{L1h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{Q1h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{C1h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{12h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{14h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{15h}},$$

$$\underline{Y}_{22h} = \frac{1}{\underline{Z}_{L2h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{C2h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{12h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{23h}},$$

$$\underline{Y}_{33h} = \frac{1}{\underline{Z}_{L3h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{Q3h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{C3h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{23h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{34h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{T3h}},$$

$$\underline{Y}_{44h} = \frac{1}{\underline{Z}_{L4h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{C4h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{14h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{34h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{45h}},$$

$$\underline{Y}_{55h} = \frac{1}{\underline{Z}_{L5h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{C5h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{15h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{45h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{T5h}},$$

$$\underline{Y}_{66h} = \frac{1}{\underline{Z}_{L6h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{C6h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{68h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{T5h}}, \quad \underline{Y}_{77h} = \frac{1}{\underline{Z}_{L7h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{C7h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{78h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{T3h}},$$

$$\underline{Y}_{88h} = \frac{1}{\underline{Z}_{L8h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{C8h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{78h}} + \frac{1}{\underline{Z}_{68h}}.$$

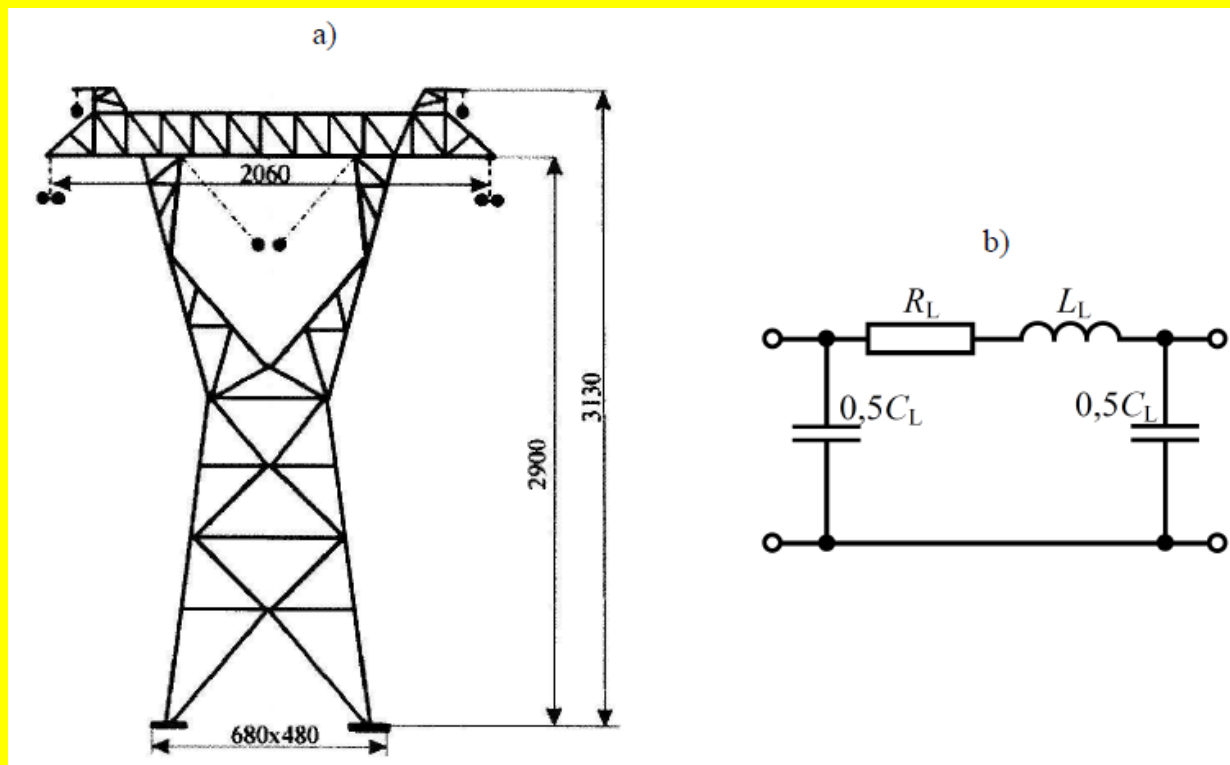
Model matematyczny proponowanej sieci przesyłowej

$$\mathbf{Y}_h \mathbf{U}_h = \mathbf{I}_h$$

$$\mathbf{U}_h = [\underline{U}_{1h} \quad \underline{U}_{2h} \quad \underline{U}_{3h} \quad \underline{U}_{4h} \quad \underline{U}_{5h} \quad \underline{U}_{6h} \quad \underline{U}_{7h} \quad \underline{U}_{8h}]^T$$

$$\mathbf{I}_h = \begin{bmatrix} \frac{\underline{U}_{Q1h}}{\underline{Z}_{Q1h}} + \underline{I}_{1h} & \underline{I}_{2h} & \frac{\underline{U}_{Q3h}}{\underline{Z}_{Q3h}} + \underline{I}_{3h} & \underline{I}_{4h} & \underline{I}_{5h} & \underline{I}_{6h} & \underline{I}_{7h} & \underline{I}_{8h} \end{bmatrix}^T$$

Model matematyczny linii elektroenergetycznej 400 kV



$$R_{xyh} = \frac{R_j}{\xi} \cdot l_{xy}$$

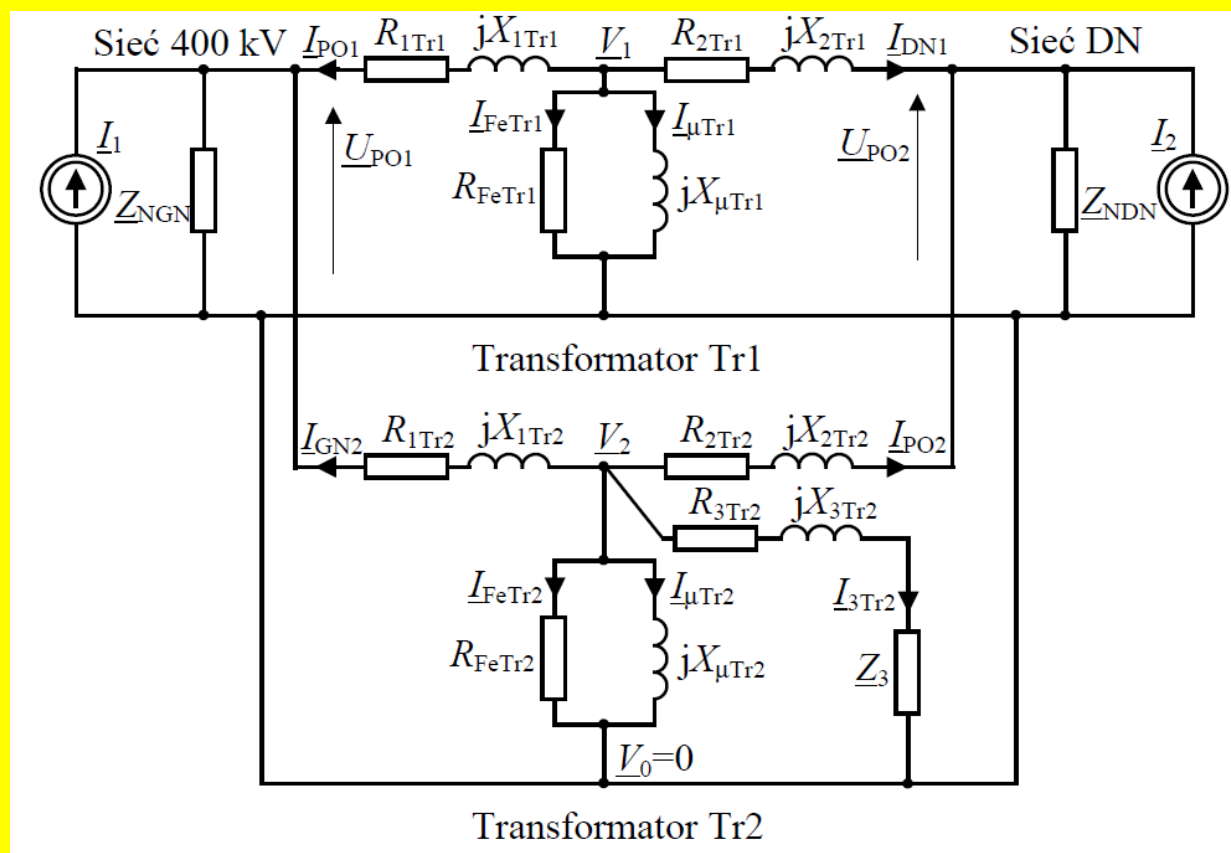
$$L_{xy} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{d}{r_{0w}} \cdot l_{xy}$$

$$C_{xy} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-9}}{\ln \left(\frac{d}{r_w} \cdot \frac{m}{M} \right)} \cdot l_{xy}$$

Model matematyczny transformatora

$$Z_T = \frac{u_{k\%} \cdot U_{NHV}^2}{100 \cdot S_N}$$

$$R_T = \frac{\Delta P_o \cdot U_{NHV}^2}{1000 \cdot S_N^2}$$



- Przedstawiony model matematyczny przykładowej elektroenergetycznej sieci przesyłowej może być stosowany do uczenia, a następnie weryfikacji wyników uzyskanych przez narzędzia identyfikacji lokalizacji źródeł wyższych harmoniczných napięć oparte na sztucznej inteligencji.
- Proponowany model matematyczny sieci jest przydatny z następujących powodów:
 - ❖ prosta struktura sieci przesyłowej pozwala na symulowanie wszystkich możliwych lokalizacji i parametrów źródeł harmoniczných,
 - ❖ wyniki tych symulacji mogą być wykorzystane w procesie uczenia np. sztucznych sieci neuronowych,
 - ❖ wyniki symulacji mogą być wykorzystane do weryfikacji działania narzędzia opartego na sztucznej inteligencji,
 - ❖ możliwe są badania wrażliwościowe i optymalizacyjne.

**DZIĘKUJĘ
ZA
UWAGĘ**

Sławomir Cieślik

Kazimierz Dolny, 27 kwietnia 2016 r.