



Równoległe kompensatory aktywne dużej mocy


Daniel Wojciechowski

Agenda

- Uwarunkowania aplikacyjne równoległych kompensatorów aktywnych (RKA)
- Obwody główne RKA
 - model układu
 - obwód sprzęgający przekształtnik z siecią zasilającą
 - struktury obwodów RKA dużej mocy
 - metodyka doboru parametrów obwodowych
- Sterowanie RKA
 - regulacja prądu, stabilność
 - metodyka wyznaczania prądu kompensującego
 - wpływ zmienności parametrów układu na jakość sterowania
- Wdrożenia opracowanych systemów RKA dużej mocy
- Podsumowanie

Motywacja do stosowania kompensatorów, w tym RKA

■ Przyczyny techniczne

niska jakość prądu zasilającego	
niska jakość napięcia zasilającego 	zmniejszenie sprawności procesu dostarczania energii do odbiorcy
niepoprawna lub mniej efektywna praca odbiorów	nieprawidłowa praca układów zabezpieczeń
niepoprawne działanie elementów automatyki	
zagrożenie rezonansem	

■ Przyczyny ekonomiczne

- wynikające z przyczyn technicznych
- kary umowne

■ Wymagania i zalecenia formalne

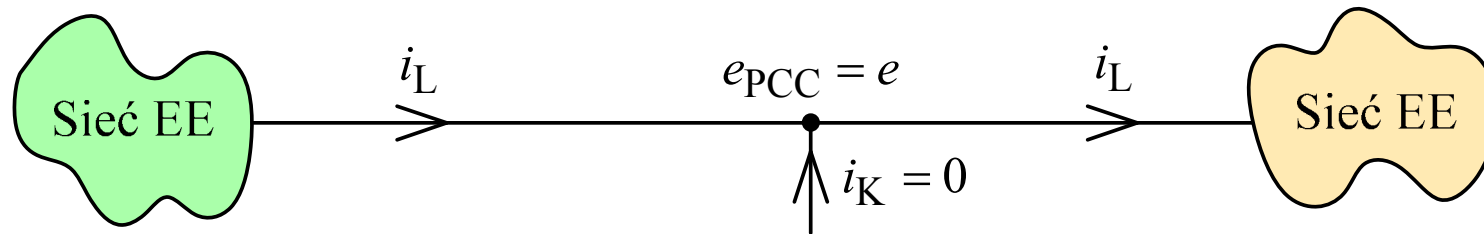
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (2007)
- normy: PN-EN 50160, IEEE 519-1992, PN-EN 61000-3-2 (<16 A), PN-EN 61000-3-12 (16–75 A), PN-EN 61000-2-2, PN-EN 61000-2-4

Możliwości kompensacyjne RKA

Ozn	Rodzaj zadania kompensacyjnego RKA	Podstawowe cele realizacji zadania kompensacyjnego
1a	kompensacja mocy biernej	zmniejszenie strat przesyłu energii
1b	kompensacja wyższych harmonicznych prądu zasilającego wraz z ich niesymetrią	
1c	kompensacja niesymetrii podstawowej harmonicznej prądu zasilającego	
1d	kompensacja prądu w przewodzie neutralnym	
1e	kompensacja składowych interharmonicznych i podharmonicznych prądu zasilającego	
1f	kompensacja składowych nieokresowych prądu zasilającego, z pominięciem udarów	
1g	kompensacja udarów prądu	
2	regulacja napięcia zasilającego	regulacja profilu napięcia zasilającego
3	tłumienie rezonansów występujących w sieci zasilającej	stabilizacja układu zasilania, zmniejszenie odkształceń napięcia

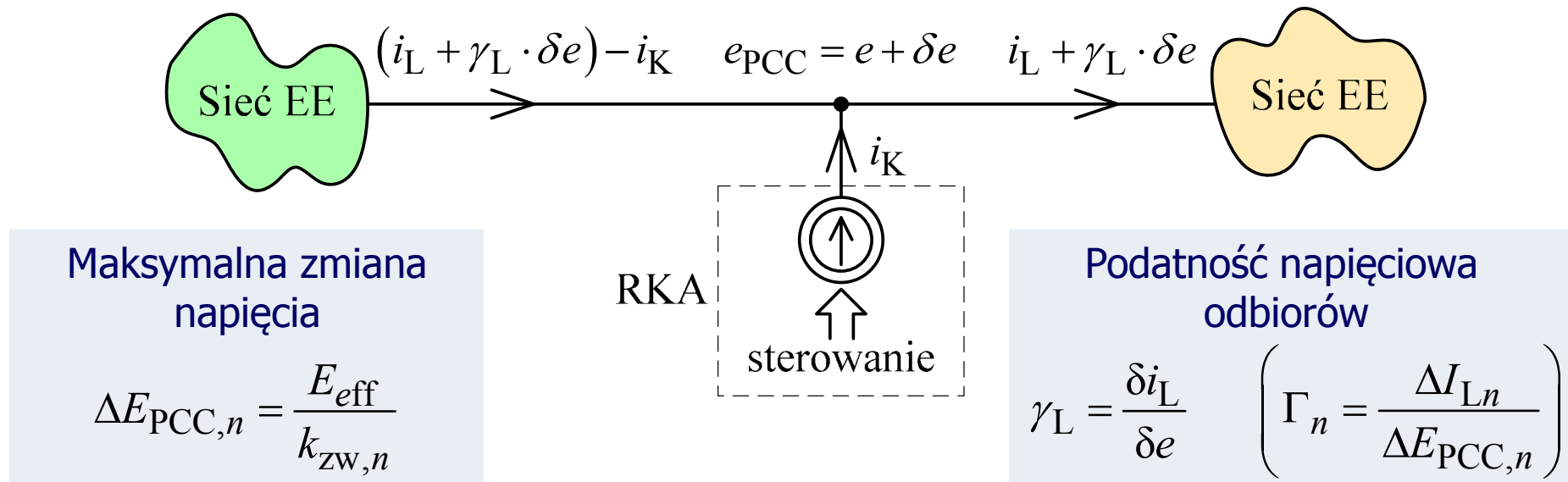
Oddziaływanie RKA na sieć zasilającą wokół PCC

Układ zasilania bez RKA



Oddziaływanie RKA na sieć zasilającą wokół PCC

Układ zasilania z RKA



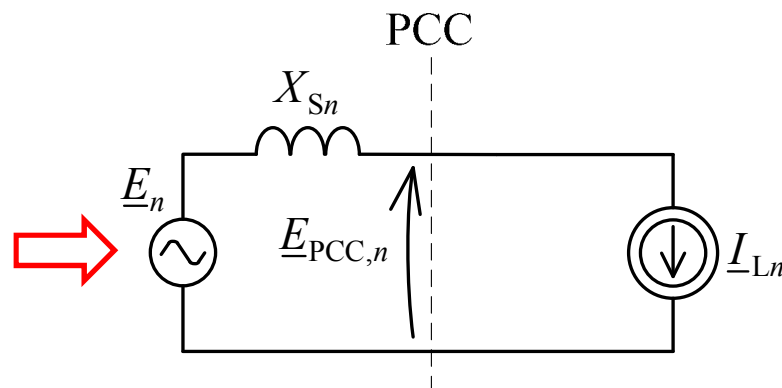
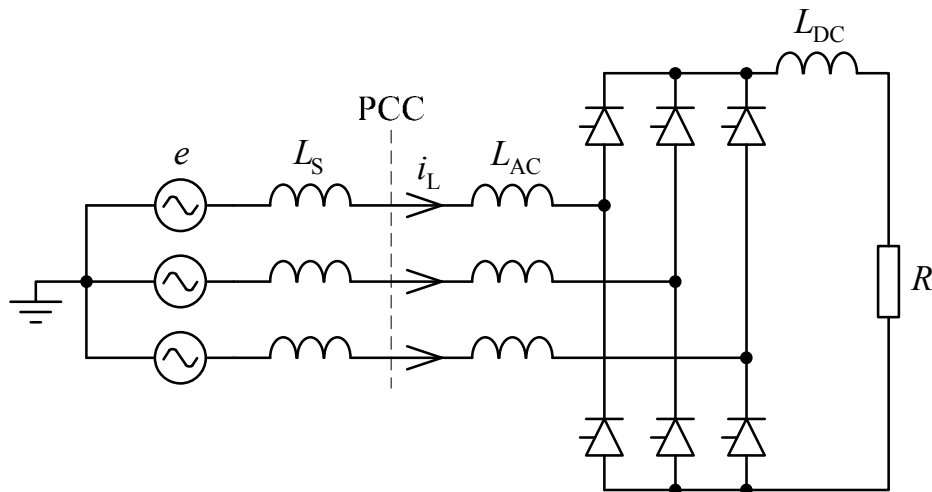
Efekty pracy RKA

- zmiana prądu zasilającego
- zmiana napięcia w pobliżu PCC
- zmiana prądu odbiorów przyłączonych w pobliżu PCC

Podatność napięciowa odbiorów

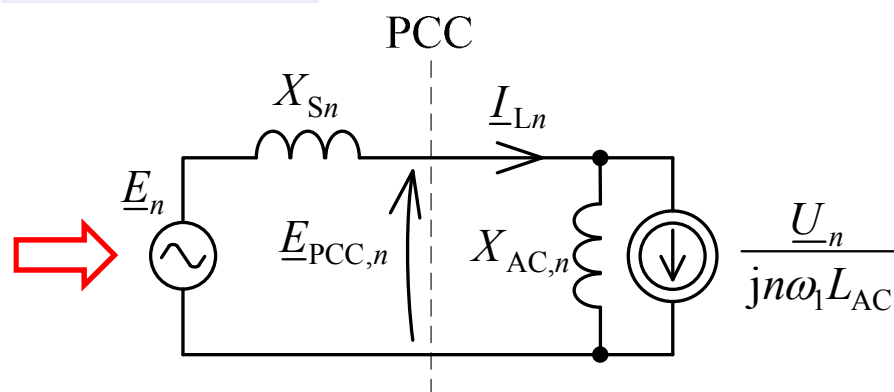
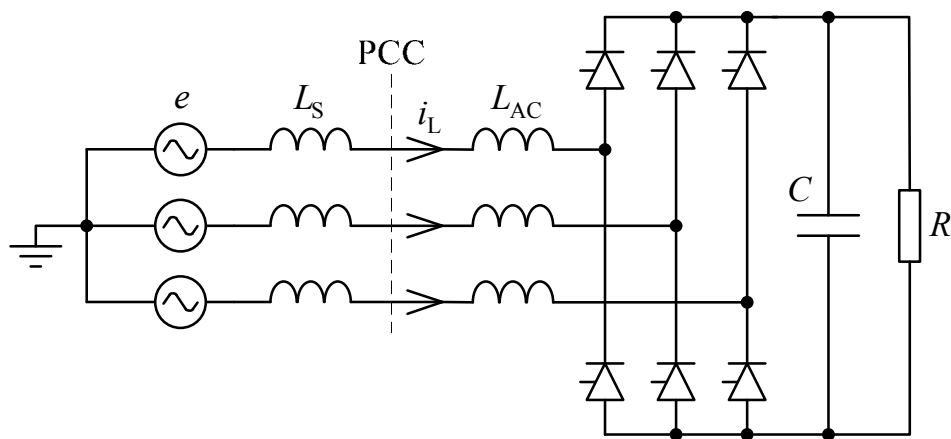
Odbiór o char. prądowym

$$\Gamma_n = 0$$



Odbiór o char. napięciowym

$$\Gamma_n = \frac{1}{X_{AC,n}}$$

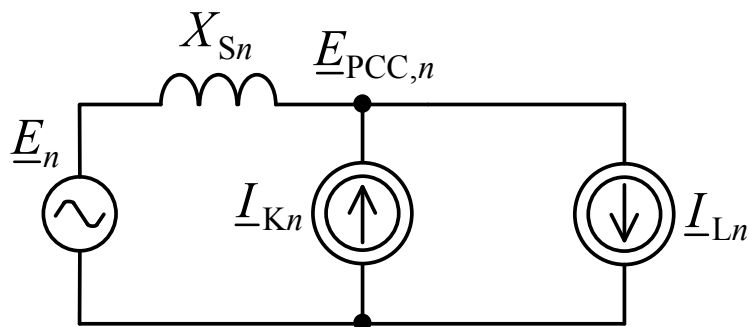


Efekty pracy RKA – zmiana prądu odbiorów

Wpływ RKA na napięcie E_{PCC}

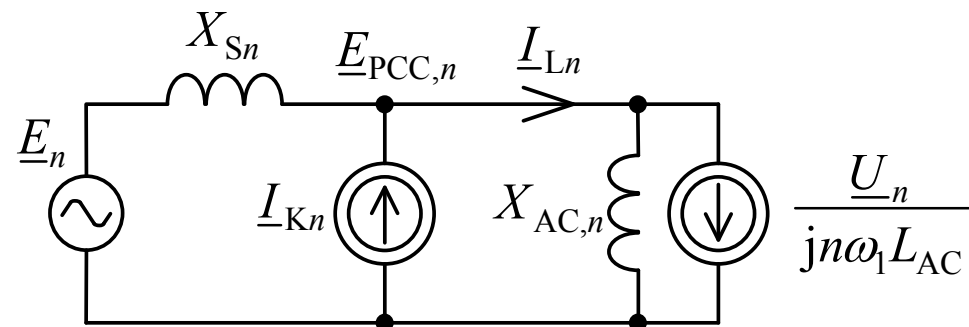
$$\begin{cases} \underline{I}_{K1} = 0 \\ \underline{I}_{Kn} = \underline{I}_{Ln} \leftarrow n > 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \underline{E}_{PCC,1} = \underline{E}_1 - jX_{S1}\underline{I}_{L1} \\ \underline{E}_{PCC,n} = \underline{E}_n \leftarrow n > 1 \end{cases}$$

Odbiór o char. prądowym



$$\begin{cases} \frac{\Delta I_{L1}}{I_{L1}} = 0 \\ \frac{\Delta I_{Ln}}{I_{Ln}} = 0 \end{cases}$$

Odbiór o char. napięciowym

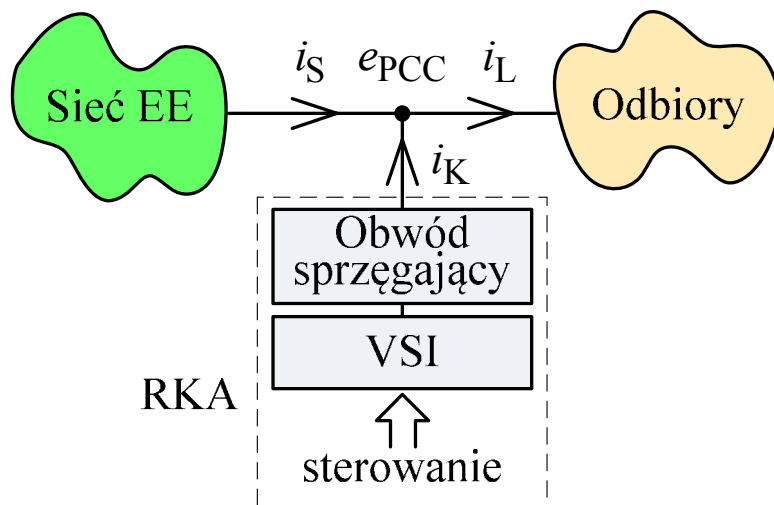


$$\begin{cases} \frac{\Delta I_{L1}}{I_{L1}} = 0 \\ \frac{\Delta I_{Ln}}{I_{Ln}} = \frac{X_{Sn}}{X_{AC,n}} = \frac{L_S}{L_{AC}} \leftarrow n > 1 \end{cases}$$

Warunki pracy i wymagania wobec RKA

Warunki pracy RKA zależą od:

- podatności napięciowej odbiorów w pobliżu PCC (w tym kompensowanych)
- zmienności prądu (mocy) kompensowanych odbiorów
- jakości napięcia w PCC
- względnej mocy zwarciowej w PCC określonej zarówno ze względu na moc kompensowanych odbiorów jak i moc RKA



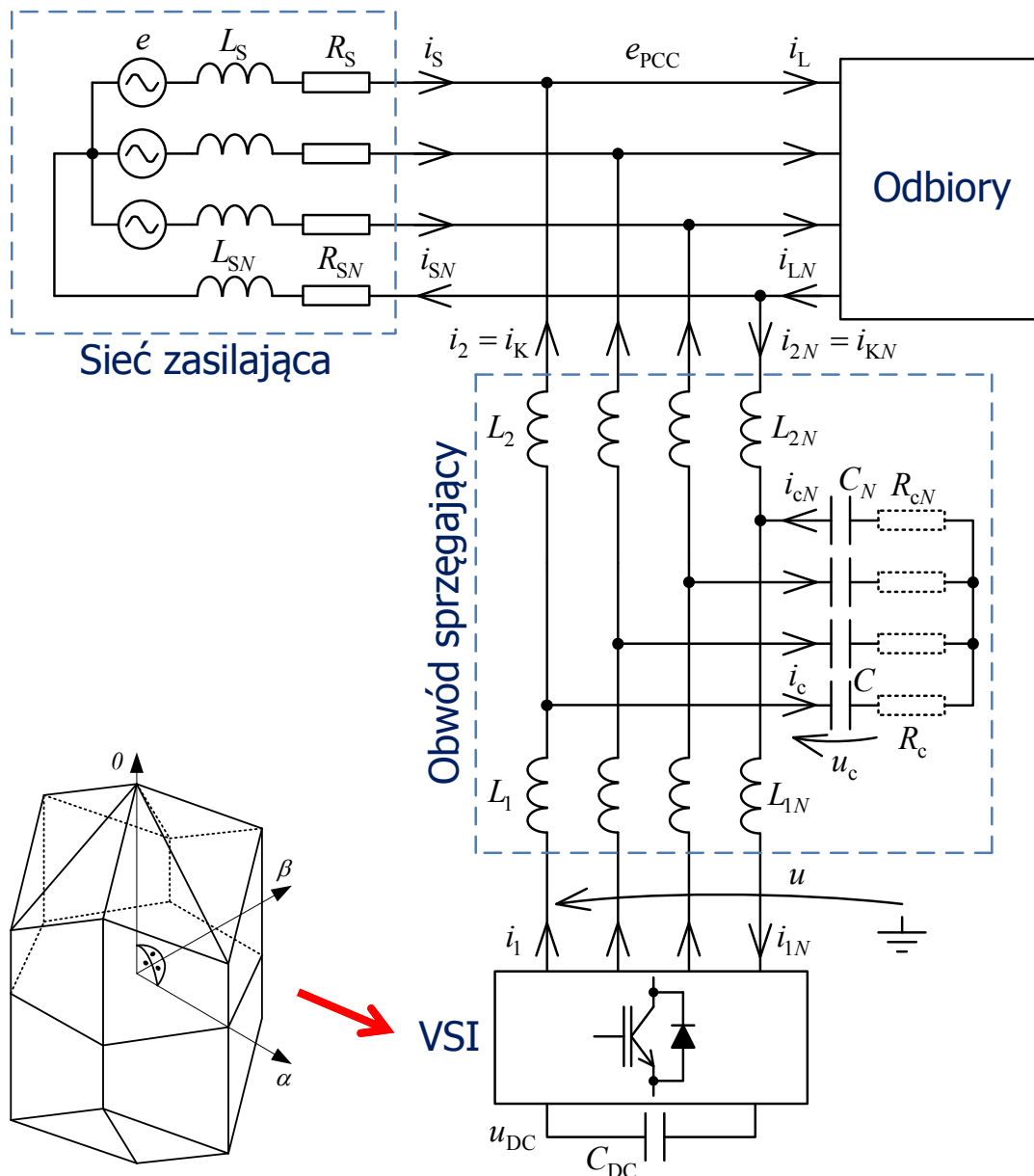
Wymagania wobec RKA:

- odporność na złe warunki pracy i ich zmiany
- brak negatywnego oddziaływania na sieć (brak tętnień prądu RKA)
- wysoka dynamika i dokładność kształtowania prądu

Agenda

- Uwarunkowania aplikacyjne równoległych kompensatorów aktywnych (RKA)
- Obwody główne RKA
 - model układu
 - obwód sprzęgający przekształtnik z siecią zasilającą
 - struktury obwodów RKA dużej mocy
 - metodyka doboru parametrów obwodowych
- Sterowanie RKA
 - regulacja prądu, stabilność
 - metodyka wyznaczania prądu kompensującego
 - wpływ zmienności parametrów układu na jakość sterowania
- Wdrożenia opracowanych systemów RKA dużej mocy
- Podsumowanie

Model obwodów głównych RKA



$$\dot{\vec{x}} = \mathbf{A}\vec{x} + \mathbf{B}\vec{u}, \quad \vec{y} = \mathbf{C}\vec{x} + \mathbf{D}\vec{u}$$

$$\vec{x} = \vec{y} = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ u_c \end{bmatrix}, \quad \vec{u} = \begin{bmatrix} u \\ e_{PCC} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -R_c/L_1 & R_c/L_1 & -1/L_1 \\ R_c/L_2 & -R_c/L_2 & 1/L_2 \\ 1/C & -1/C & 0 \end{bmatrix}$$

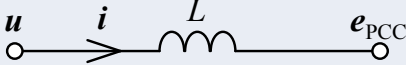
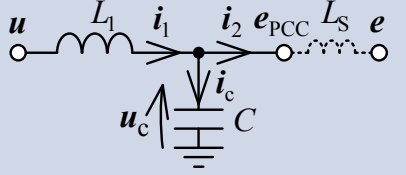
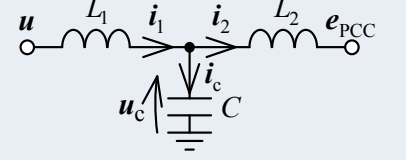
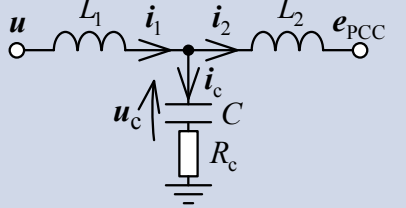
$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1/L_1 & 0 \\ 0 & -1/L_2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = \mathbf{I}, \quad \mathbf{D} = \mathbf{0}$$

$$f_{r,LCL} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2 C}}$$

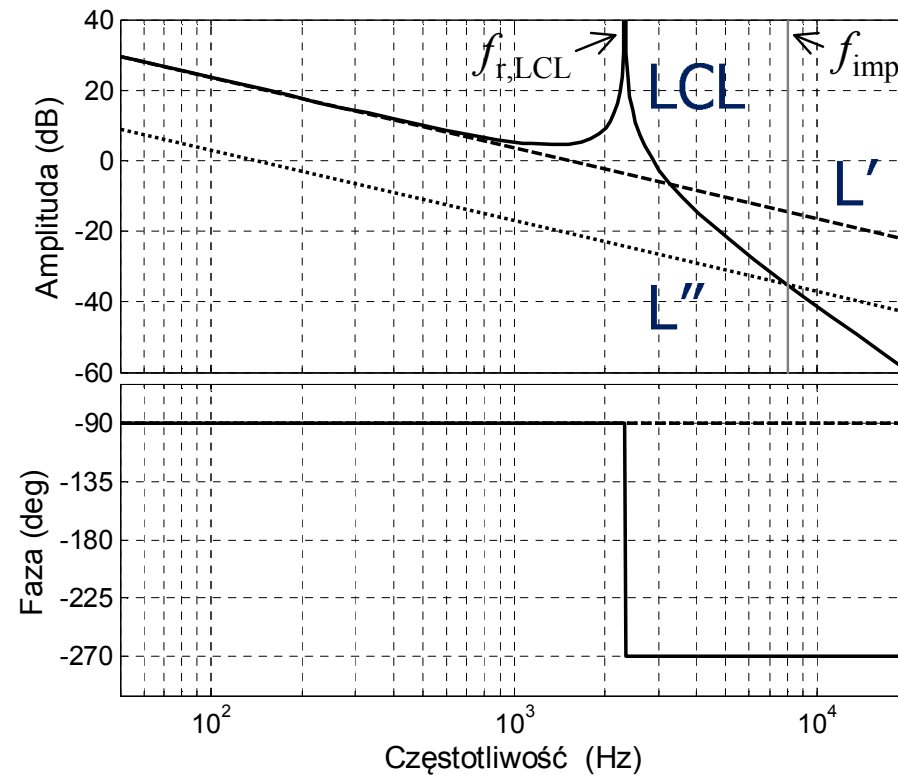
Obwód sprzęgający – wymagania, struktury

Podstawowe wymagania wynikają z konieczności:

- zapewnienia wysokiej dynamiki prądu kompensującego
- ograniczenia wysokoczęstotliwościowych tętnień prądu

Obwód	Schemat ideowy	Transmitancja operatorowa $G_{u \rightarrow i_2}(s)$
L		$\frac{1}{Ls}$
LC		a) $\frac{1}{L_1 s} \Leftrightarrow L_S = 0$
		b) $\frac{1}{L_1 L_S C s^3 + (L_1 + L_S) s} \Leftrightarrow L_S > 0$
LCL		$\frac{1}{L_1 L_2 C s^3 + (L_1 + L_2) s}$
LCL+R		$\frac{CR_c s + 1}{L_1 L_2 C s^3 + (L_1 + L_2) CR_c s^2 + (L_1 + L_2) s}$

Obwód sprzęgający – porównanie struktur LCL i L



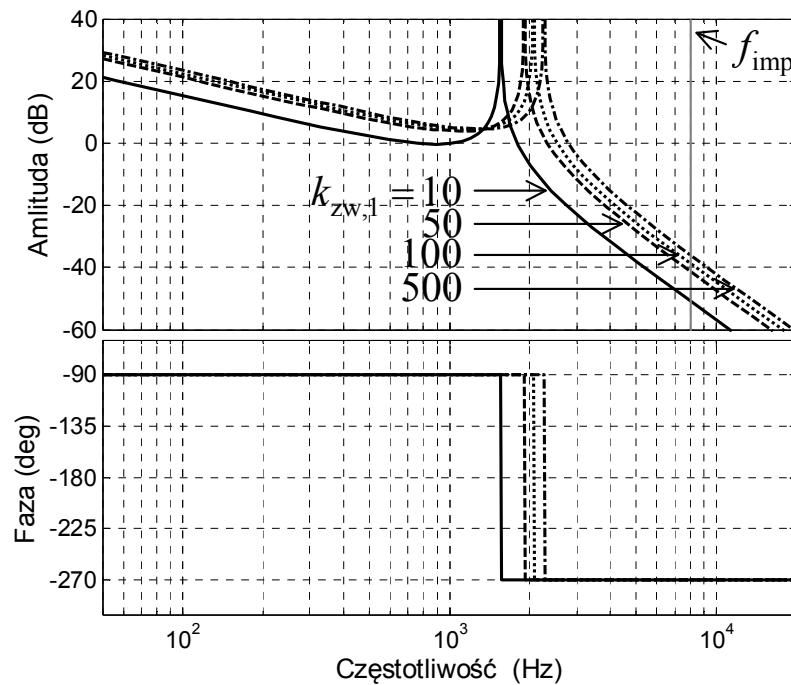
$$L' = \lim_{\omega \rightarrow 0} (L_1 + L_2 - \omega^2 L_1 L_2 C) = L_1 + L_2$$

$$\frac{L''}{L'} = \frac{L}{L_1 + L_2} \Big|_{\text{STATCOM}} = \frac{f_{\text{imp}}^2}{f_{r,\text{LCL}}^2} - 1$$

$$L'' = 4\pi^2 f_{\text{imp}}^2 L_1 L_2 C - L_1 - L_2$$

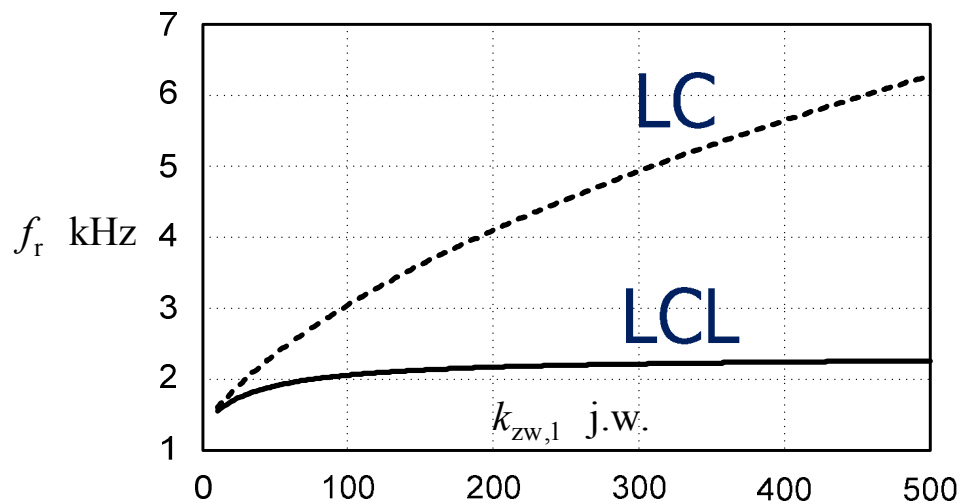
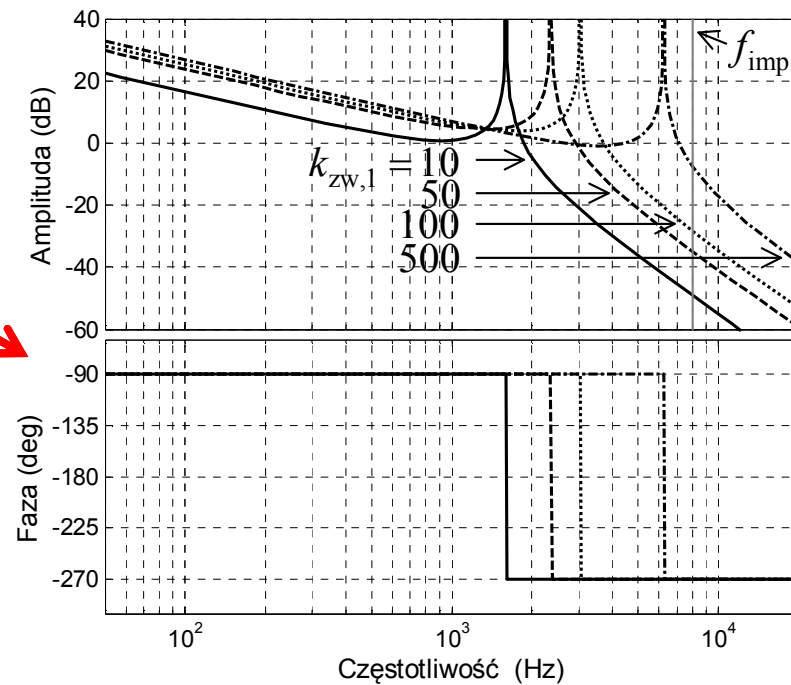
$$\frac{f_{\text{imp}}}{f_{r,\text{LCL}}} > 3 \Rightarrow \frac{L}{L_1 + L_2} \Big|_{\text{STATCOM}} > 8$$

Obwód sprzęgający – porównanie struktur LCL i LC

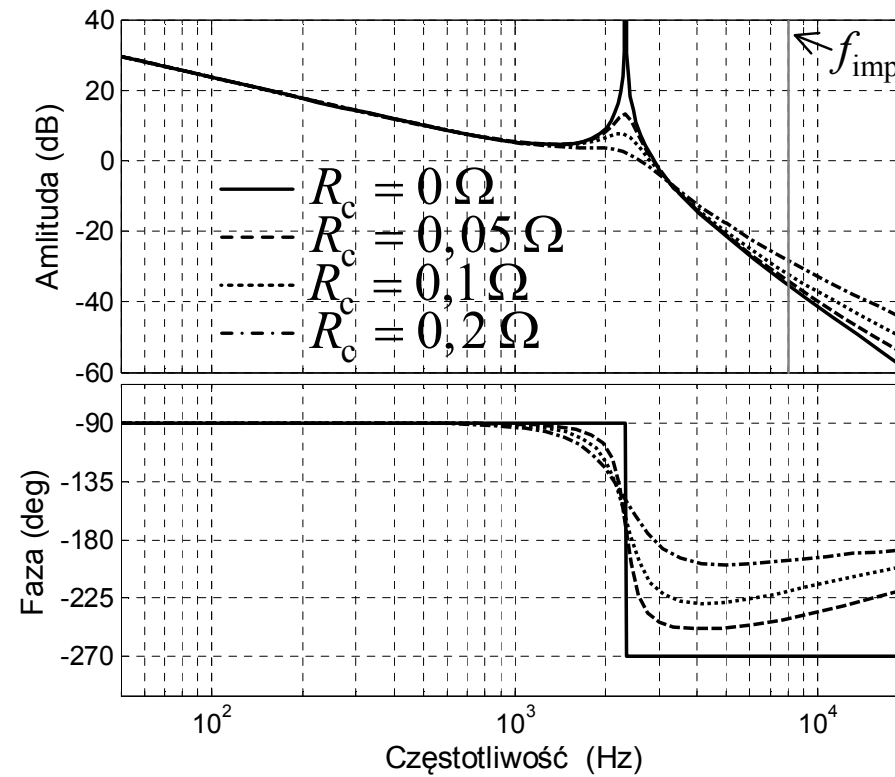


LCL

LC



Obwód sprzęgający – porównanie struktur LCL i LCL+R



$$R_c \approx \frac{1}{2\pi \cdot f_{imp} C} \quad \text{– dla sterowania z regulatorem prądu PI}$$

Uwarunkowania dla obwodów RKA dużej mocy

Minimalna częstotliwość rezonansowa LCL: $f_{r,LCL} = 2 \text{ kHz}$

↓ stabilność układu regulacji

Minimalna częstotliwość impulsowania VSI: $f_{imp} = 8 \text{ kHz}$

↓ straty łączeniowe półprzewodników falownika

Maksymalna moc RKA z pojedynczym, dwupoziomowym VSI:
 $S_{RKA,max} \approx 300 \text{ kVA}$

↓ możliwe rozwiązania

System RKA z wieloma falownikami pracującymi równolegle

System RKA z falownikiem (falownikami) wielopoziomowymi

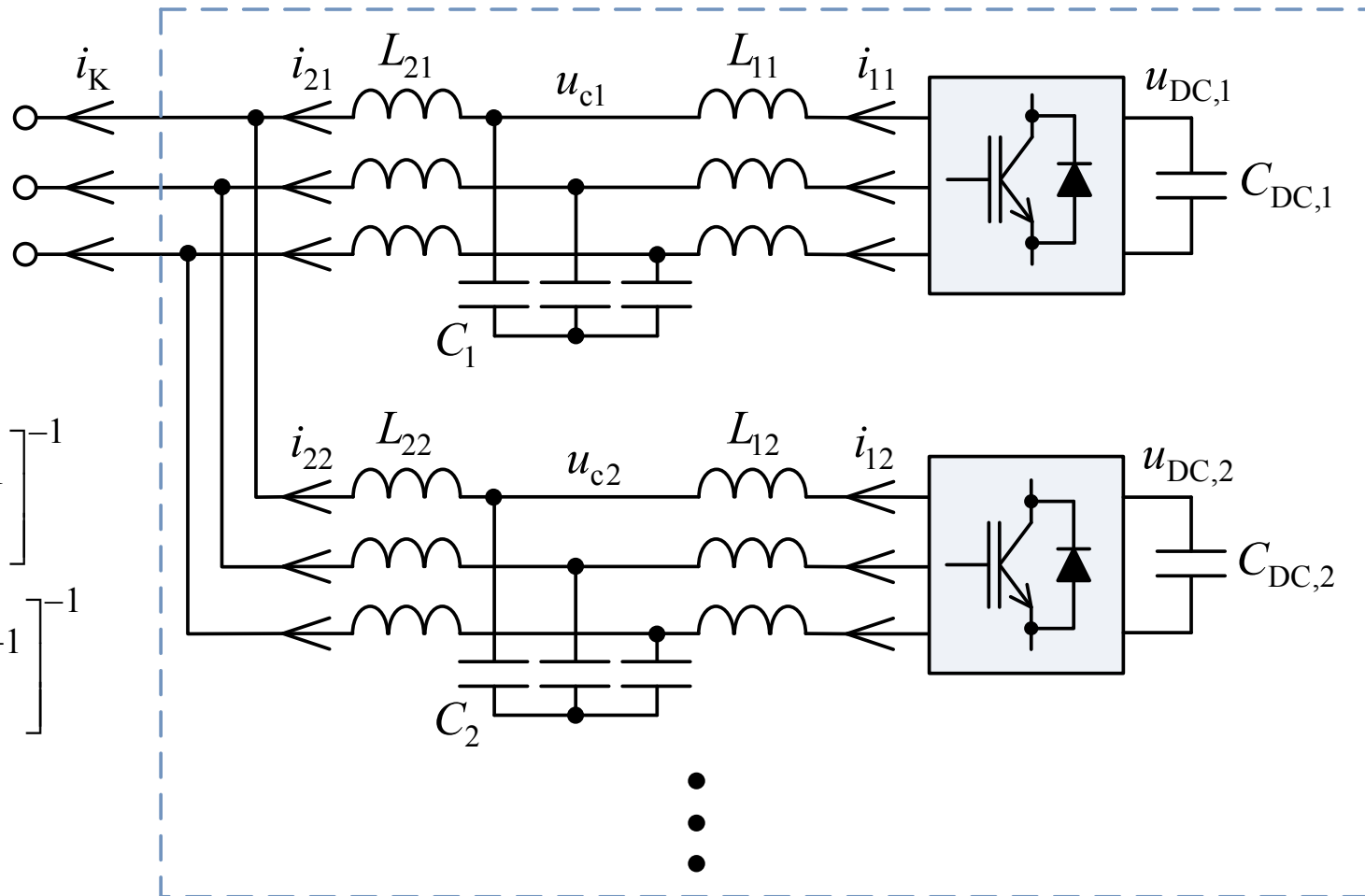
Obwody RKA dużej mocy – niezależne obwody LCL

System RKA

$$L_{1,zast} = \left[\sum_m (L_{1m})^{-1} \right]^{-1}$$

$$L_{2,zast} = \left[\sum_m (L_{2m})^{-1} \right]^{-1}$$

$$C_{zast} = \sum_m C_m$$



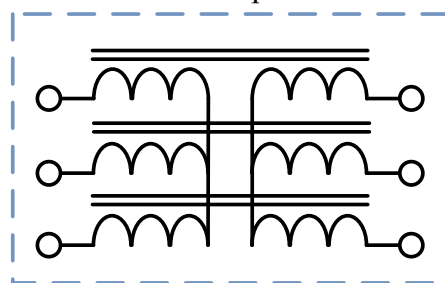
Obwody RKA dużej mocy – zintegrowany obwód LCL (A)

$$L_{1,zast} = \left[\sum_m (L_{1m})^{-1} \right]^{-1}$$

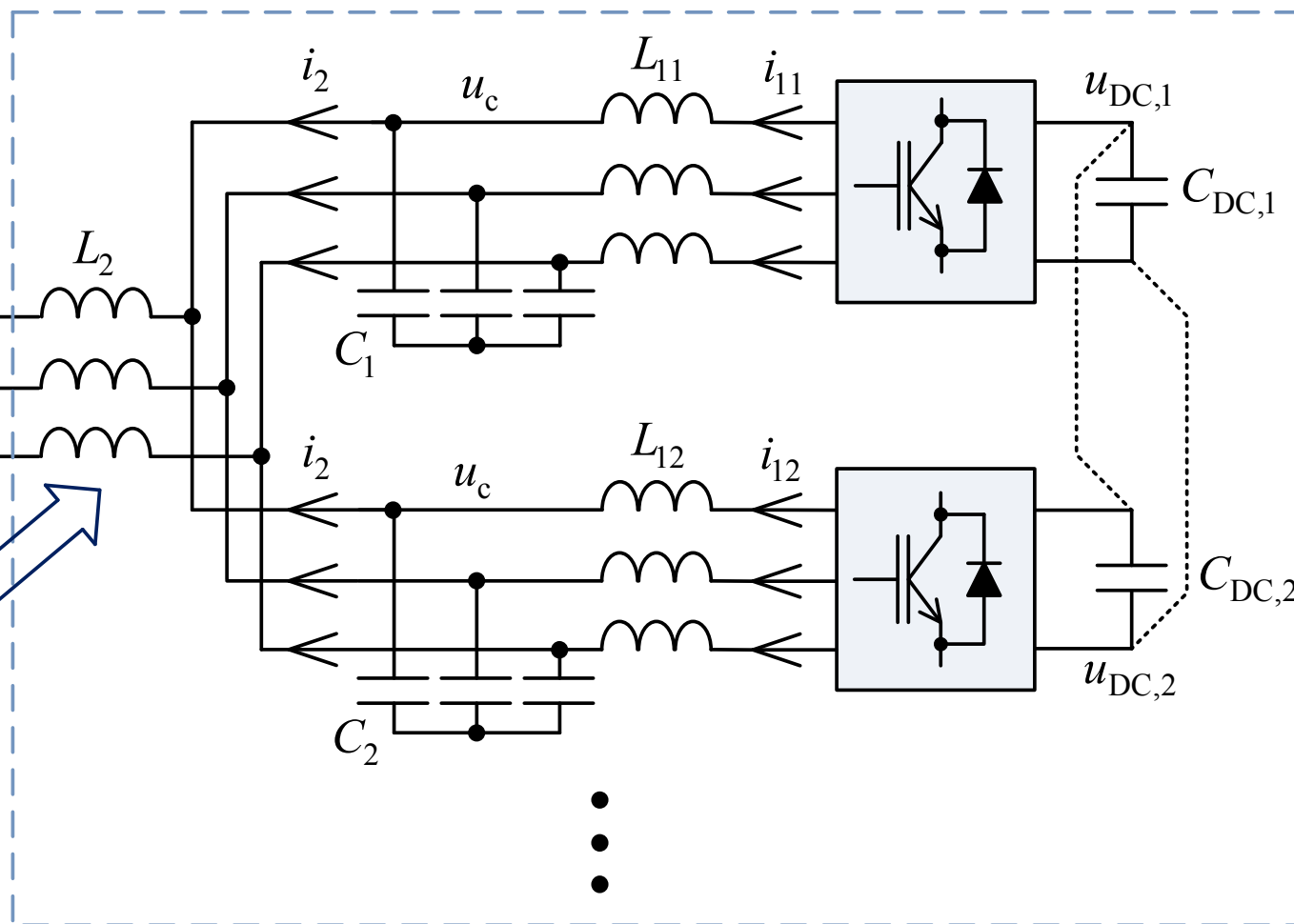
$$L_2 = \left[\sum_m (L_{2m})^{-1} \right]^{-1}$$

$$C_{zast} = \sum_m C_m$$

$$L_2 = L_{rozproszczenia}$$



System RKA



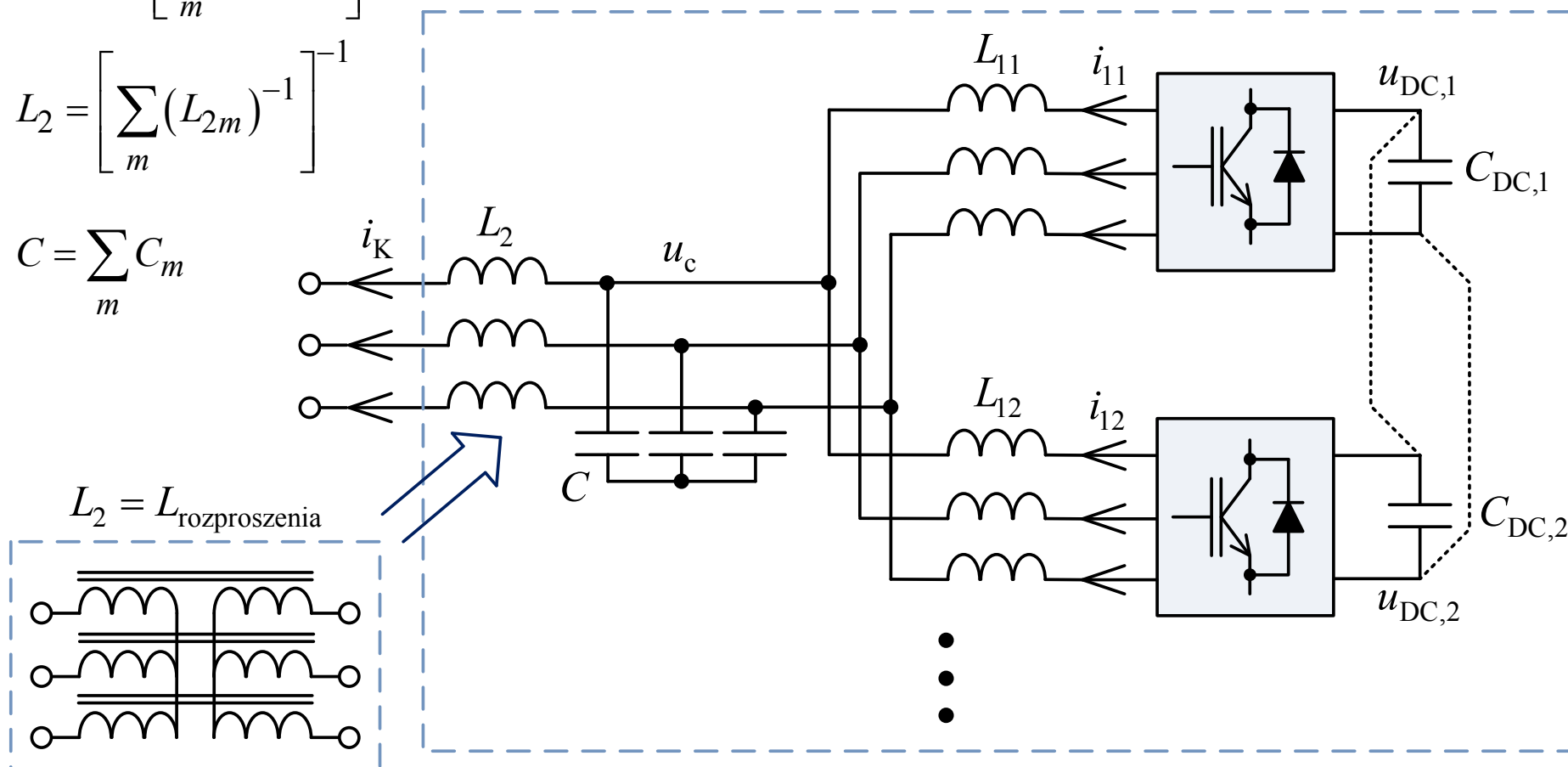
Obwody RKA dużej mocy – zintegrowany obwód LCL (B)

$$L_{1,zast} = \left[\sum_m (L_{1m})^{-1} \right]^{-1}$$

$$L_2 = \left[\sum_m (L_{2m})^{-1} \right]^{-1}$$

$$C = \sum_m C_m$$

System RKA



Obwody RKA dużej mocy – układ czteroprzewodowy (B)

$$L_{1,zast} = \left[\sum_m (L_{1m})^{-1} \right]^{-1}$$

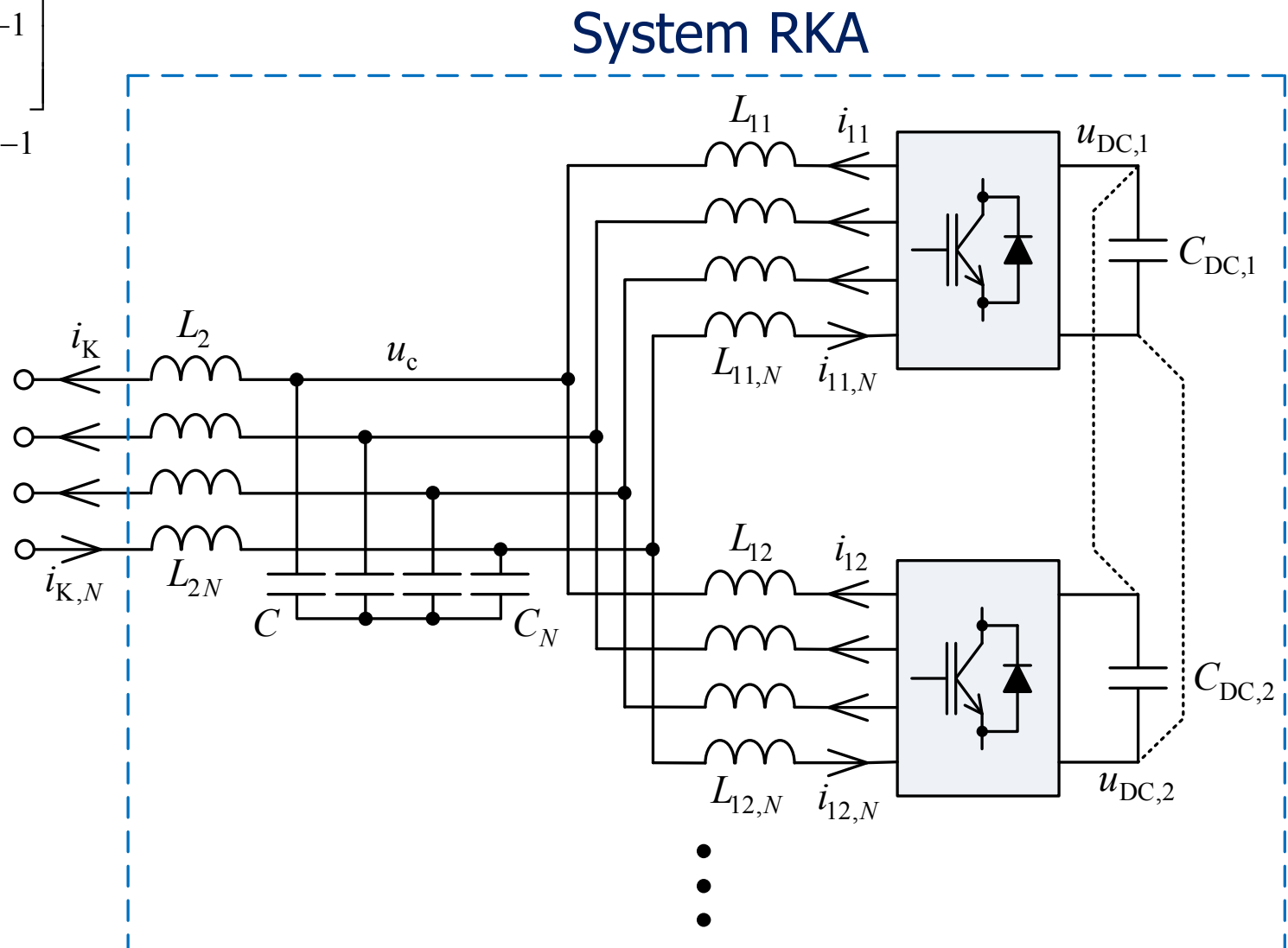
$$L_2 = \left[\sum_m (L_{2m})^{-1} \right]^{-1}$$

$$C = \sum_m C_m$$

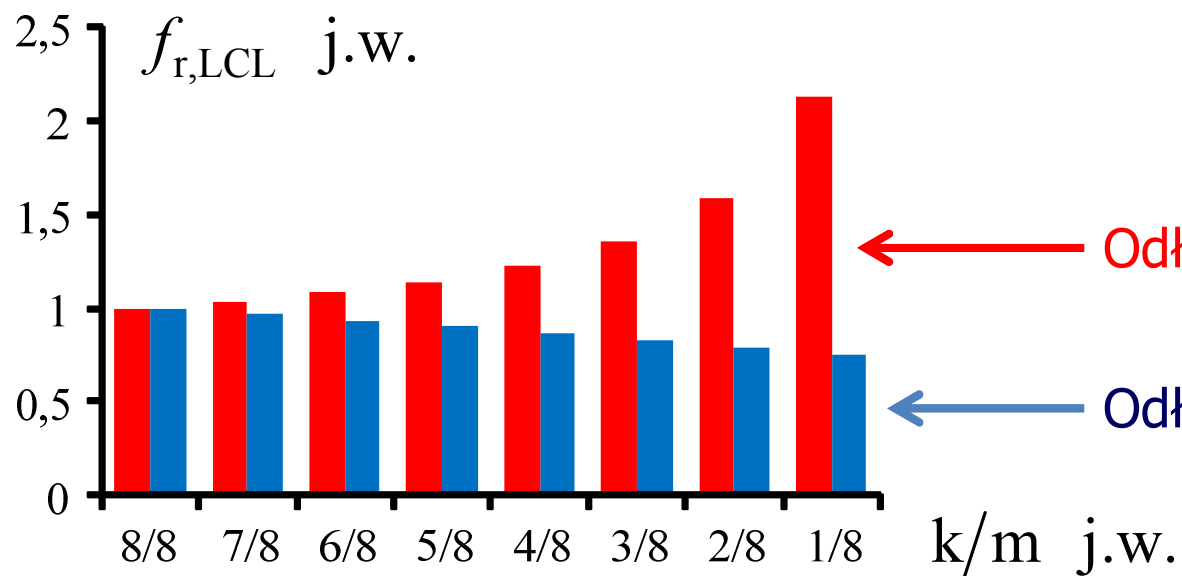
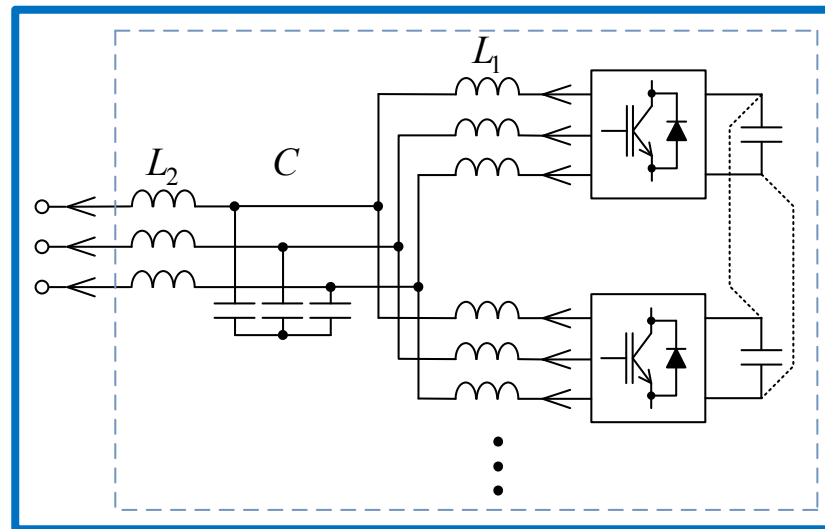
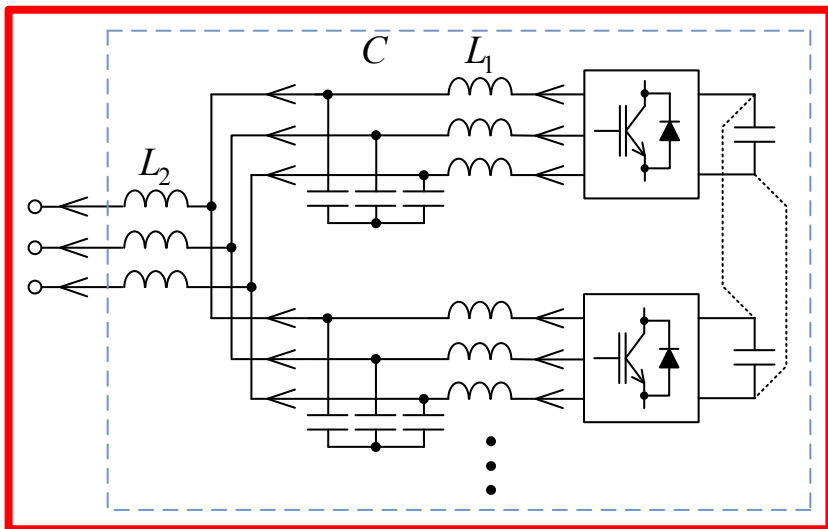
$$L_{1N} = \frac{2}{3} L_1$$

$$L_{2N} = \frac{2}{3} L_2$$

$$C_N = \frac{3}{2} C$$



Obwody RKA dużej mocy – odłączanie modułów



$$S_{RKA} = \frac{k}{m} S_{RKA,N}$$

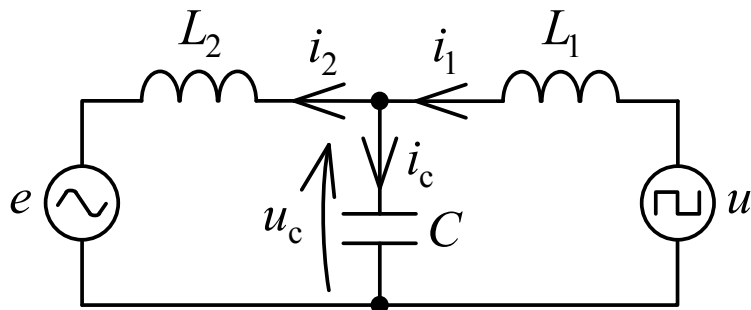
← Odłączanie L_1 i C

← Odłączanie tylko L_1

Dobór parametrów obwodowych

Parametry obwodowe RKA warunkują:

- dynamikę graniczną prądu kompensującego i_2
- zawartość tętnień w prądzie kompensującym i_2
- zawartość tętnień w prądzie i_1
- składową bierną prądu i_1 przeładowującą kondensator C
- koszt, masę i gabaryty układu

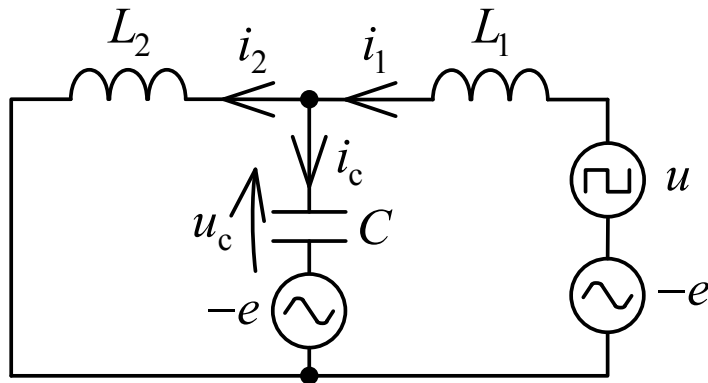


Właściwości źródła napięcia u :

- charakter impulsowy (f_{imp})
- ograniczenie:

$$-\frac{2}{3}u_{\text{DC}} < u < \frac{2}{3}u_{\text{DC}}$$

Dobór parametrów – składowa bierna i_1 ; dynamika i_2



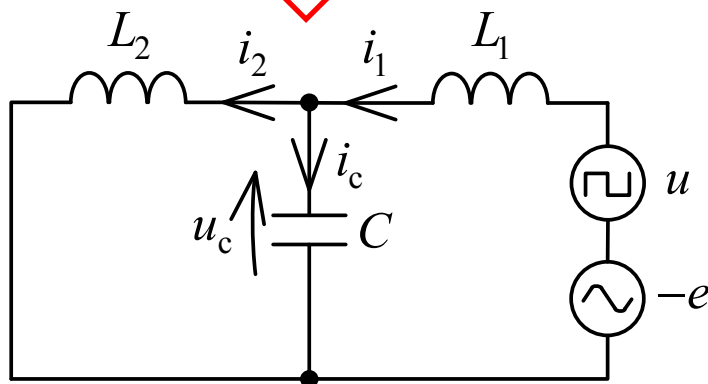
$$i_{1,Q} = C \frac{d}{dt} [E \sin(\omega_e t)] = \omega_e C E \cos(\omega_e t)$$

$$u_{L1,Q} = L_1 \frac{d}{dt} i_{1,Q} = -\omega_e^2 L_1 C E \sin(\omega_e t)$$

$$\frac{U_{L1,Q}}{E} = \omega_e^2 L_1 C = \frac{\omega_e}{\omega_{r,L1C}}$$

$$\omega_e = \omega_{r,L1C}$$

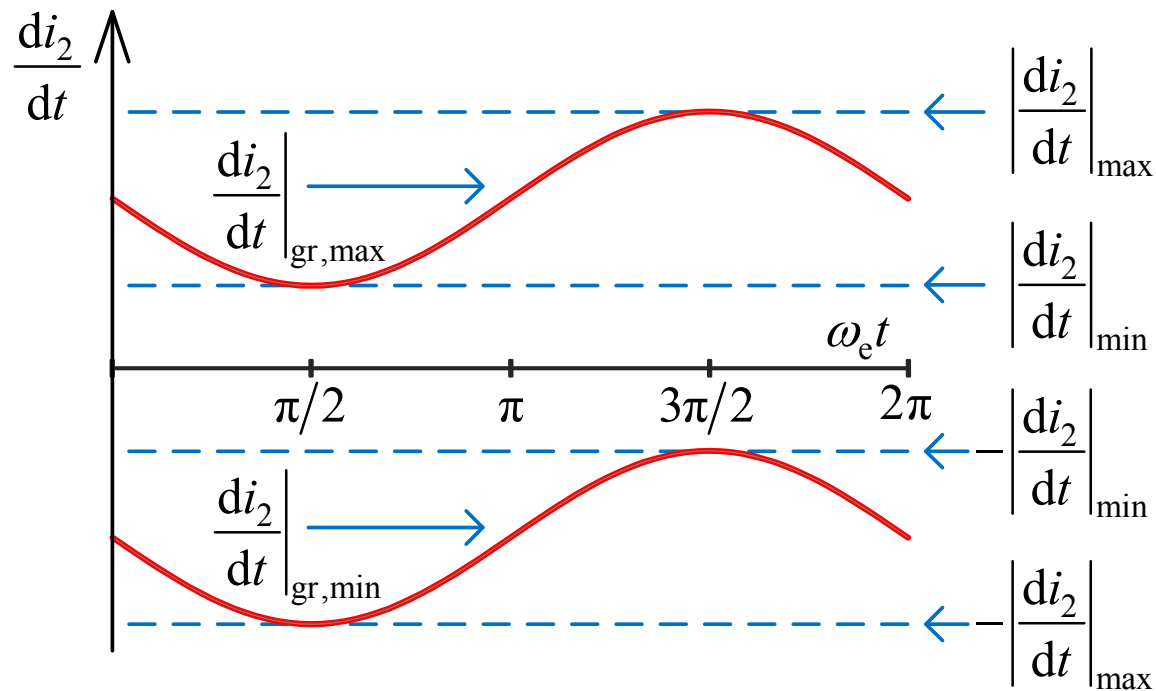
pominięcie składowej biernej prądu i_1



$$h_{u \rightarrow i_2}(t) = \frac{t}{L_1 + L_2} - \frac{\sin(\omega_r t)}{\omega_r (L_1 + L_2)}$$

$$T > \frac{1}{2} \frac{2\pi}{\omega_r} \Rightarrow h_{u \rightarrow i_2}(t) \approx \frac{t}{L_1 + L_2}$$

Dobór parametrów – dynamika graniczna prądu i_2



$$\left. \frac{di_2}{dt} \right|_{gr,min} < \frac{di_K^{zad}}{dt} < \left. \frac{di_2}{dt} \right|_{gr,max}$$

Dynamika i_2 zależy od u_{DC} oraz od L_1+L_2



Niezbędne są dodatkowe uwarunkowania:

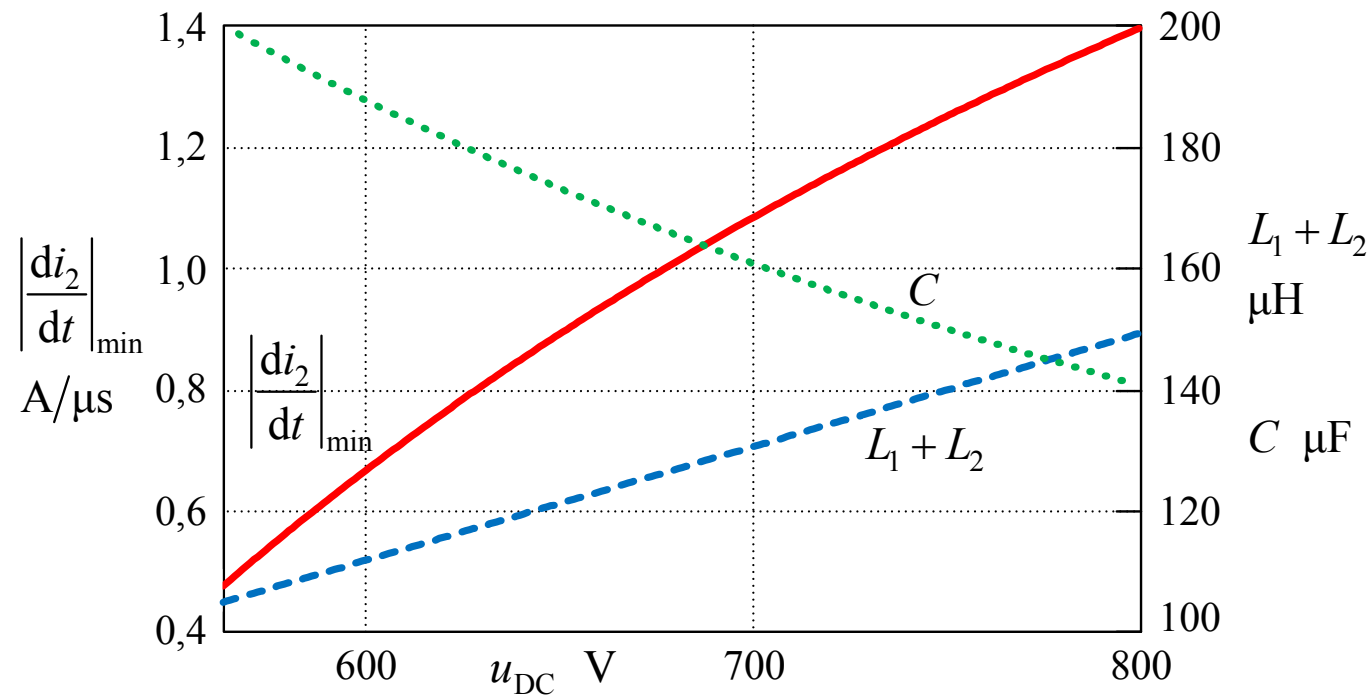
Zawartość tętnień w prądzie i_2



$$\left. \frac{di_2}{dt} \right|_{max} = \frac{1}{L_1 + L_2} \left(\frac{2}{3} u_{DC} + E \right)$$

$$\left. \frac{di_2}{dt} \right|_{min} = \frac{1}{L_1 + L_2} \left(\frac{2}{3} u_{DC} - E \right)$$

Dobór parametrów – dynamika graniczna prądu i_2

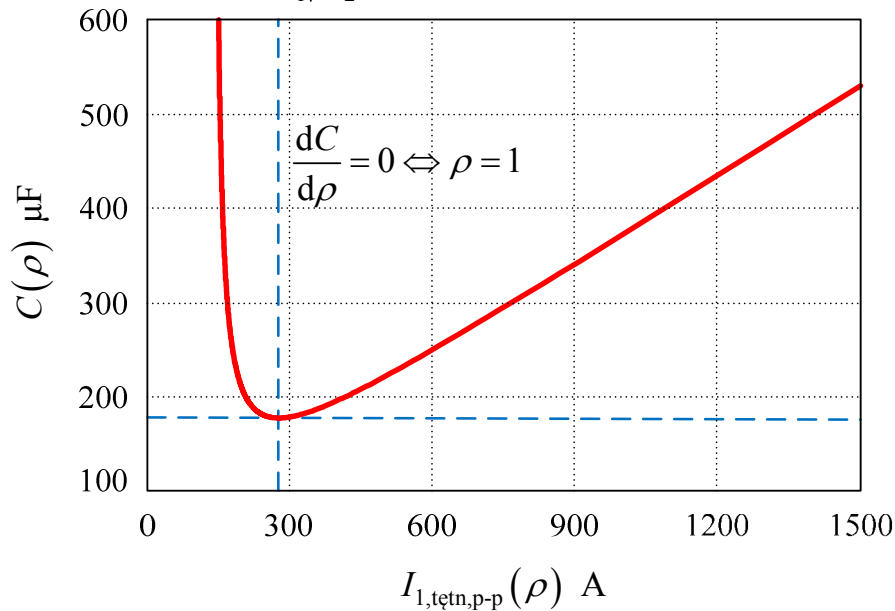
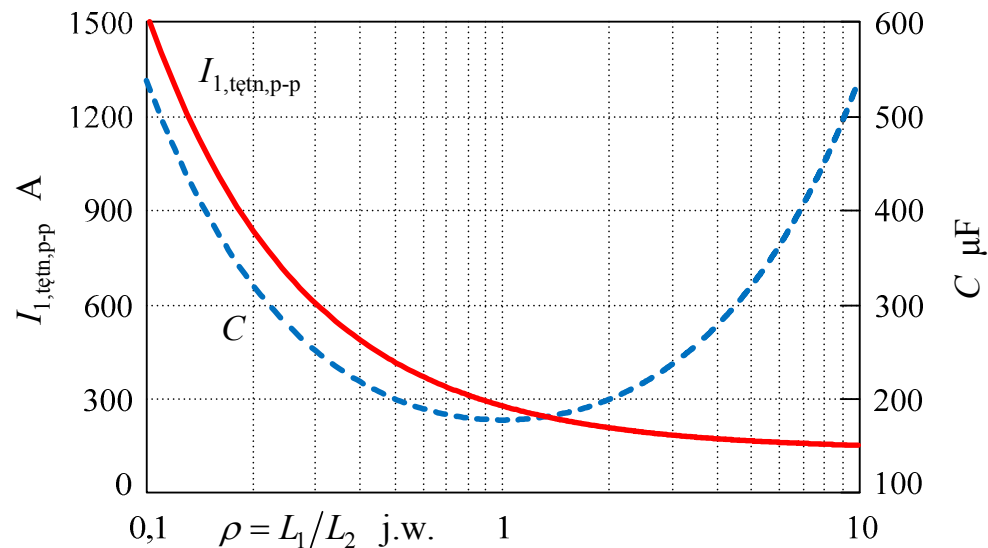


$$I_{2,\text{tętn,p-p}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{u_{\text{DC}}}{K-1} \left| \frac{1}{-\omega_{\text{imp}}^3 L_1 L_2 C + \omega_{\text{imp}} (L_1 + L_2)} \right| = \text{const} \quad f_{r,\text{LCL}} = \text{const}$$

Dobór u_{DC} jest nadrzędny względem $L_1 + L_2$

$$\frac{L_1}{L_2} = \text{const}$$

Dobór parametrów – wartość ilorazu $\rho = L_1/L_2$



$$\begin{cases} I_{1,tętn,p-p}^{wzgl} = \frac{1}{2\rho} + \frac{1}{2} \\ C^{wzgl} = \frac{(\rho+1)^2}{4 \cdot \rho} \end{cases}$$

$$-\Lambda \cdot \frac{d}{d\rho} \left(I_{1,tętn,p-p}^{wzgl} \right) = \frac{d}{d\rho} \left(C^{wzgl} \right)$$



$$\rho = \sqrt{2\Lambda + 1}$$



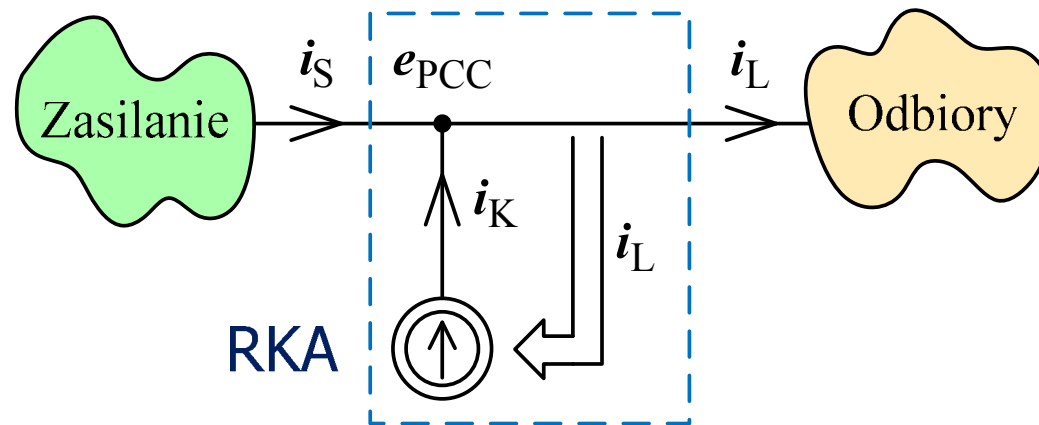
$$\Lambda = (1...2) \Rightarrow \rho = (1,7...2,2)$$

Agenda

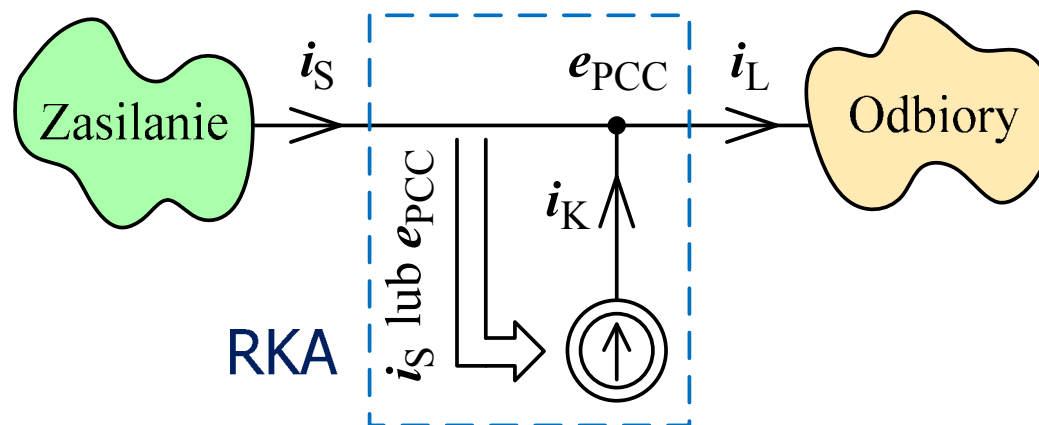
- Uwarunkowania aplikacyjne równoległych kompensatorów aktywnych (RKA)
- Obwody główne RKA
 - model układu
 - obwód sprzęgający przekształtnik z siecią zasilającą
 - struktury obwodów RKA dużej mocy
 - metodyka doboru parametrów obwodowych
- Sterowanie RKA
 - regulacja prądu, stabilność
 - metodyka wyznaczania prądu kompensującego
 - wpływ zmienności parametrów układu na jakość sterowania
- Wdrożenia opracowanych systemów RKA dużej mocy
- Podsumowanie

Metody kompensacji realizowanej przez RKA

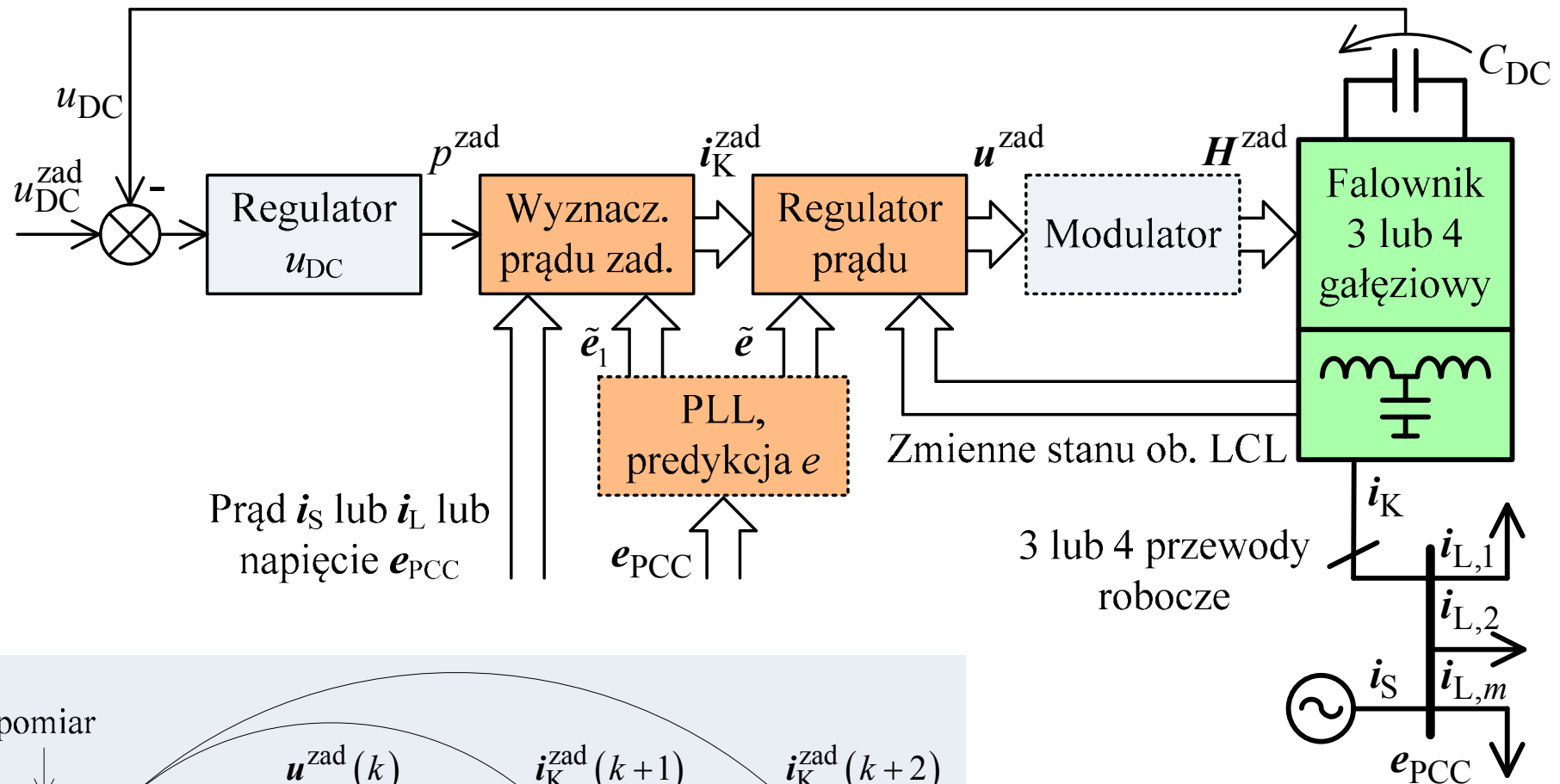
Kompensacja w układzie otwartym



Kompensacja w układzie zamkniętym

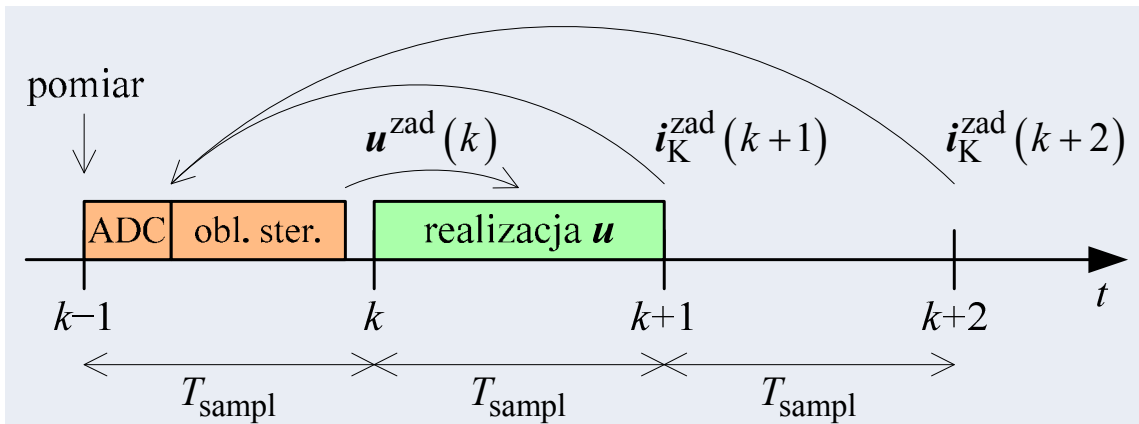
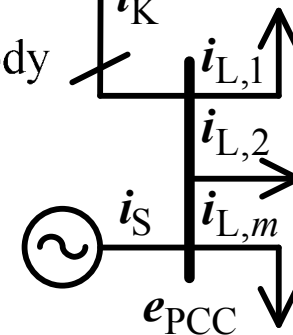


Struktura układu sterowania RKA; organizacja czasowa



Prąd i_S lub i_L lub
napięcie e_{PCC}

3 lub 4 przewody
robocze



błąd fazowy

$$\varepsilon \alpha = n \cdot 2\pi f_e \cdot T_{\text{sampl}}$$

Regulacja prądu - wymagania

Wymagania wobec regulatora prądu RKA:

- wysoka dynamika regulacji
- wysoka dokładność regulacji w granicach dysponowanej dynamiki
- kompensacja opóźnienia pomiędzy sprzężeniami i sterowaniem
- predykcja o horyzoncie 3 kroków próbkowania T_{sampl} , wynikająca z rzędu obwodu sprzęgającego LCL
- blokowanie rezonansu obwodu sprzęgającego LCL
- poprawna praca w warunkach niskiej jakości napięcia zasilającego
- możliwość regulacji nieokresowego prądu zadanego
- zdolność ograniczania maksymalnej wartości prądu
- odporność na błędy identyfikacji parametrów modelu obiektu
- możliwość współpracy z RKA przeznaczonym zarówno dla sieci z trzema jak i czterema przewodami roboczymi



Regulator predykcyjny oparty na modelu obiektu

$$\hat{u}_c(k-1) = T_{\text{sampl}} \frac{i_1(k-1) - i_2(k-1)}{C} + u_c(k-2)$$

$$\hat{i}_1(k) = T_{\text{sampl}} \frac{u^{\text{zad,lim}}(k-1) - \hat{u}_c(k-1)}{L_1} + i_1(k-1)$$

$$\hat{i}_2(k) = T_{\text{sampl}} \frac{\hat{u}_c(k-1) - \tilde{e}_{\text{PCC}}(k-1)}{L_2} + i_2(k-1)$$

$$\hat{u}_c(k) = T_{\text{sampl}} \frac{\hat{i}_1(k) - \hat{i}_2(k)}{C} + \hat{u}_c(k-1)$$

Predykcja

$$\hat{u}_c(k+1) = L_2 \frac{i_2^{\text{zad}}(k+2) - i_2^{\text{zad}}(k+1)}{T_{\text{sampl}}} + \tilde{e}_{\text{PCC}}(k+1)$$

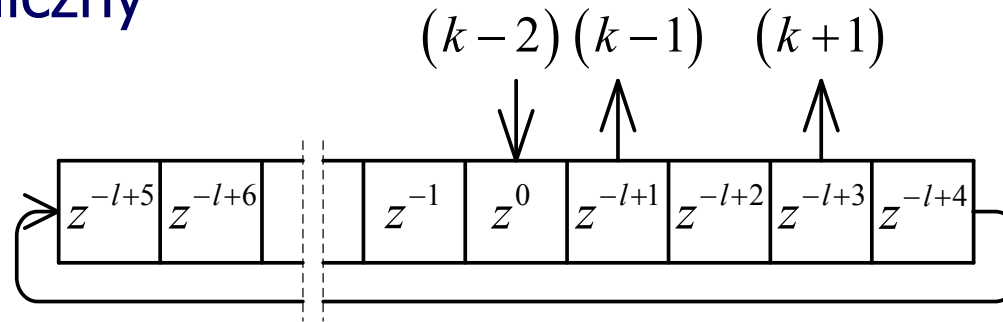
$$\hat{i}_1(k+1) = C \frac{\hat{u}_c(k+1) - \hat{u}_c(k)}{T_{\text{sampl}}} + i_2^{\text{zad}}(k+1)$$

$$u^{\text{zad}}(k) = L_1 \frac{\hat{i}_1^{\text{lim}}(k+1) - \hat{i}_1(k)}{T_{\text{sampl}}} + \hat{u}_c(k),$$

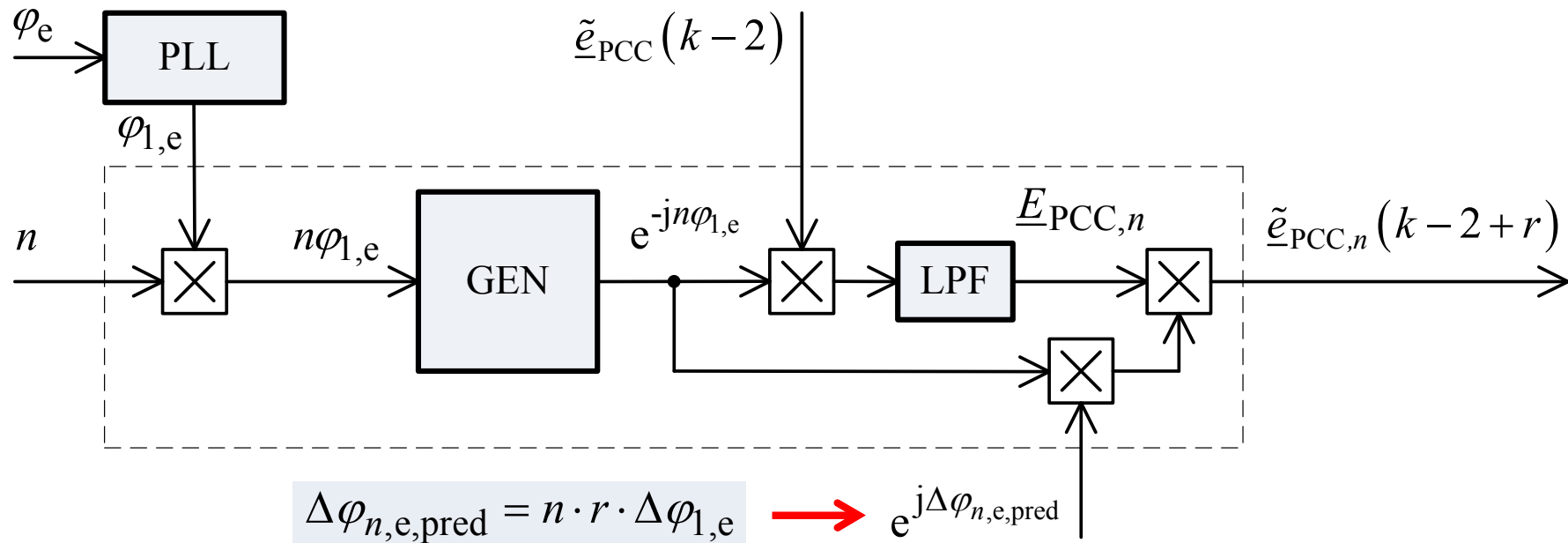
Równania
główne

Regulator predykcyjny – predykcja napięcia sieci

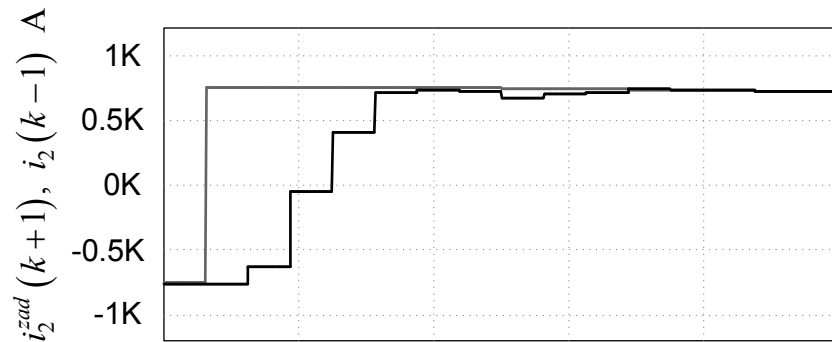
1. Bufor cykliczny



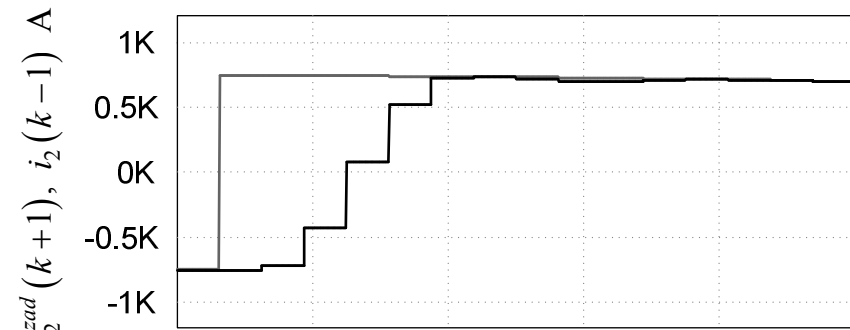
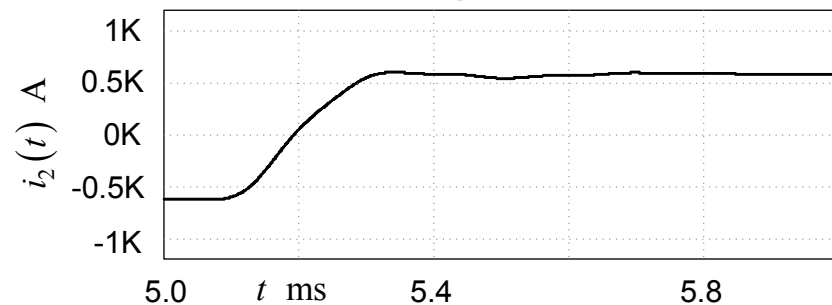
2. DFT z predykcją



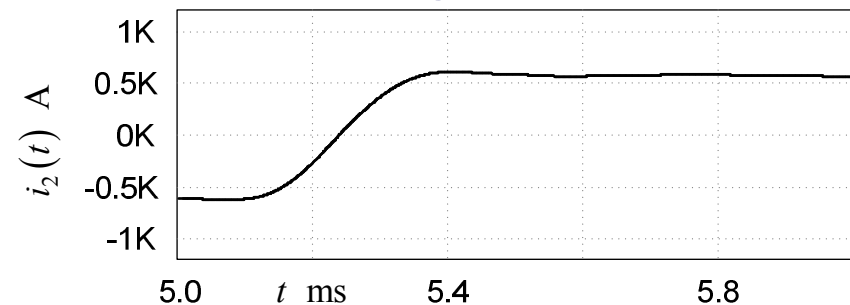
Regulator predykcyjny – odpowiedź skokowa, właściwości



u nieograniczone



u ograniczone

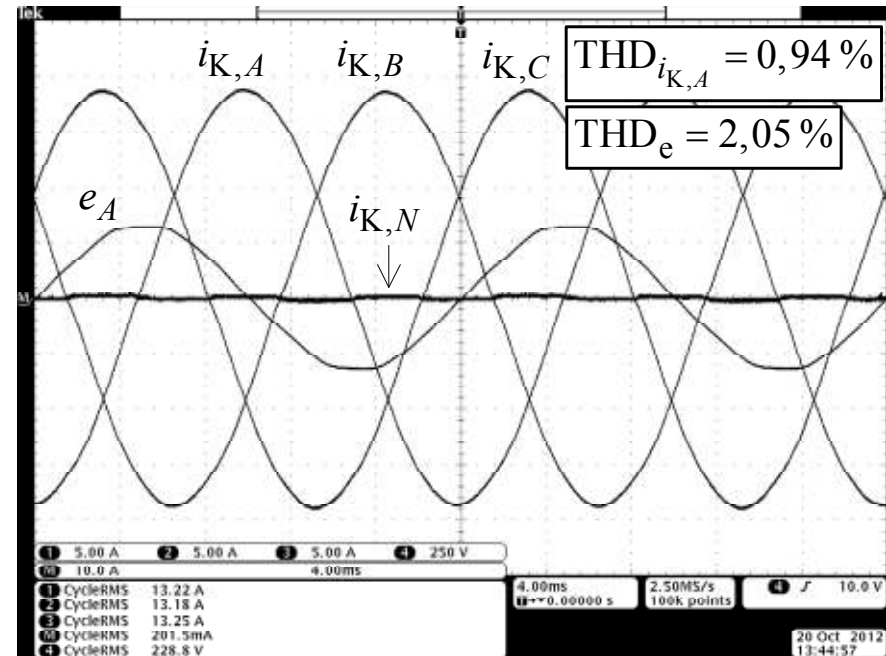
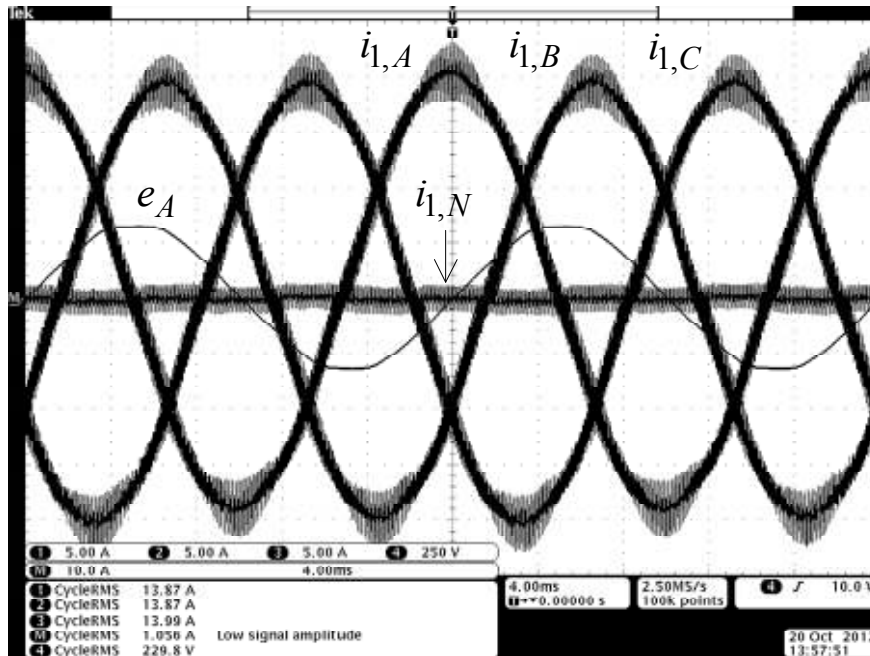


Regulator predykcyjny wyróżnia (odniesieniu do *deadbeat*):

- uwzględnienie ograniczeń zarówno sterowania, jak i dowolnych zmiennych stanu obiektu
- bezpośrednie odprężenie od zakłócenia (napięcia e_{PCC})
- uwzględnienie predykcji zadanego prądu kompensującego RKA (dokładna regulacja prądu w granicach osiągalnej dynamiki)

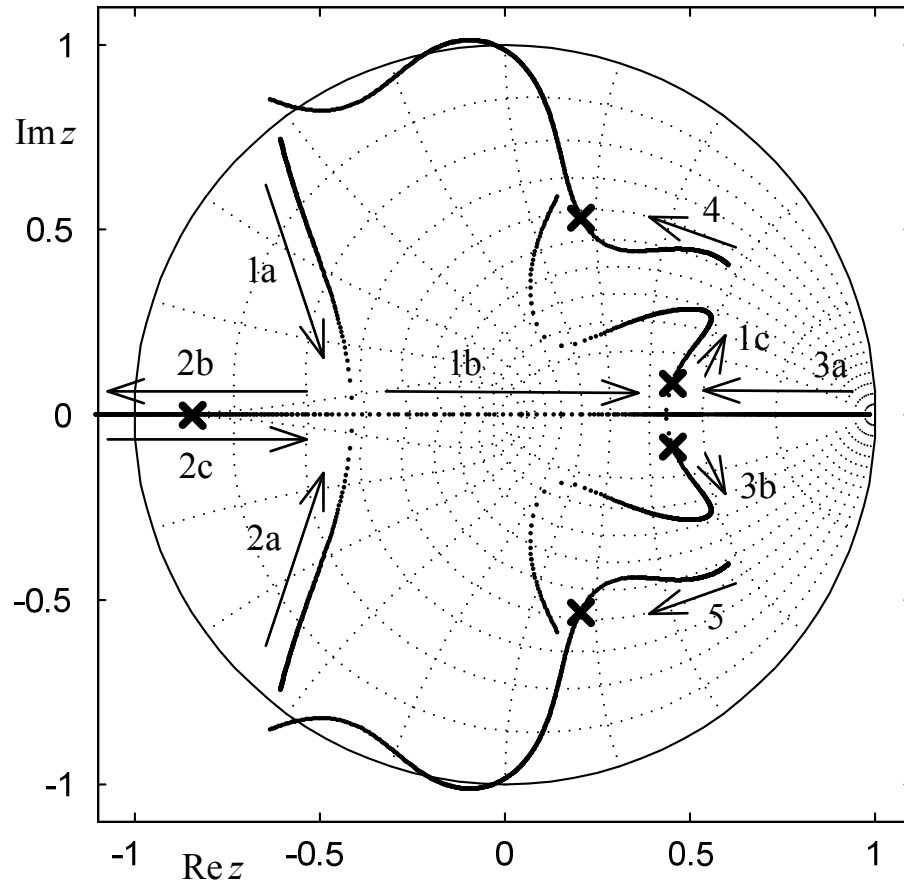
Regulator predykcyjny – dokładność regulacji

RKA czterogałęziowy – generowanie mocy biernej



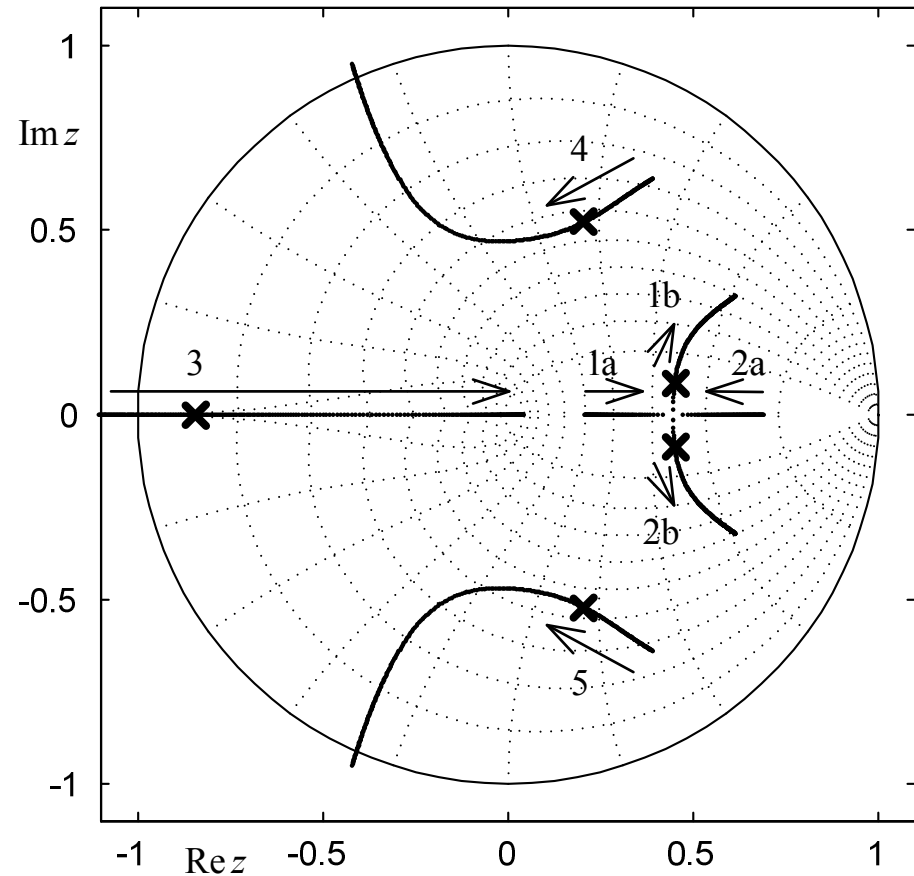
Stabilność – linie pierwiastkowe

$$L_1=70 \mu\text{H}, L_2=35 \mu\text{H}, C=200 \mu\text{F} (f_{r,LCL}=2,33 \text{ kHz})$$



$$f_{\text{imp}} = \text{var} (f_{\text{imp}} = f_{\text{sampl}} / 2)$$

Zakres stab.: 3,45 – 3,87; >7 kHz

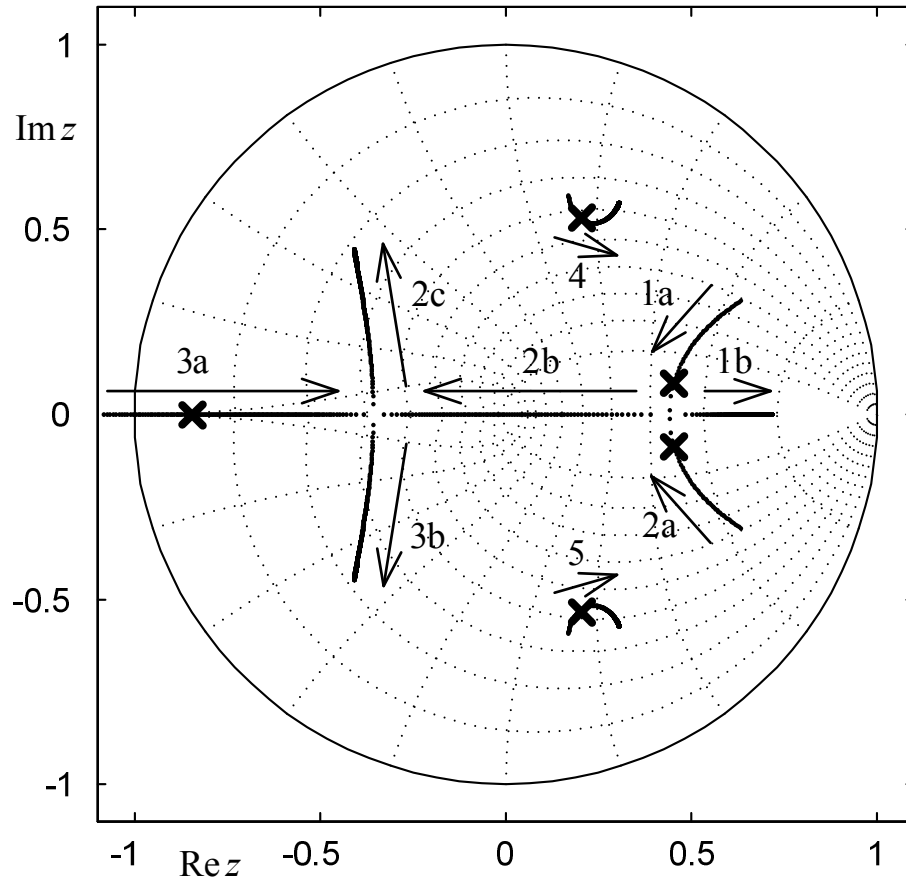


$$L_{1,\text{zadane}} / L_{1,\text{dokładne}} = \text{var}$$

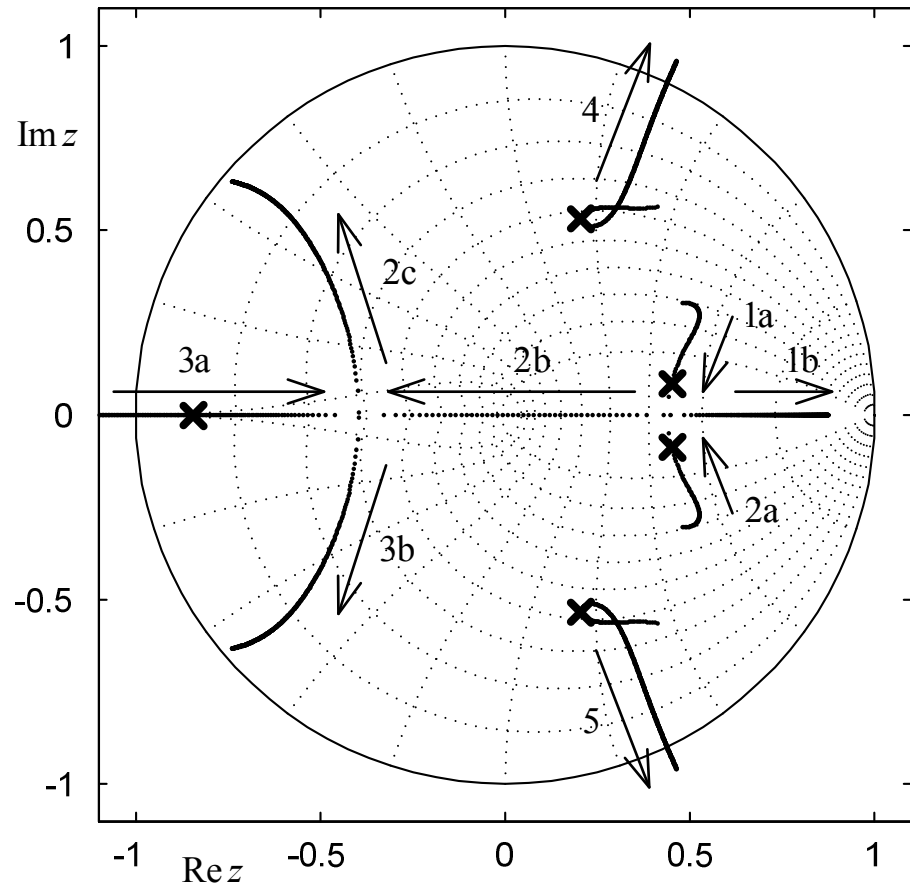
Zakres stabilności: 89% – 137%

Stabilność – linie pierwiastkowe

$$L_1=70 \mu\text{H}, L_2=35 \mu\text{H}, C=200 \mu\text{F} (f_{r,LCL}=2,33 \text{ kHz})$$



$L_{2,zadane} / L_{2,dokladne} = \text{var}$
 Zakres stabilności: >70%



$C_{zadane} / C_{dokladne} = \text{var}$
 Zakres stabilności: 76% – 285%

Wyznaczanie prądu zadanego

Strategie pełnej kompensacji:

- stała wartość mocy chwilowej p przy $q = 0$
- równokształtność prądu i napięcia ($\lambda=1$)
- równokształtność ze składową zgodną podstawowej harmonicznej napięcia

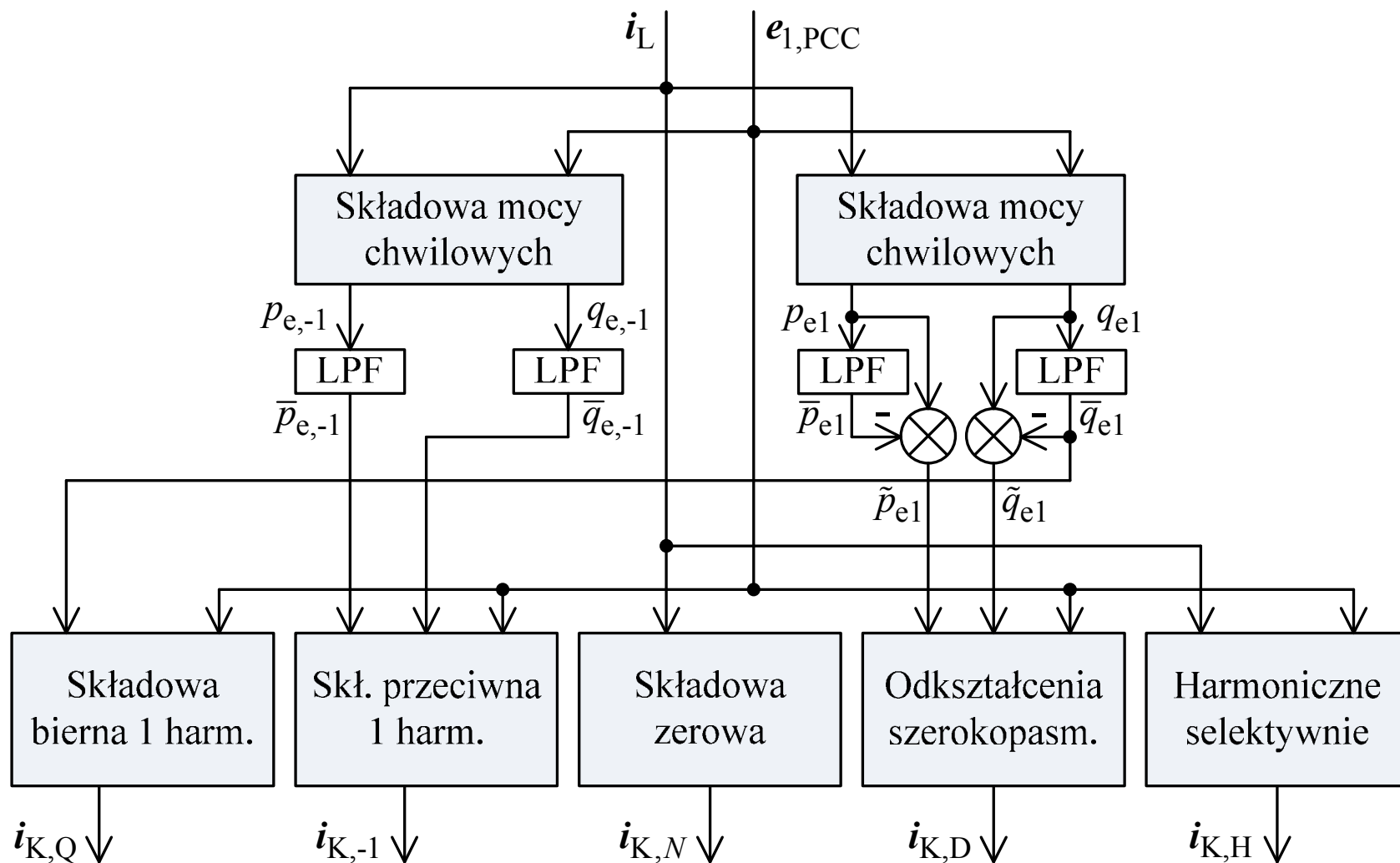
Zadania algorytmu:

- wyodrębnianie kompensowanych składowych prądu odbiorów
- realizacja ograniczeń z uwzględnieniem priorytetów kompensacji
- predykcja zgodnie z wymaganiami regulatora prądu

Wymagania:

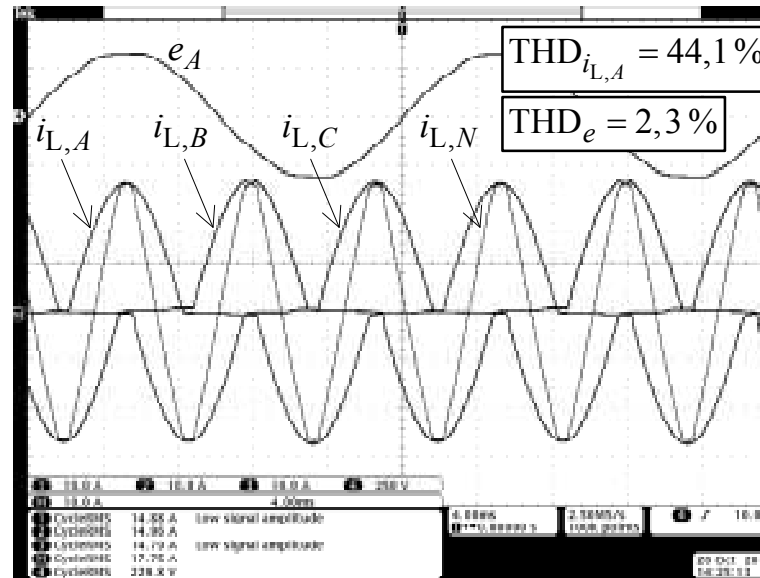
- wysoka dokładność
- szybka odpowiedź na zmianę prądu kompensowanych odbiorów
- praca niezależna od jakości napięcia zasilającego

Wyznaczanie składowych prądu kompensującego

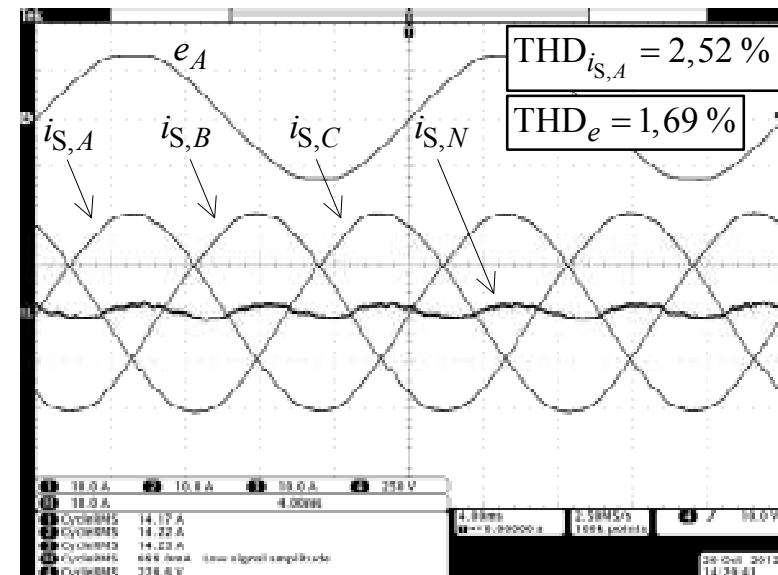
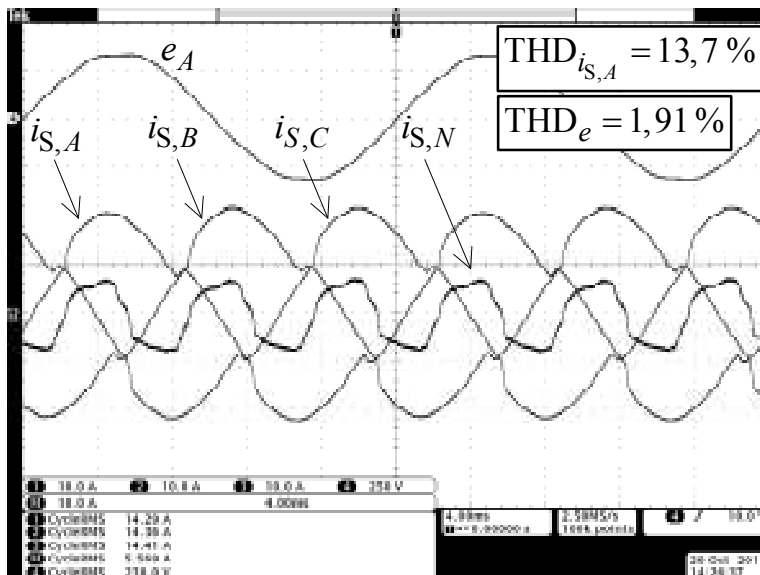


Wyznaczanie prądu – predykcja, stan ustalony

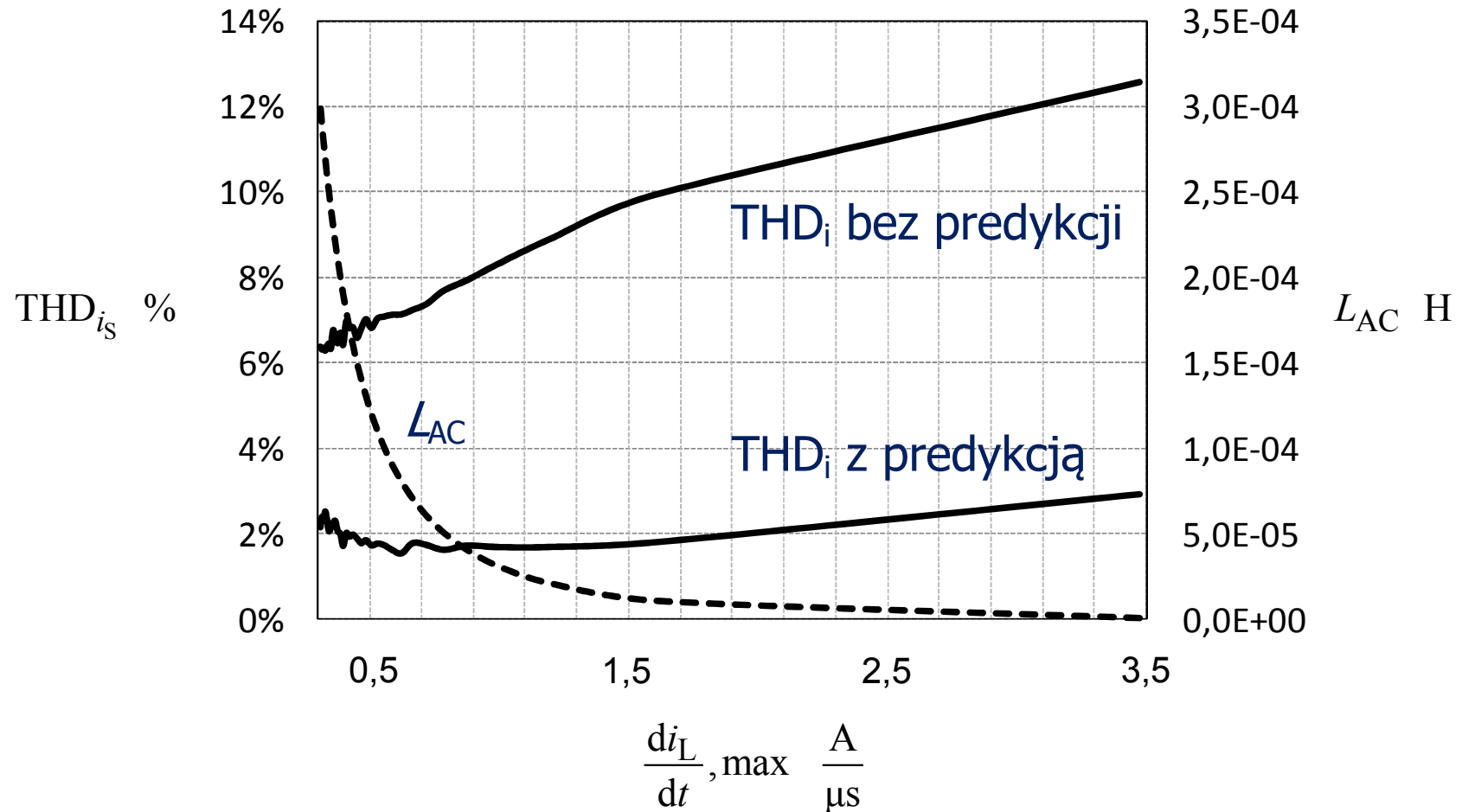
bez predykcji



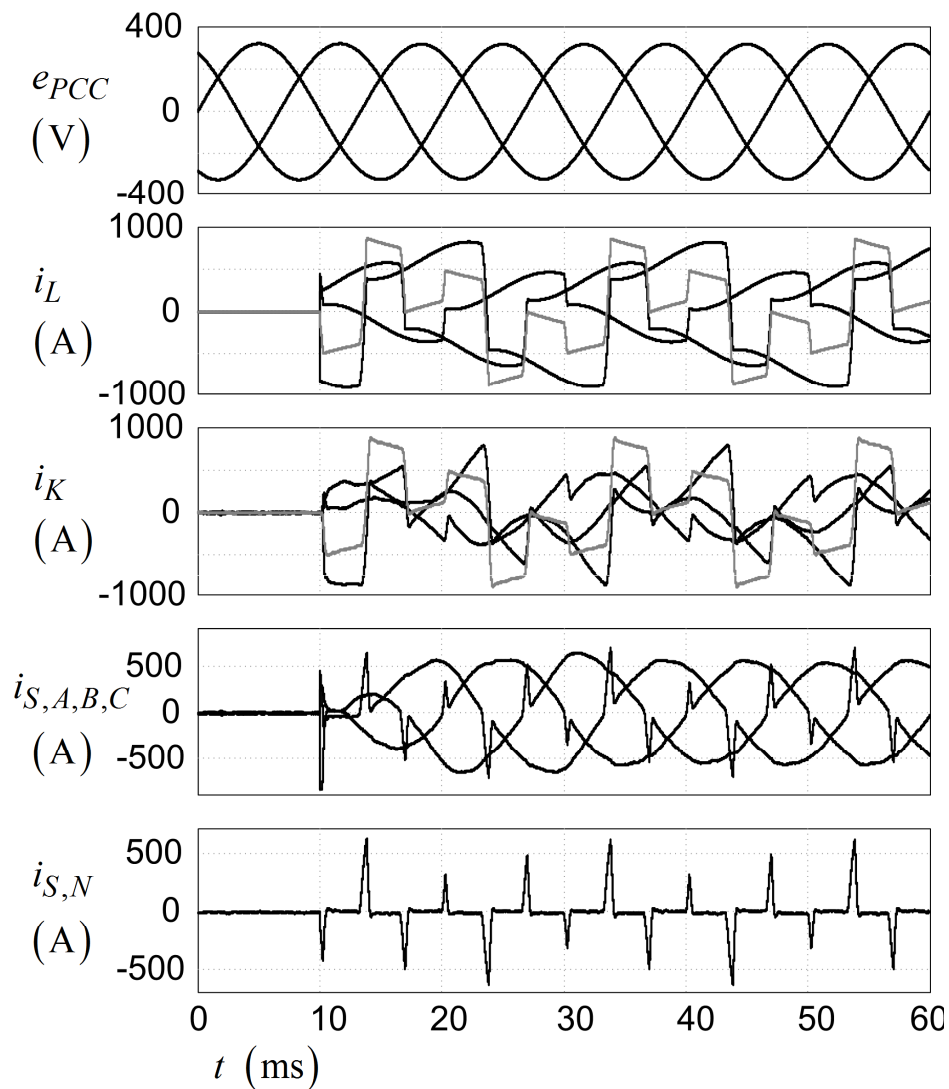
z predykcją



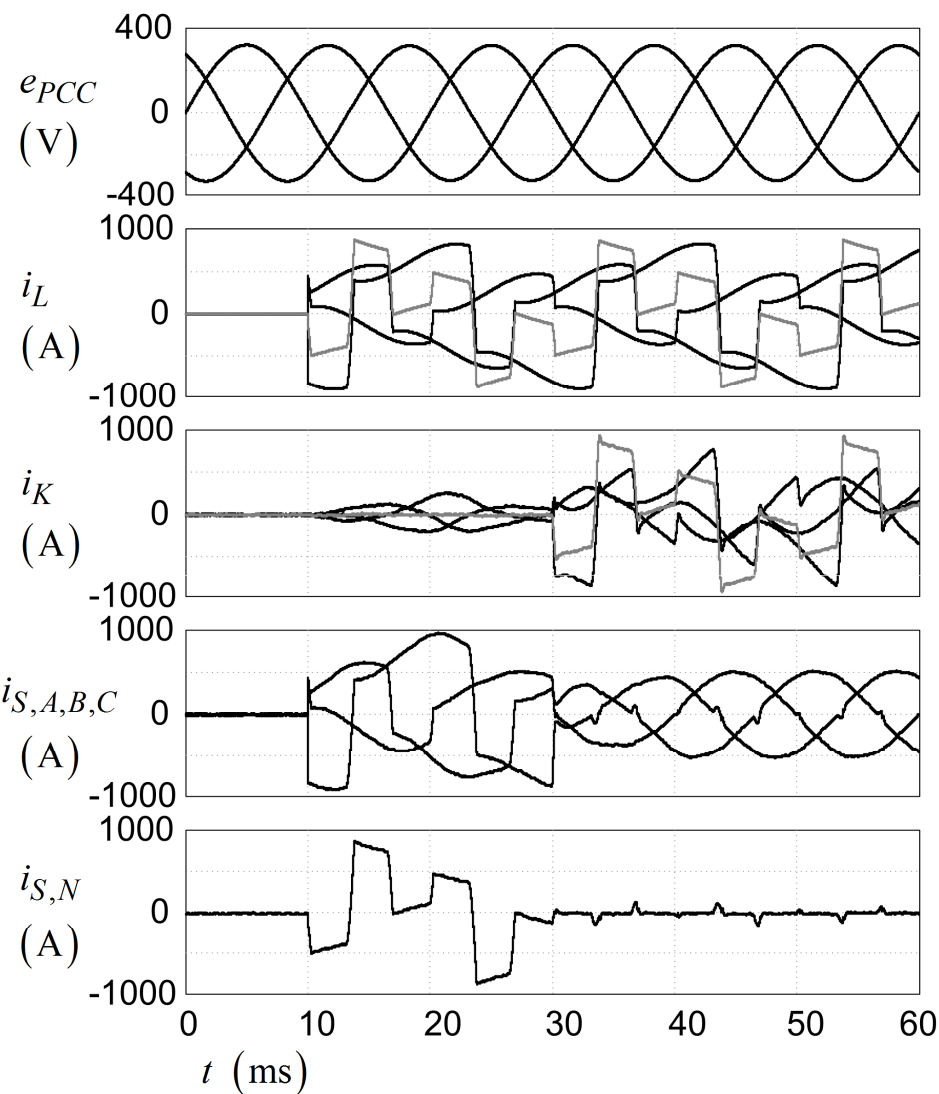
Wyznaczanie prądu – predykcja, stan ustalony



Wyznaczanie prądu – predykcja, stan przejściowy

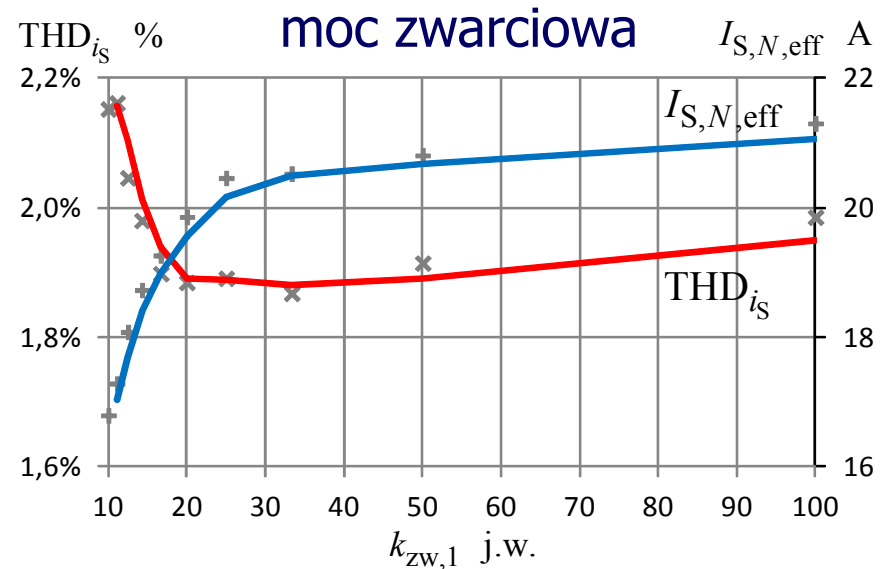
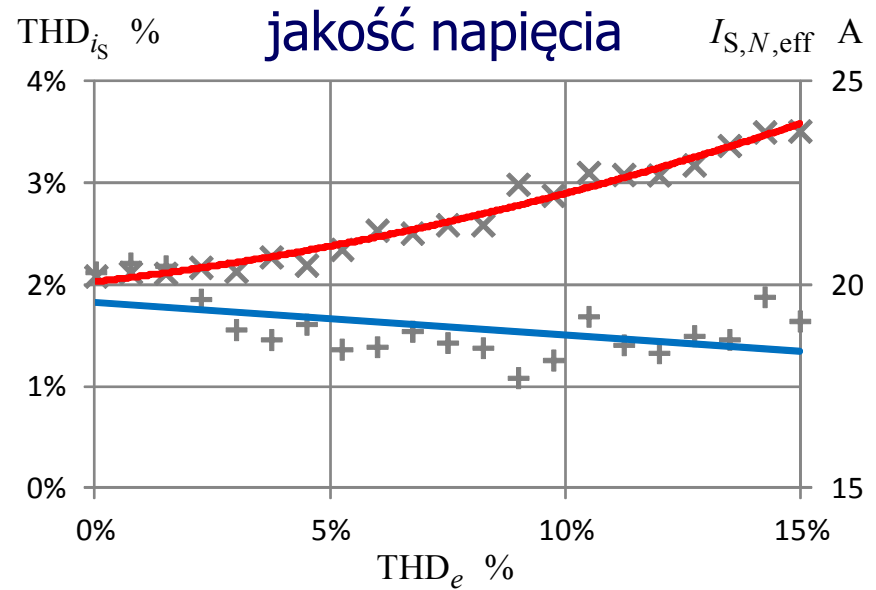
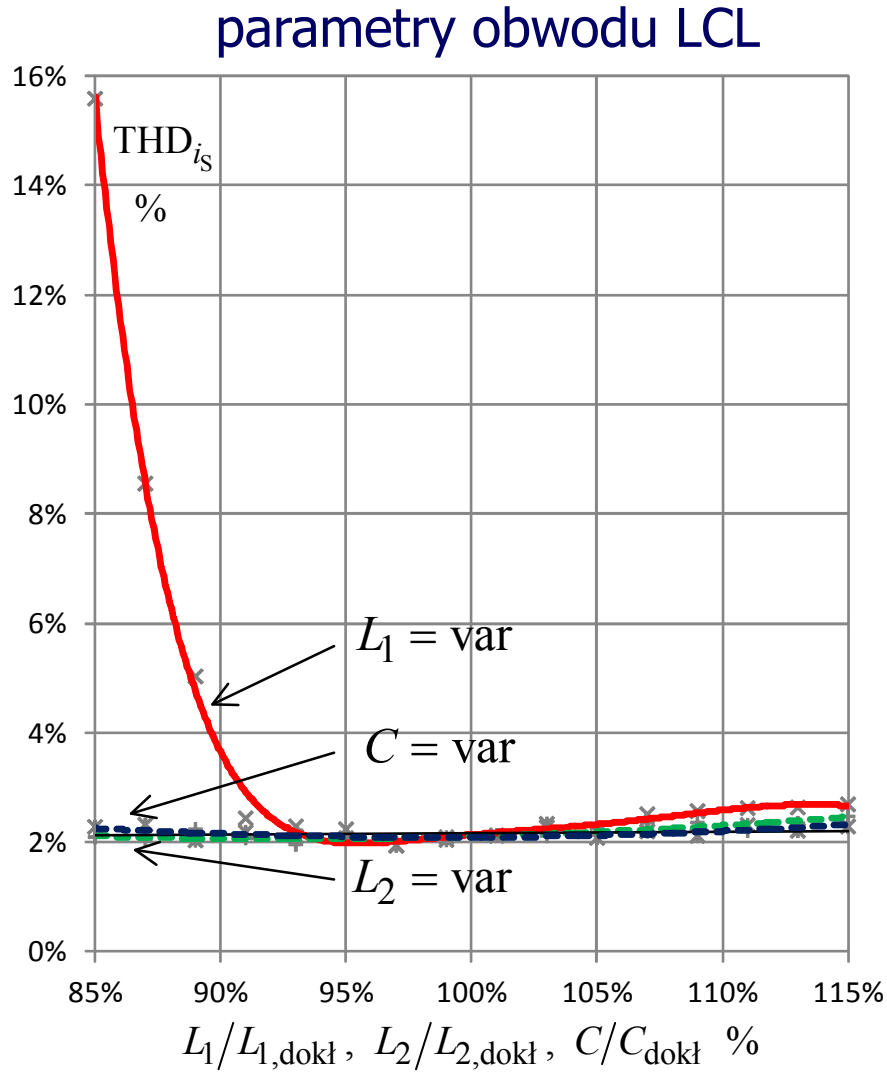


bez predykcji

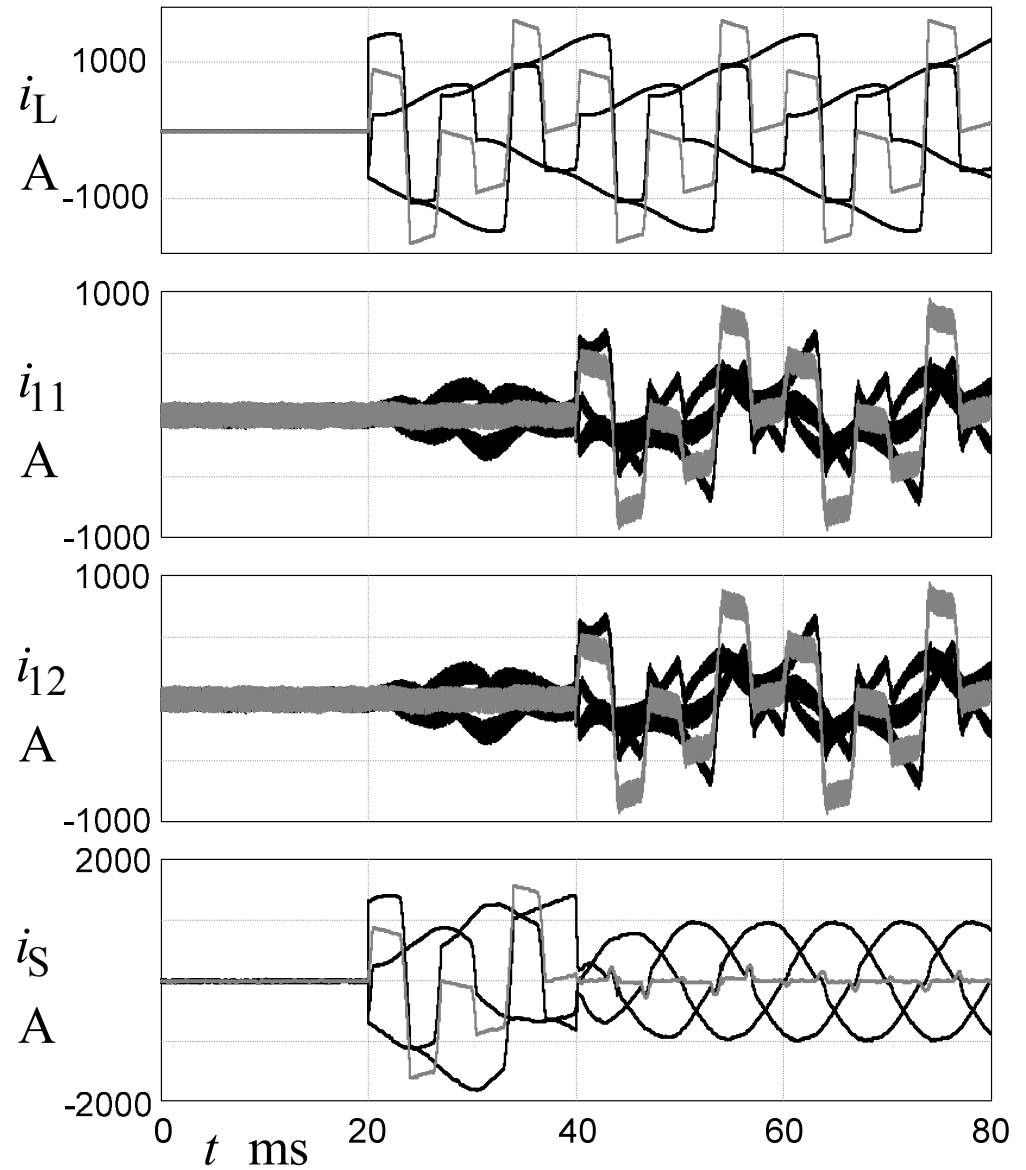
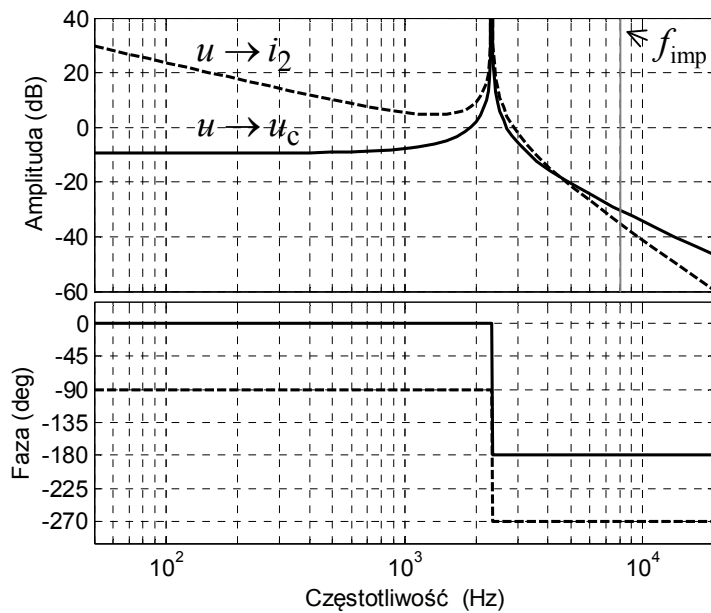
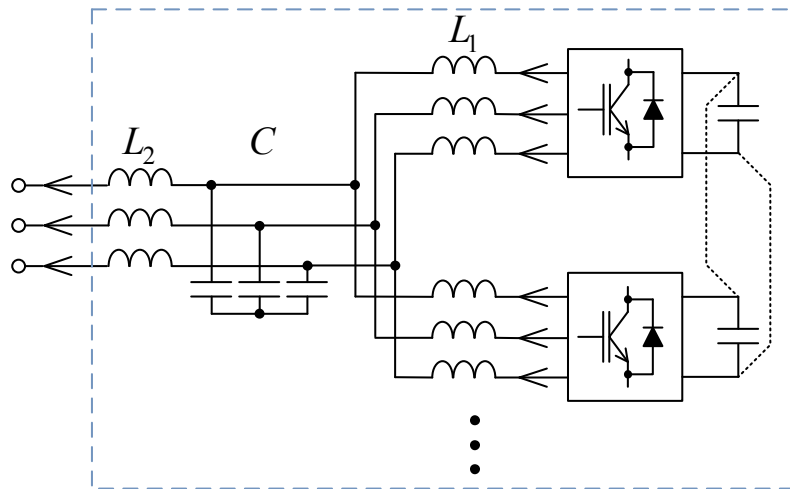


z predykcją

Wpływ zmienności parametrów na jakość sterowania



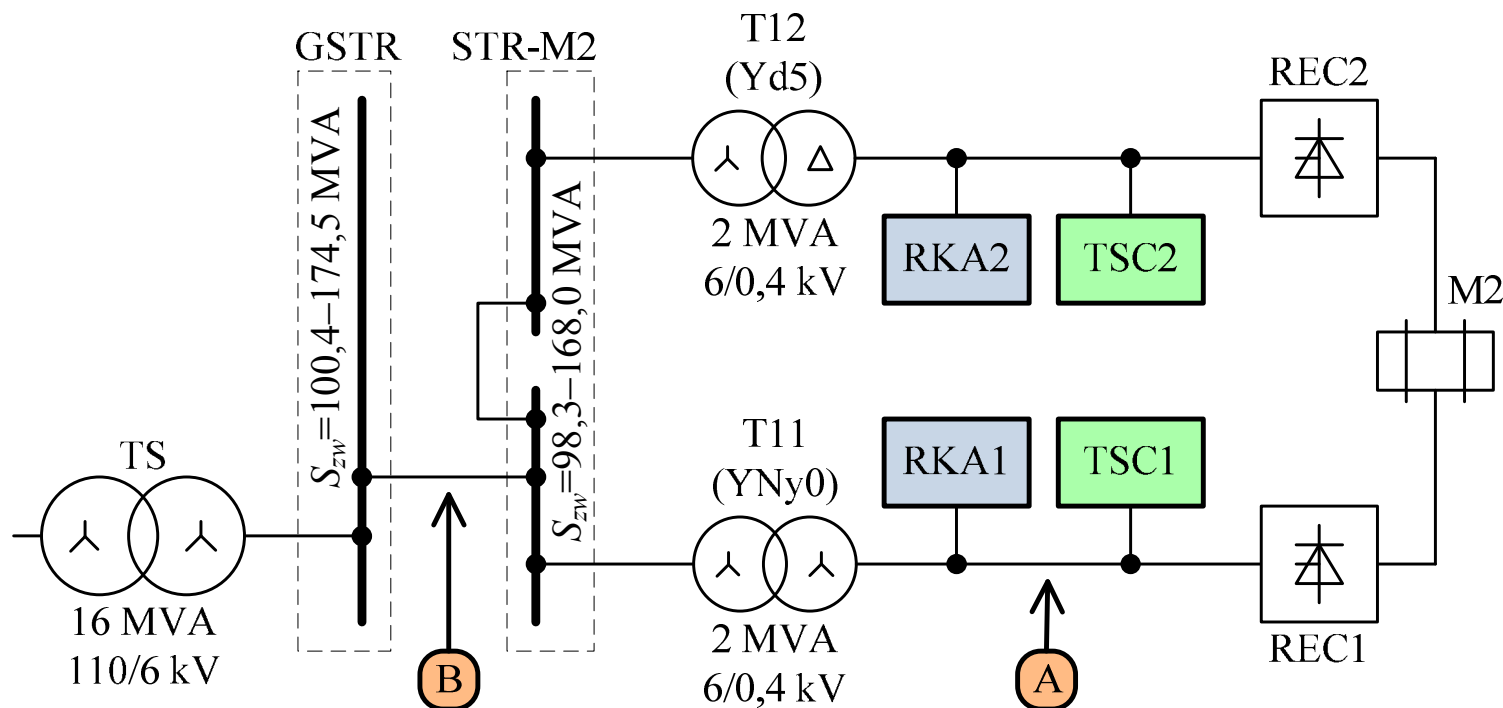
Sterowanie systemem RKA ze zintegrowanym obw. LCL



Agenda

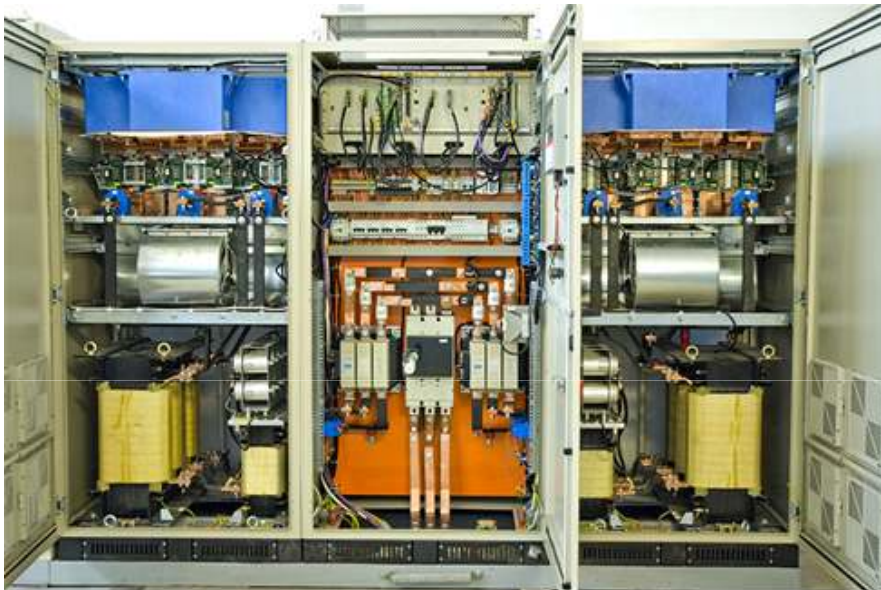
- Uwarunkowania aplikacyjne równoległych kompensatorów aktywnych (RKA)
- Obwody główne RKA
 - model układu
 - obwód sprzęgający przekształtnik z siecią zasilającą
 - struktury obwodów RKA dużej mocy
 - metodyka doboru parametrów obwodowych
- Sterowanie RKA
 - regulacja prądu, stabilność
 - metodyka wyznaczania prądu kompensującego
 - wpływ zmienności parametrów układu na jakość sterowania
- Wdrożenia opracowanych systemów RKA dużej mocy
- Podsumowanie

KWK Bogdanka – system RKA o mocy 1,2 MVA



Parametr	Wartość / cecha	Jednostka
Moc znamionowa systemu	1,2 (4 moduły x 0,3)	MVA
Napięcie zasilające	3 x 400	V
Napięcie po stronie DC	1100	V
Obwody sprzęgające	LCL, niezależne	-

KWK Bogdanka – system RKA o mocy 1,2 MVA

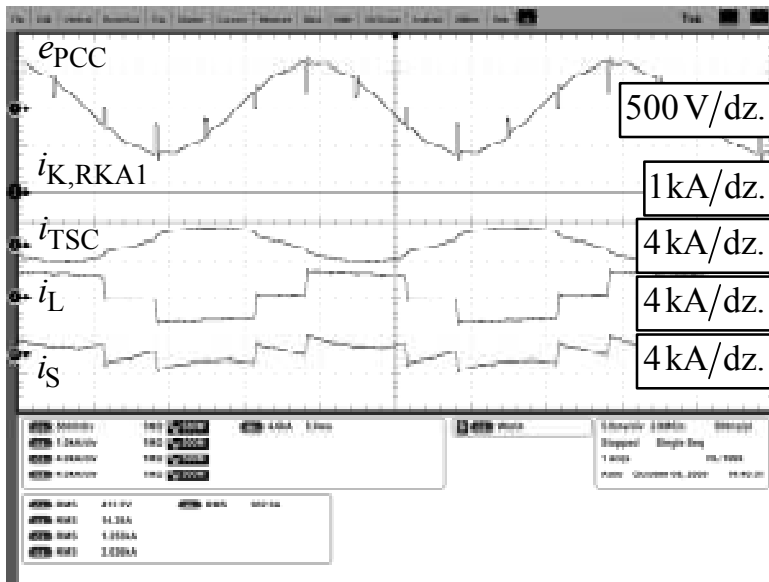


Zespół modułów mocy 2x300 kVA
systemu RKA

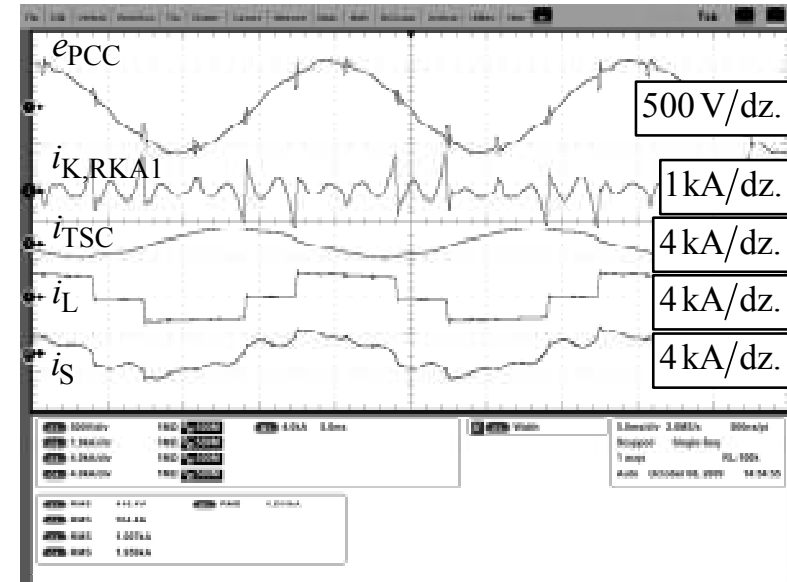


Maszyna wyciągowa 2,4 MW
(zasilana prostownikami
tyrystorowymi o mocy 4 MVA)

KWK Bogdanka – pomiar w punkcie A (sieć nn)

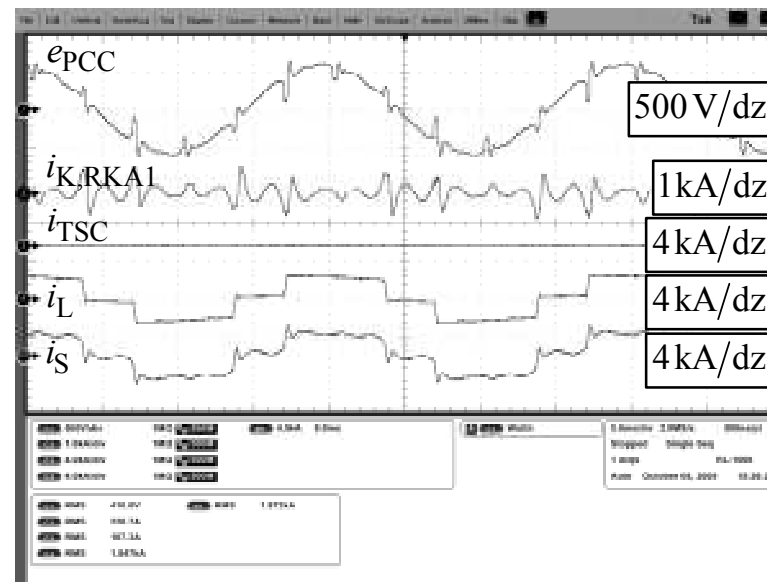


Bez kompensacji

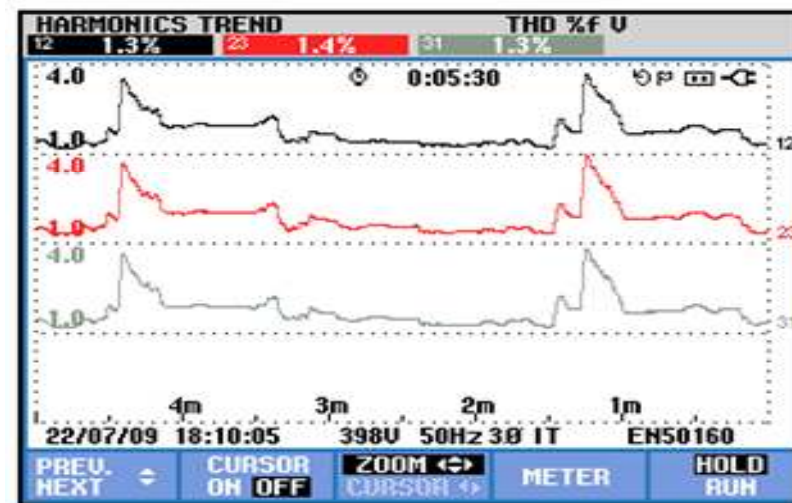
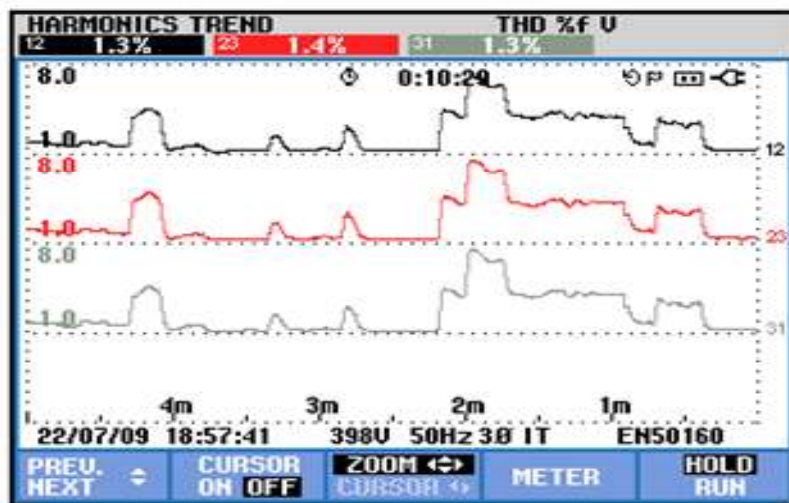
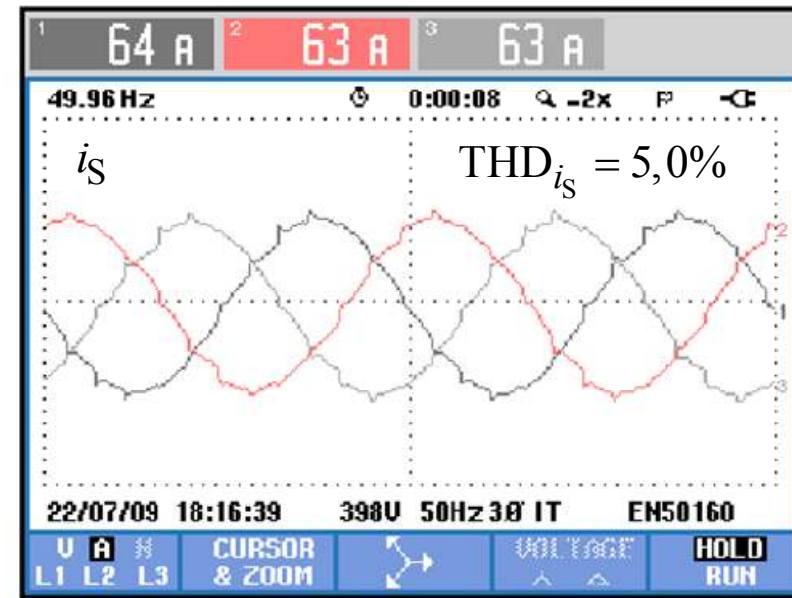
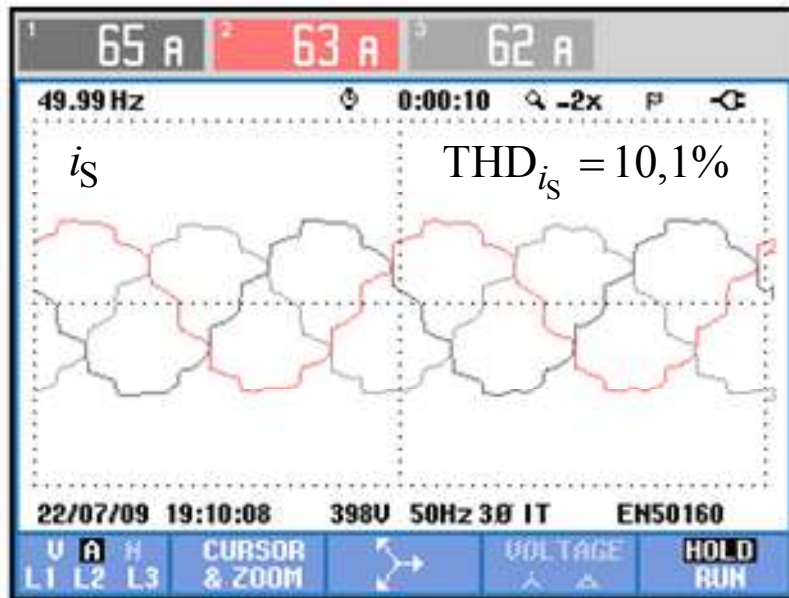


Kompensacja
z predykcją
(bez harm. 5 i 7)

Kompensacja
bez predykcji
(bez harm. 5 i 7)



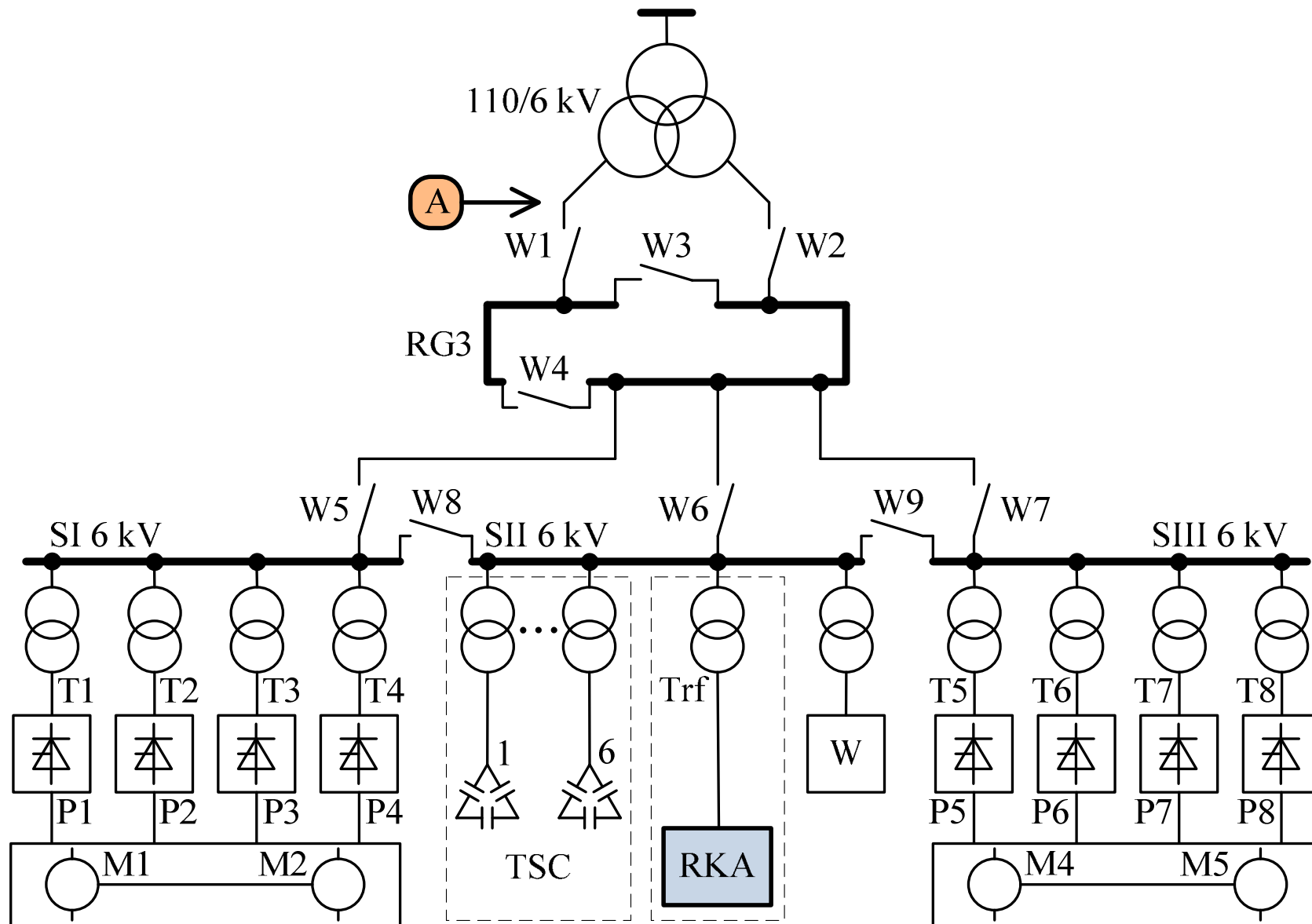
KWK Bogdanka – pomiar w punkcie B (sieć SN)



Bez kompensacji

Z kompensacją

KWK Ziemowit – system RKA o mocy 2 MVA



KWK Ziemowit – system RKA o mocy 2 MVA



System RKA (2 falowniki NPC)

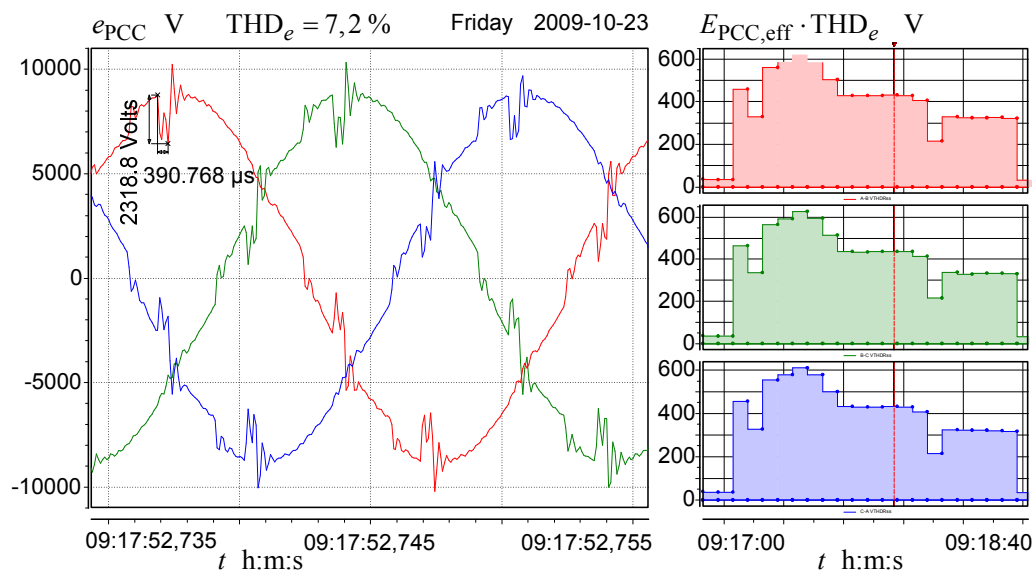


Jedna z maszyn (łączna moc 14 MW)

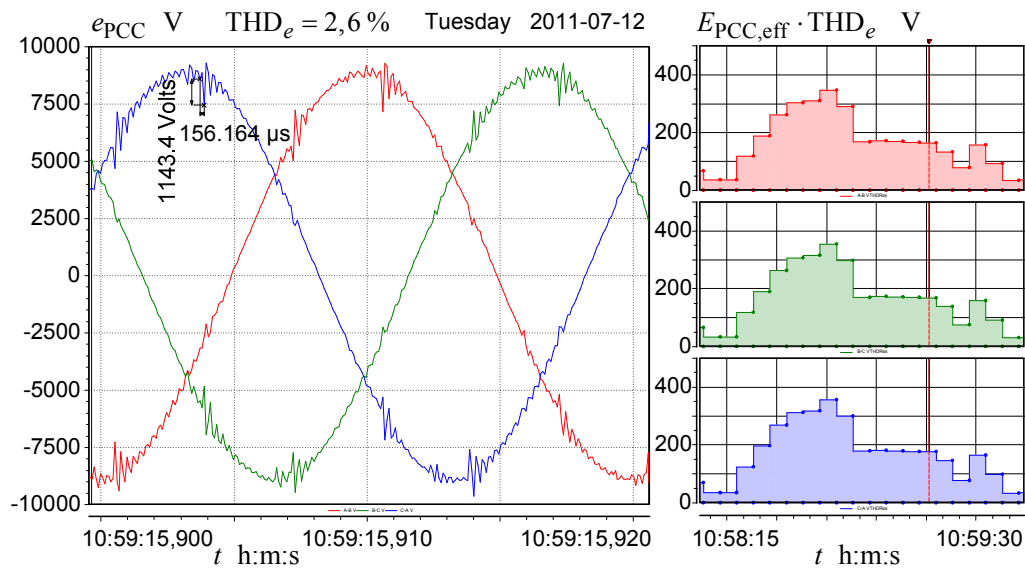
Parametr	Wartość / cecha	Jednostka
Moc znamionowa systemu	2 (2 moduły x 1)	MVA
Napięcie zasilające	3 x 6300	V
Napięcie po stronie DC	1800	V
Obwód sprzęgający	LCL, zintegrowany	-

KWK Ziemowit – pomiar w punkcie A (sieć SN)

Bez kompensacji

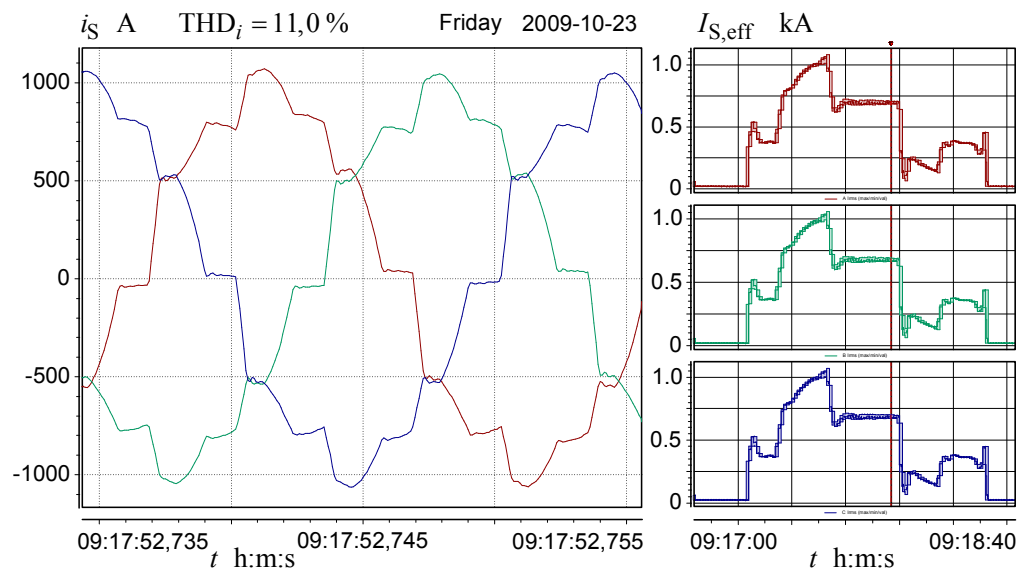


Z kompensacją

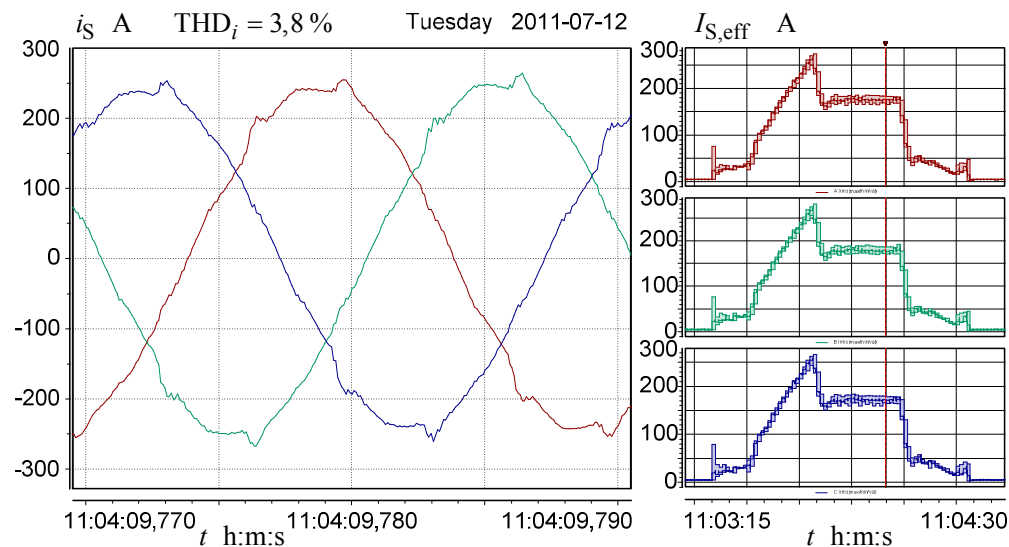


KWK Ziemowit – pomiar w punkcie A (sieć SN)

Bez kompensacji



Z kompensacją



KWK Ziemowit – wskaźniki jakości energii elektrycznej

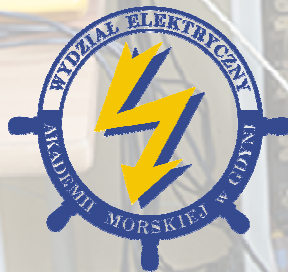
Parametr	Przed modernizacją	Po modernizacji
Moc czynna	Min -2696 kW; Max 14600 kW Średnia 4270kW	Min -3609 kW; Max 16519 kW Średnia 2639 kW
Moc bierna	Min -3609 kVar; Max 13406 kVar Średnia 5700 kVar	Min -121 kVar; Max 9449 kVar Średnia 849 kVar
THD _e	Max 14,3 %; Średni 7,6 %	Max ≤ 6 %; Średni 2,5 %
Tg(φ)	Średni 1,33	Max 0,4; Średni 0,321
Zapady napięcia	11,9 %	7,5 %
Wahania napięcia	14,3 %	7,5 %
Załamania komutacyjne	42 %	23 %

Podsumowanie

- Właściwości funkcjonalne RKA są uwarunkowane zarówno strukturą i parametrami obwodów głównych jak i sterowaniem
- Specyfika pracy RKA wymusza stosowanie obwodu sprzęgającego LCL
- Systemy RKA dużej mocy oparte są na wielu falownikach pracujących równolegle – celowe jest zastosowanie zintegrowanego obwodu sprzęgającego LCL
- Blokami układu sterowania warunkującymi skuteczność kompensacji są regulator prądu i algorytm wyznaczania tego prądu
- Jakość kompensacji jest uzależniona od zastosowania algorytmów predykcyjnych

Dziękuję za uwagę

dr inż. Daniel Wojciechowski
dwojcz@am.gdynia.pl



Kraków, 19.06.2013