

Energoelektronika w rozproszonej energetyce i pojazdach elektrycznych

Prosumencki interfejs energoelektroniczny

Marcin Jarnut

Uniwersytet Zielonogórski

Wydział Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji

Instytut Inżynierii Elektrycznej

e-mail: m.jarnut@iee.uz.zgora.pl

Systemy prosumenckie w świetle regulacji prawnych

USTAWA z dnia 26 lipca 2013 r. o zmianie ustawy – Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw

20) odnawialne źródło energii – źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, aerotermalną, geotermalną, hydrotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu pochodzącego ze składowisk odpadów, a także biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych;

20b) mikroinstalacja – odnawialne źródło energii, o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż **40 kW, przyłączone do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV lub o łącznej mocy zainstalowanej cieplnej nie większej niż 120 kW;**



Zapisy ustawy nie obejmują niestety źródeł mikrokogeneracyjnych coraz popularniejszych w środowisku zurbanizowanym

Systemy prosumenckie w świetle regulacji prawnych



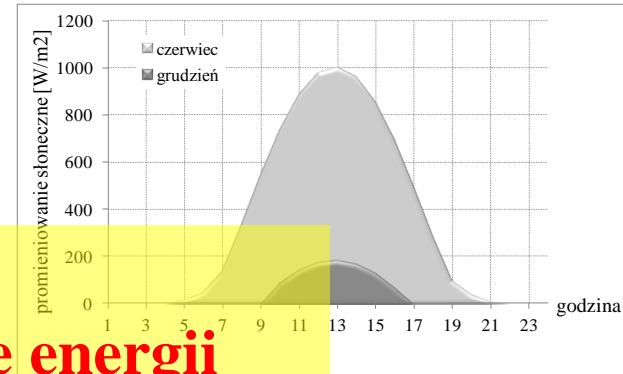
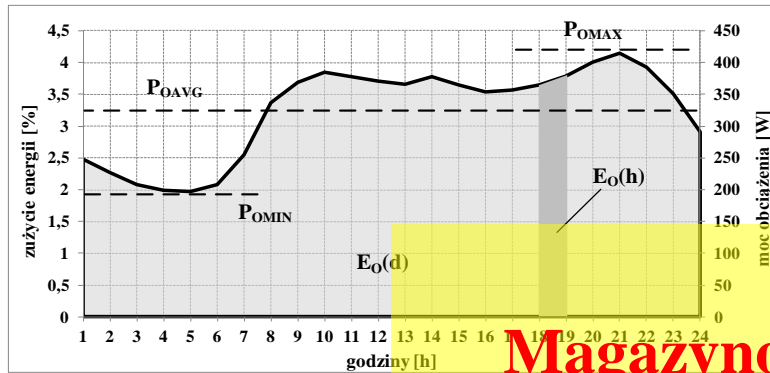
„Art. 9u. Wytwarzanie energii elektrycznej w mikroinstalacji przez osobę fizyczną niebędącą przedsiębiorcą w rozumieniu ustawy o swobodzie działalności gospodarczej, a także sprzedaż tej energii przez tę osobę, **nie jest działalnością gospodarczą** w rozumieniu tej ustawy.

Art. 9v. Energię elektryczną wytworzoną w mikroinstalacji przyłączonej do sieci dystrybucyjnej znajdującej się na terenie obejmującym obszar Prosument – odbiorca końcowy, który posiada źródła energii elektrycznej przyłączone do instalacji elektrycznej i może wykazywać ujemny bilans energii w stosunku do sieci systemowej

Wg zapisów tej samej ustawy mikroinstalacje **zwolnione są z opłaty** przyłączeniowej, a ponadto jeżeli ich przyłączenie nie wymaga zmiany mocy przyłączeniowej to proces ten odbywać się może na zasadzie **zgłoszenia** do właściwego terenowo Operatora.

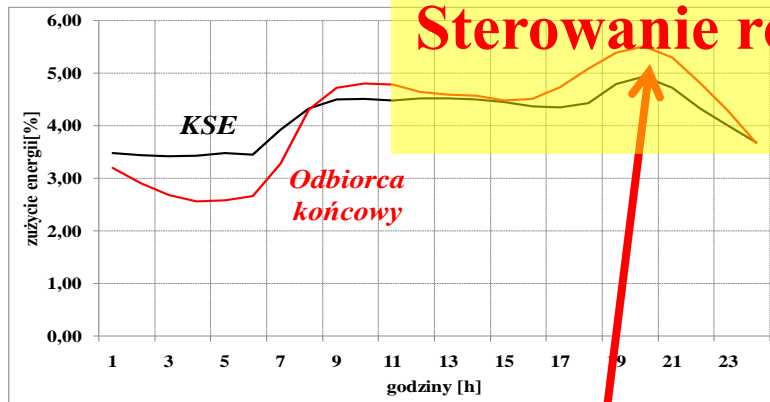
Warunki funkcjonowania systemów prosumenckich

Nierównomierność charakterystyki dobowej

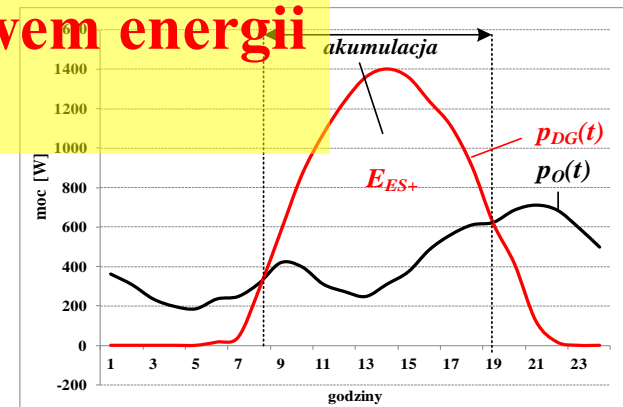


Magazynowanie energii

Korelacja charakterystyk dobowych



Sterowanie rozplywem energii

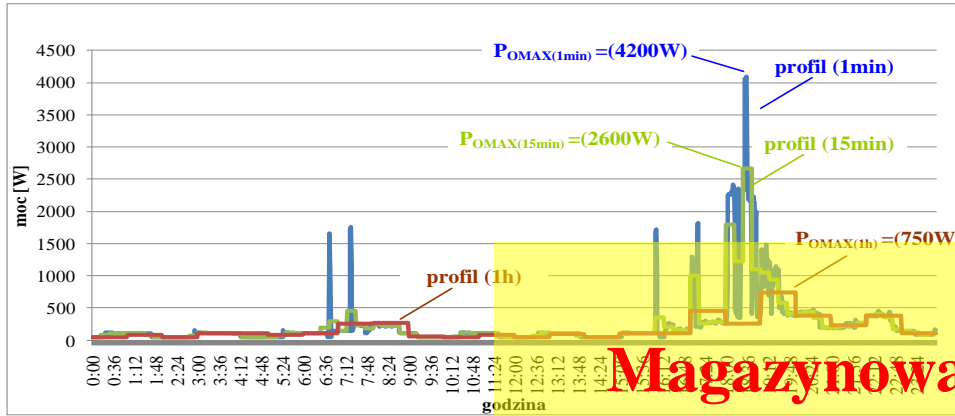


Opóźnienia w odbudowie mocy wytwórczych (węglowych) spowodować mogą wg URE w latach 2015-2017 deficyt mocy KSE w godzinach obciążeń szczytowych.

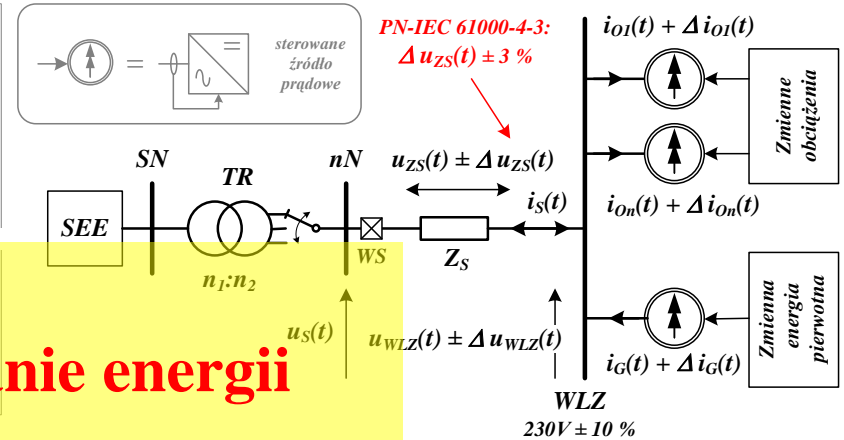


Warunki funkcjonowania systemów prosumenckich

Szybkie zmiany mocy obciążenia

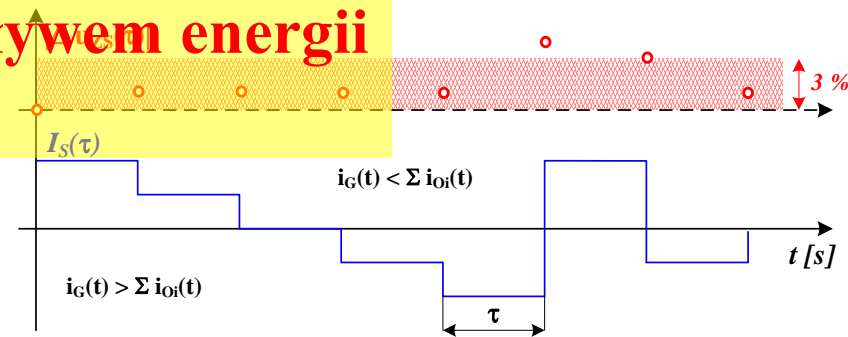
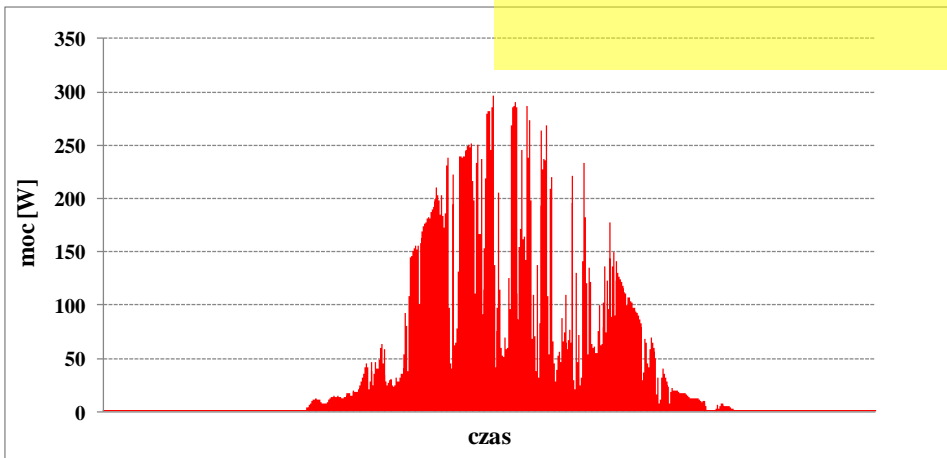


Magazynowanie energii



Szybkie zmiany mocy wyjściowej źródła miejscowego

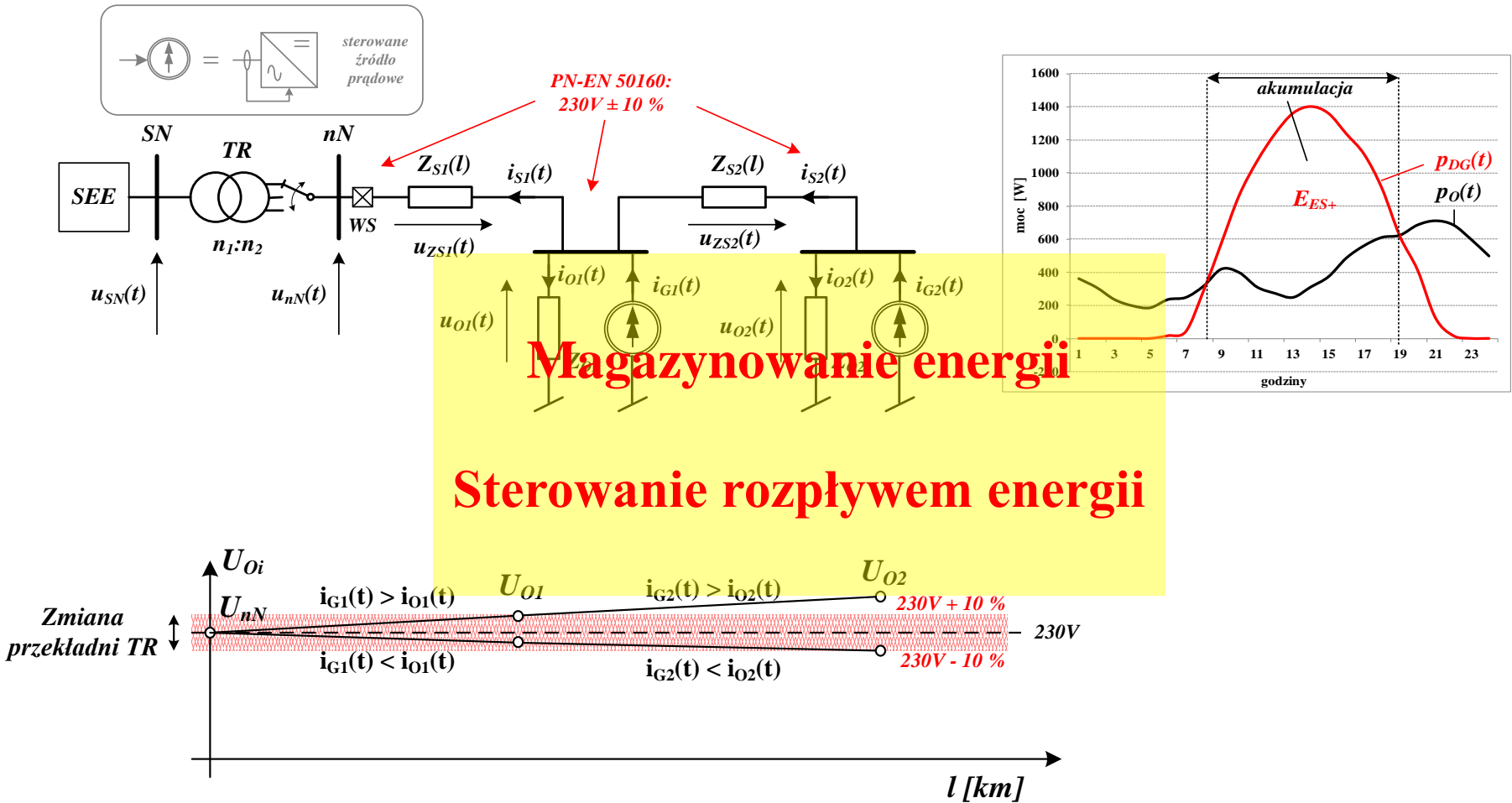
Sterowanie rozplywem energii



$$\frac{\Delta U_{WLZ}}{U_{WLZ}} = R_S \cdot \frac{\Delta P_S}{U_{WLZ}^2} = R_S \cdot \frac{\Delta P_G \pm \Delta P_O}{U_{WLZ}^2}$$

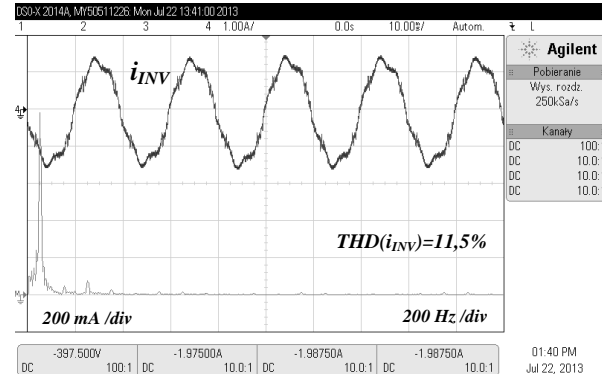
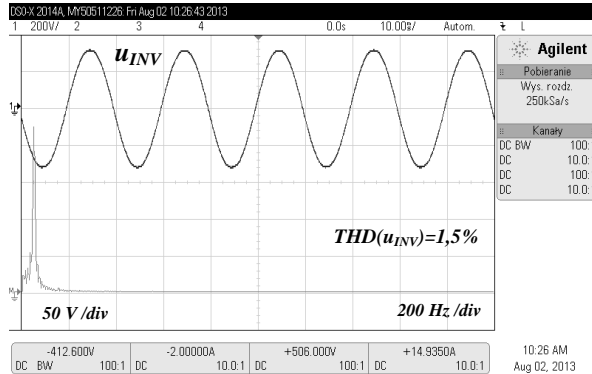
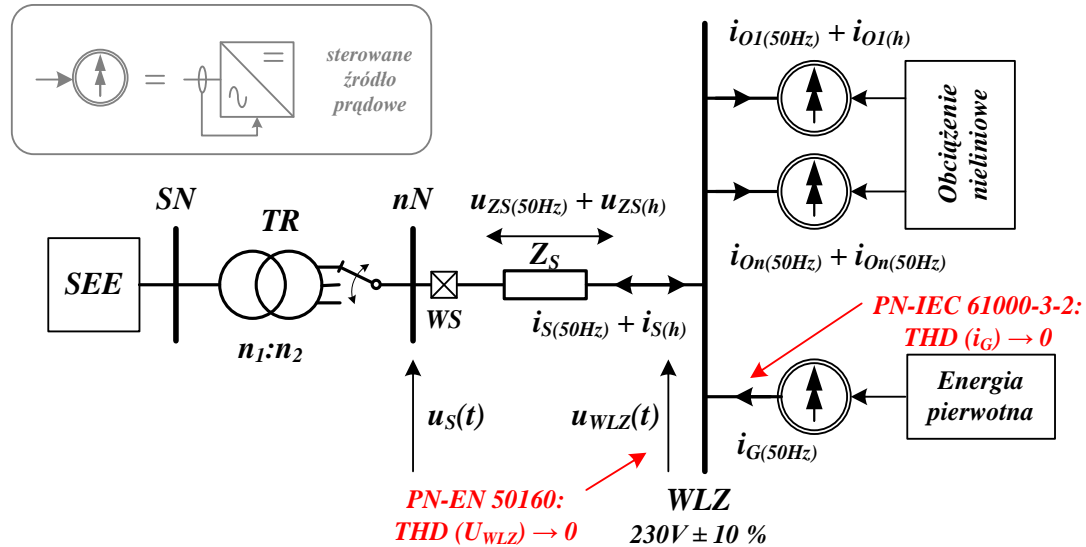
Warunki funkcjonowania systemów prosumenckich

Profil napięciowy



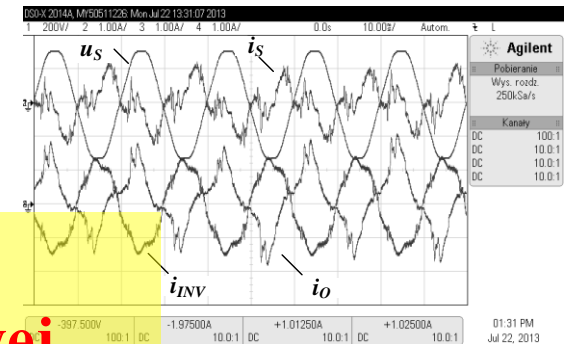
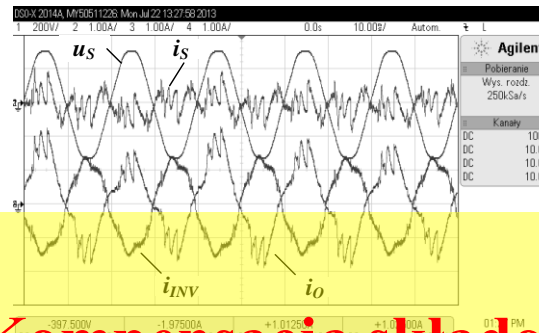
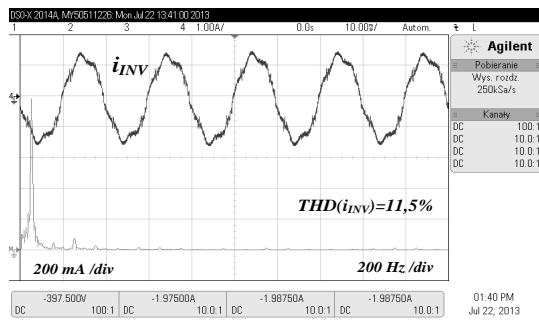
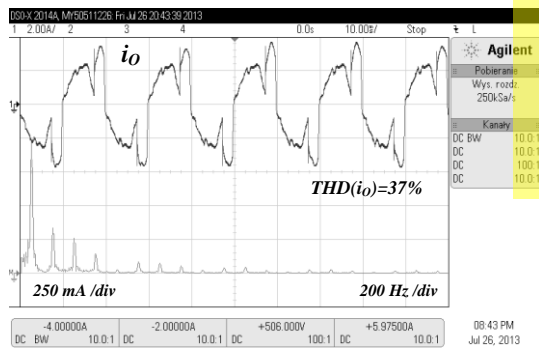
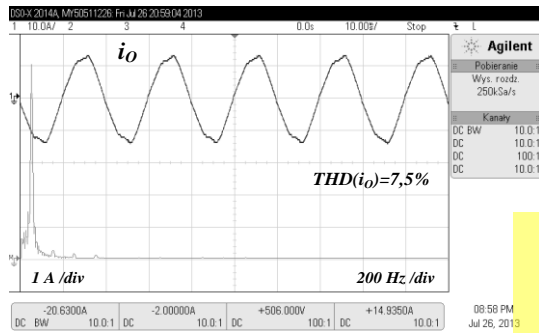
Warunki funkcjonowania systemów prosumenckich

Jakość energii



Warunki funkcjonowania systemów prosumenckich

Jakość energii



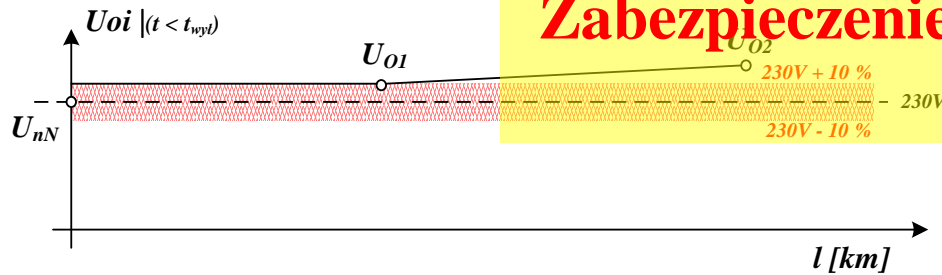
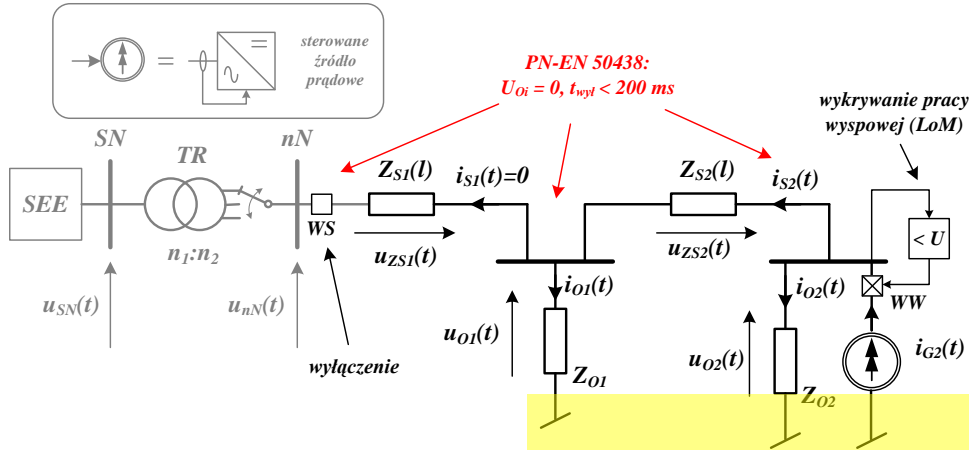
Kompensacja składowej nieaktywnej prądu obciążenia

PF_S	PF_O	PF_{INV}	PF_S	PF_O	PF_{INV}
$DPF_S = -0,6$	$DPF_O = 1$	$DPF_{INV} = -1$	$DPF_S = -0,6$	$DPF_O = 0,93$	$DPF_{INV} = -1$
$P_S = -1W$	$P_O = 236W$	$P_{INV} = 237W$	$P_S = -46W$	$P_O = 180W$	$P_{INV} = 226W$
$THD(i_S) = 94,1\%$	$THD(i_O) = 22,5\%$	$THD(i_{INV}) = 11,4\%$	$THD(i_S) = 58\%$	$THD(i_O) = 36,7\%$	$THD(i_{INV}) = 11,7\%$

Przebiegi czasowe napięcia i prądów w miejscu przyłączenia układu Grid Tied do obwodu zasilającego świetlówki kompaktowe, źródła halogenowe z regulatorem tyrystorowym oraz komputery stacjonarne: a) w warunkach zbilansowania mocy czynnych; b) w warunkach niezbilansowania (bez źródeł halogenowych).

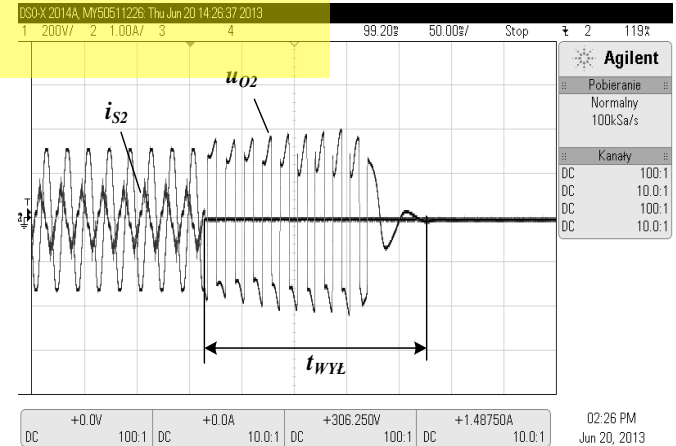
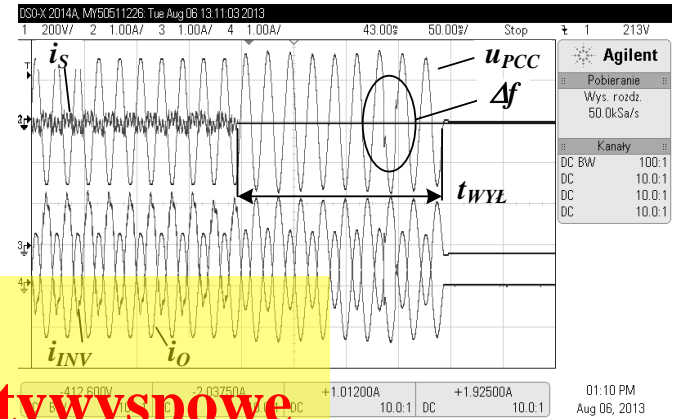
Warunki funkcjonowania systemów prosumenckich

Bezpieczeństwo



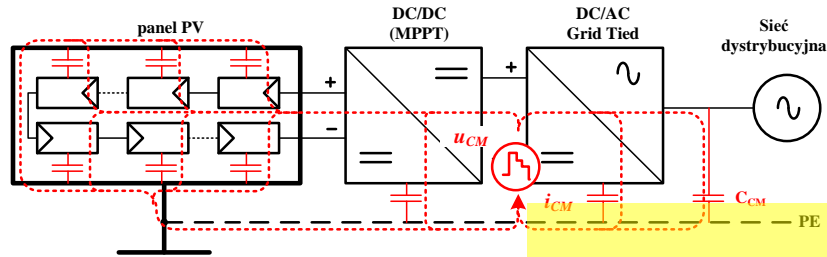
$$U_{O2} = I_{G2} \cdot \frac{Z_{O2} \cdot (Z_{O1} + Z_{S2})}{Z_{O2} + Z_{O1} + Z_{S2}}$$

$$U_{O1} = U_{O2} \cdot \frac{Z_{O1}}{Z_{O1} + Z_{S2}}$$



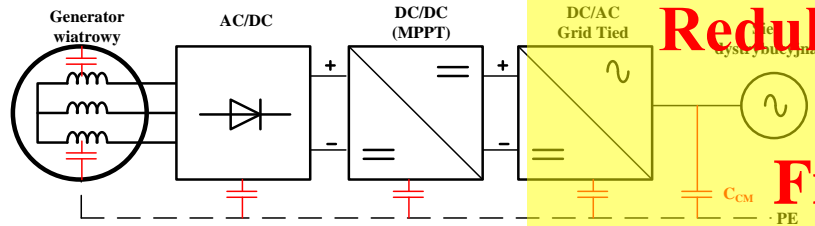
Warunki funkcjonowania systemów prosumenckich

Kompatybilność elektromagnetyczna



Zjawisko PID:

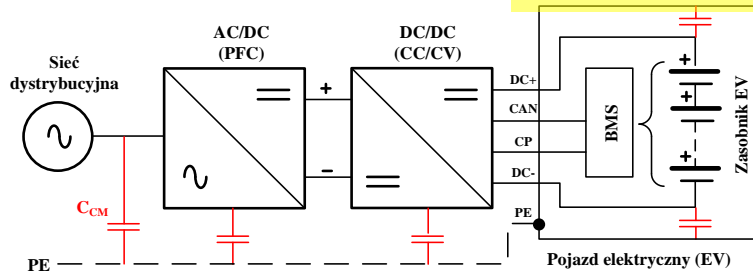
- Redukcja sprawności
- Redukcja żywotności



Redukcja prądów CM

- Prądy łożyskowe:
- Redukcja żywotności

Filtracja EMI



Prądy upływu w.c.z.:

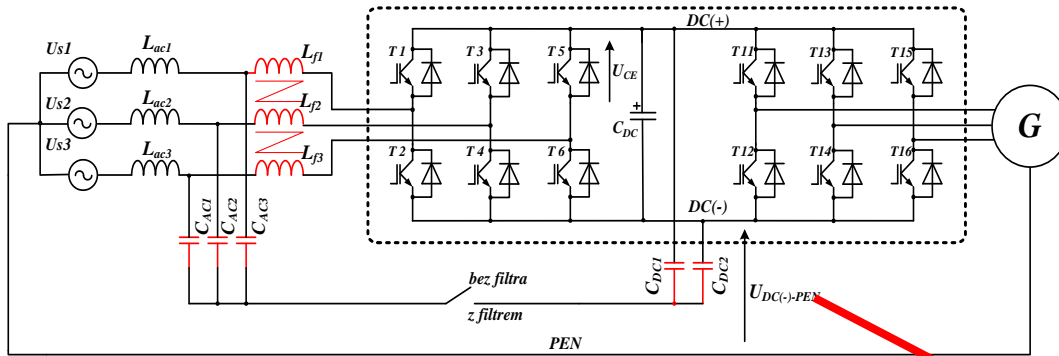
- Redukcja żywotności

- Zakłócenia w pracy układów kontroli stanu izolacji (UKSE)
- Zakłócenia w układach transmisyjnych np. AMI (PLC)
- Zakłócenia w pracy układów BMS

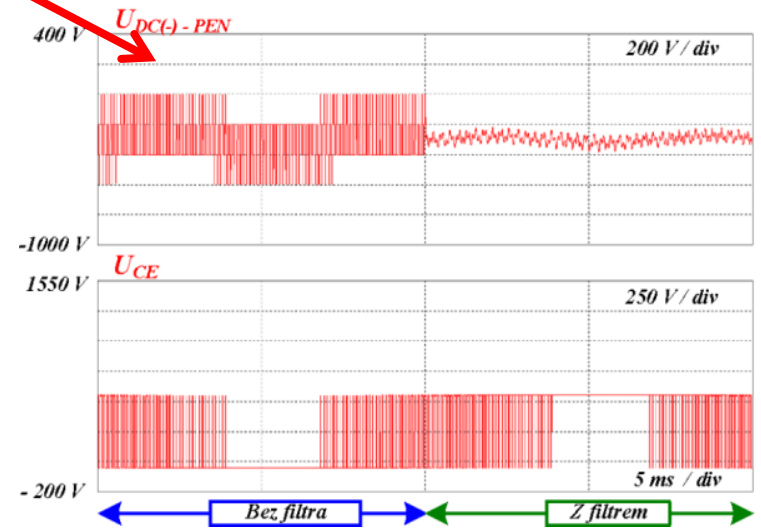
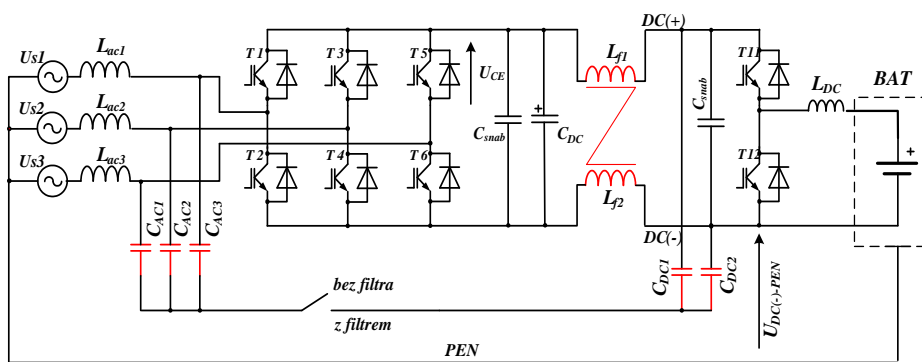
Warunki funkcjonowania systemów prosumenckich

Kompatybilność elektromagnetyczna

Przekształtnik czterokwadrantowy
AC/DC/AC



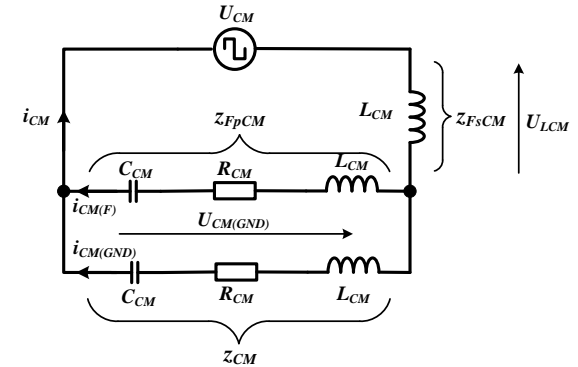
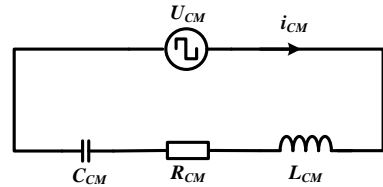
Przekształtnik dwukierunkowy
AC/DC/DC



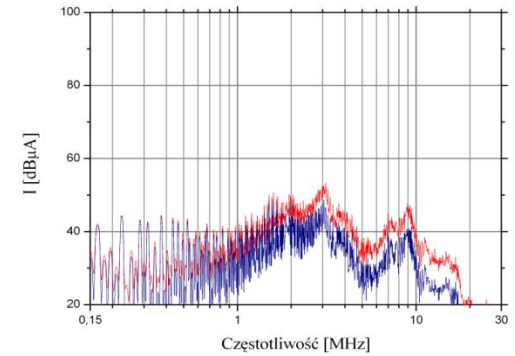
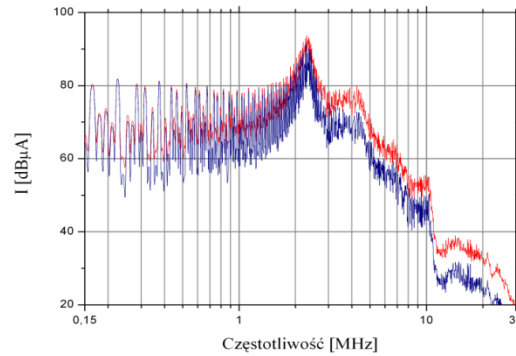
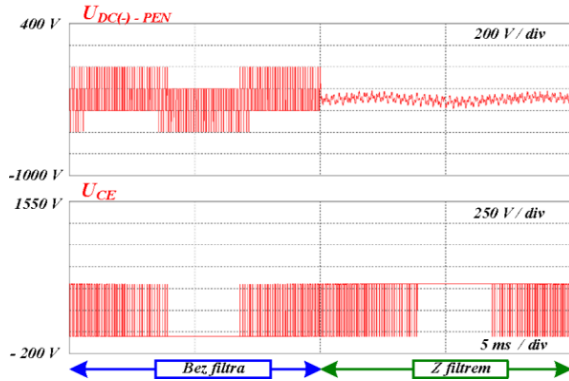
Warunki funkcjonowania systemów prosumenckich

Kompatybilność elektromagnetyczna

Schemat zastępczy układu dla składowej CM



Widmo częstotliwości prądu CM



Interfejs prosumencki powinien być:

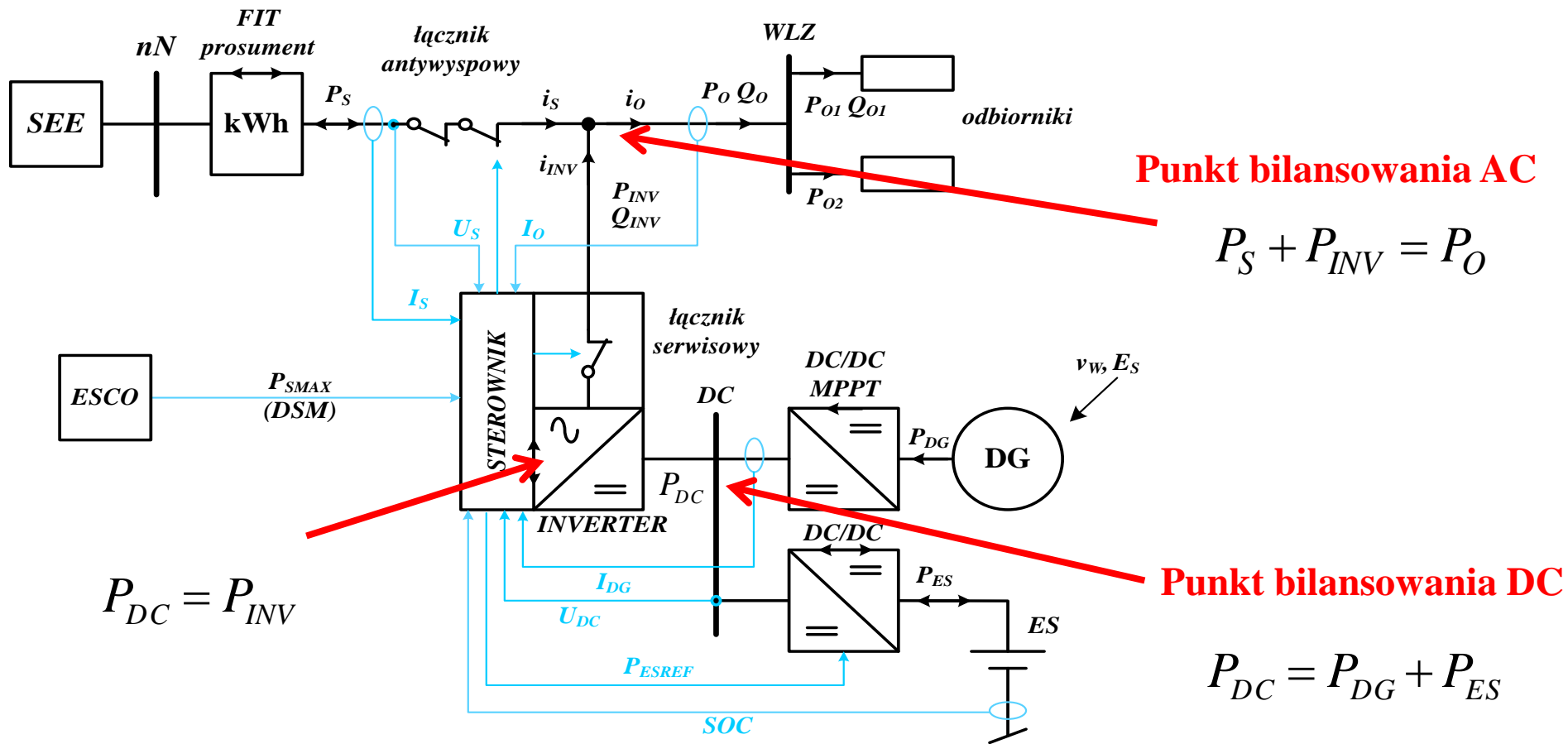
Układem zapewniającym synergę na granicy jurysdykcji Operatora/Dystrybutora systemowego i Prosumenta co osiągnąć można poprzez:

- Układem wspomagającym Prosumenta w zakresie efektywniejszego ekonomicznie i technicznie wykorzystania energii elektrycznej generowanej w jego źródłach.**
- Układem zmniejszającym oddziaływanie źródeł OZE o niespokojnej charakterystyce mocy wyjściowej (mocno zależnej od zmian energii pierwotnej) na sieć rozdzielczą.**
- Układem kompatybilnym z otoczeniem elektromagnetycznym**

Warunki rozwoju zrównoważonych systemów prosumenckich:

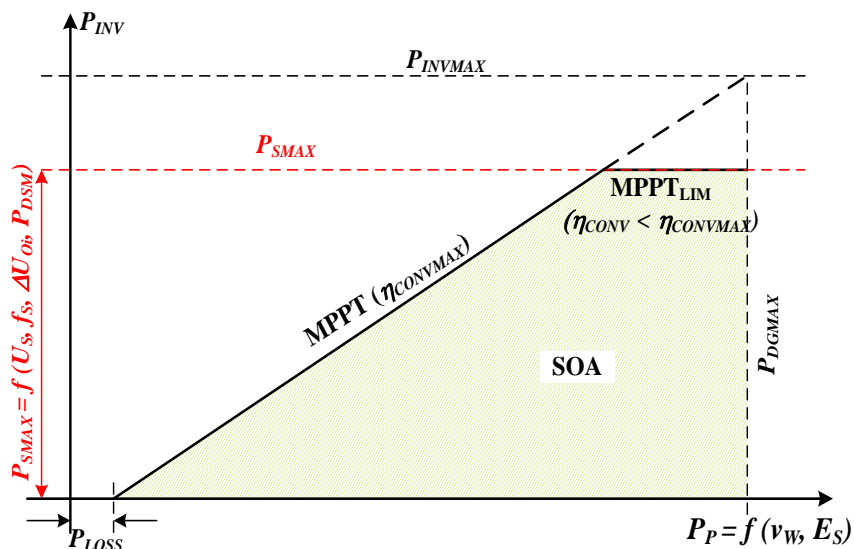
- ❑ **Efektywne i zrównoważone sterowanie instalacją prosumencką wymaga dwukierunkowej komunikacji pomiędzy Operatorem a Prosumentem z tego względu niezbędny jest rozwój systemu AMI w kierunku osiągnięcia pełnej funkcjonalności także w zakresie współpracy z HAN (w Polsce - ISD)**
- ❑ **Automatyzacja zrównoważonego sterowania instalacją prosumencką wymaga rozwoju systemów HAN wyposażonych w kompetencje decyzyjne oddziałujących na poszczególne elementy instalacji wg ustalonego z użytkownikiem algorytmu (maksimum efektu ekonomicznego, maksimum bezpieczeństwa energetycznego, maksimum komfortu) z uwzględnieniem sygnałów o sytuacji w sieci dystrybucyjnej (sygnały z AMI w trybie „Emergency”)**

System prosumencki z interfejsem energoelektronicznym

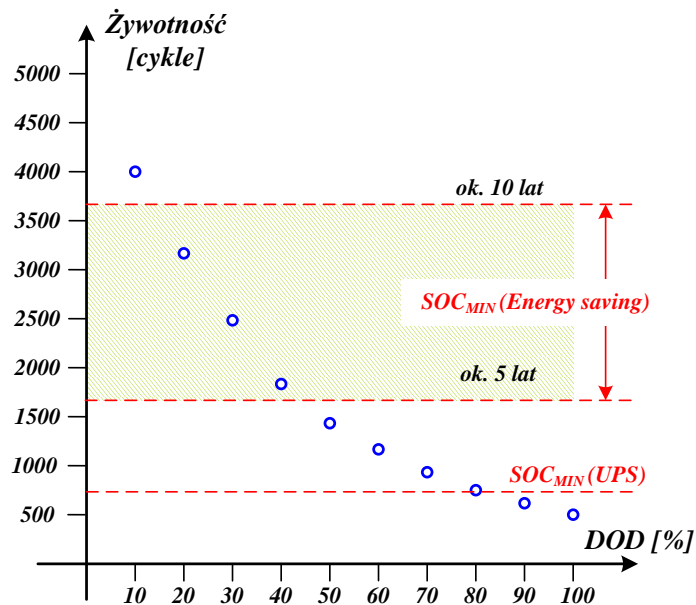


$$P_{ES} = P_O - P_{DG} - P_S$$

System prosumencki z interfejsem energoelektronicznym



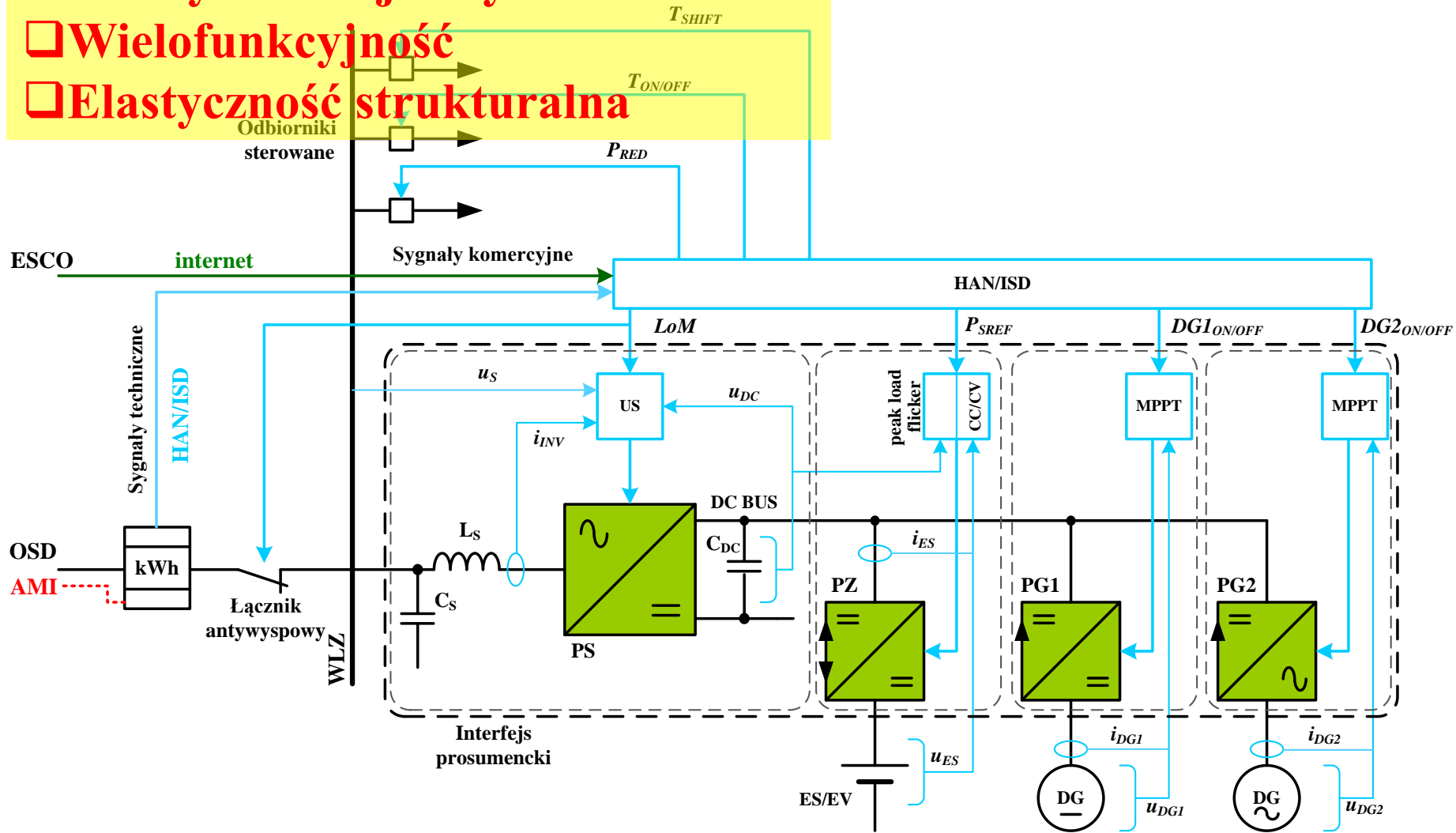
Większy zakres wykorzystania miejscowych zasobów energii pierwotnej niż w standardowych układach typu Grid Tied



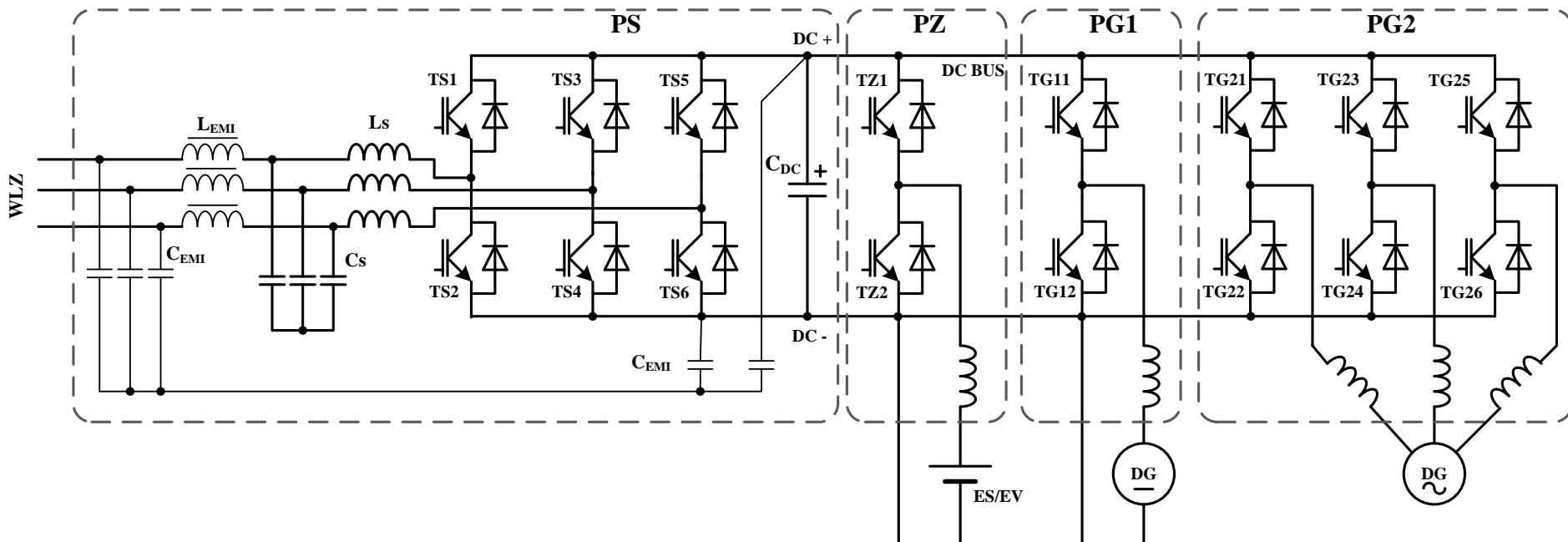
Większa żywotność akumulatorów niż w układach Off Grid

System prosumencki z interfejsem energoelektronicznym

- ❑ Maksymalizacja uzysku z OZE
- ❑ Wielofunkcyjność
- ❑ Elastyczność strukturalna



Interfejs prosumencki – realizacja za pomocą przekształtnika wielogłęziowego



Konfiguracja			Funkcja			
PS	PG	PZ	DSM	DG	PQ	UPS
+	+	+	+	+	+	+
+		+	+		+	+
+	+		+	+(1)	+	+(2)
+					+	

Opis funkcji:

DSM –komercyjna regulacja mocy

DG – sprzężanie źródeł rozszianych

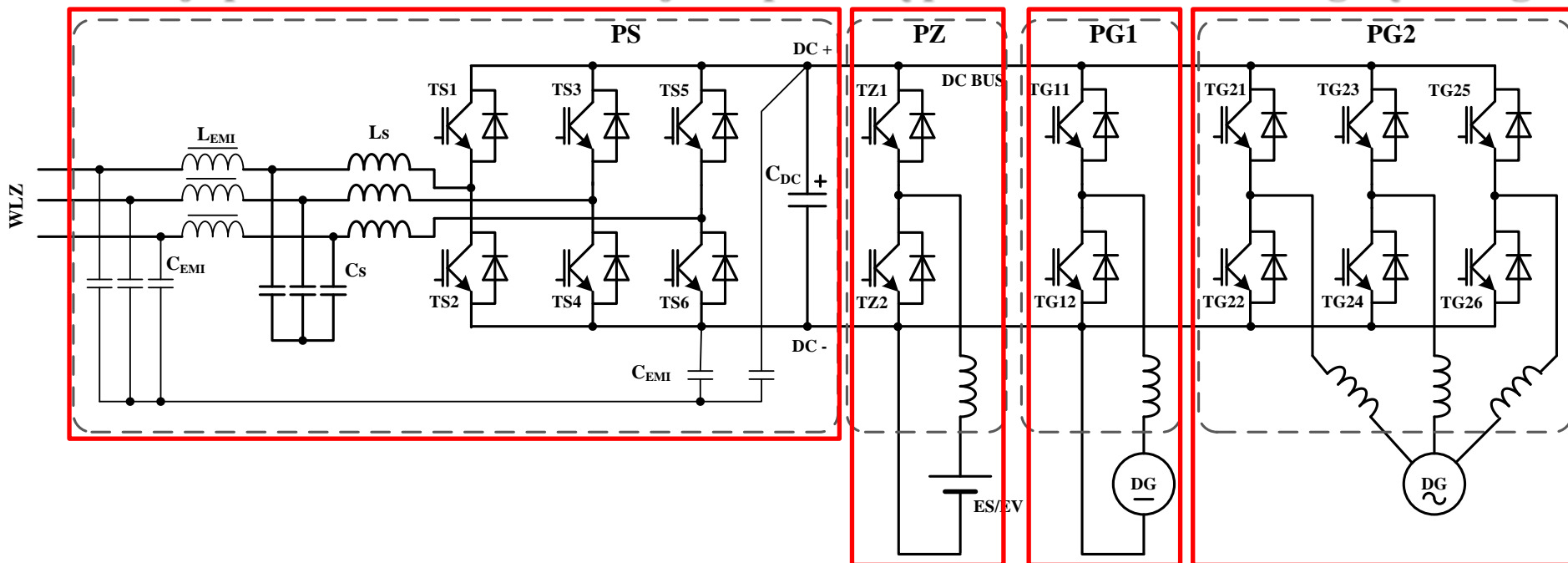
PQ –poprawa jakości energii

UPS – zasilanie gwarantowane

(1) przy włączonym algorytmie MPPT przekształtników PG mogą wystąpić problemy z wahaniami napięcia WLZ spowodowane szybkozmiennymi zmianami mocy wywołanymi zmianami odnawialnej energii pierwotnej

(2) możliwe jedynie w przypadku źródeł kogeneracyjnych

Interfejs prosumencki – realizacja za pomocą przekształtnika wielogłęziowego



Konfiguracja			Funkcja			
PS	PG	PZ	DSM	DG	PQ	UPS
+	+	+	+	+	+	+
+		+	+		+	+
+	+		+	+(1)	+	+(2)
+					+	

Opis funkcji:

DSM –komercyjna regulacja mocy

DG – sprzęganie źródeł rozszaniych

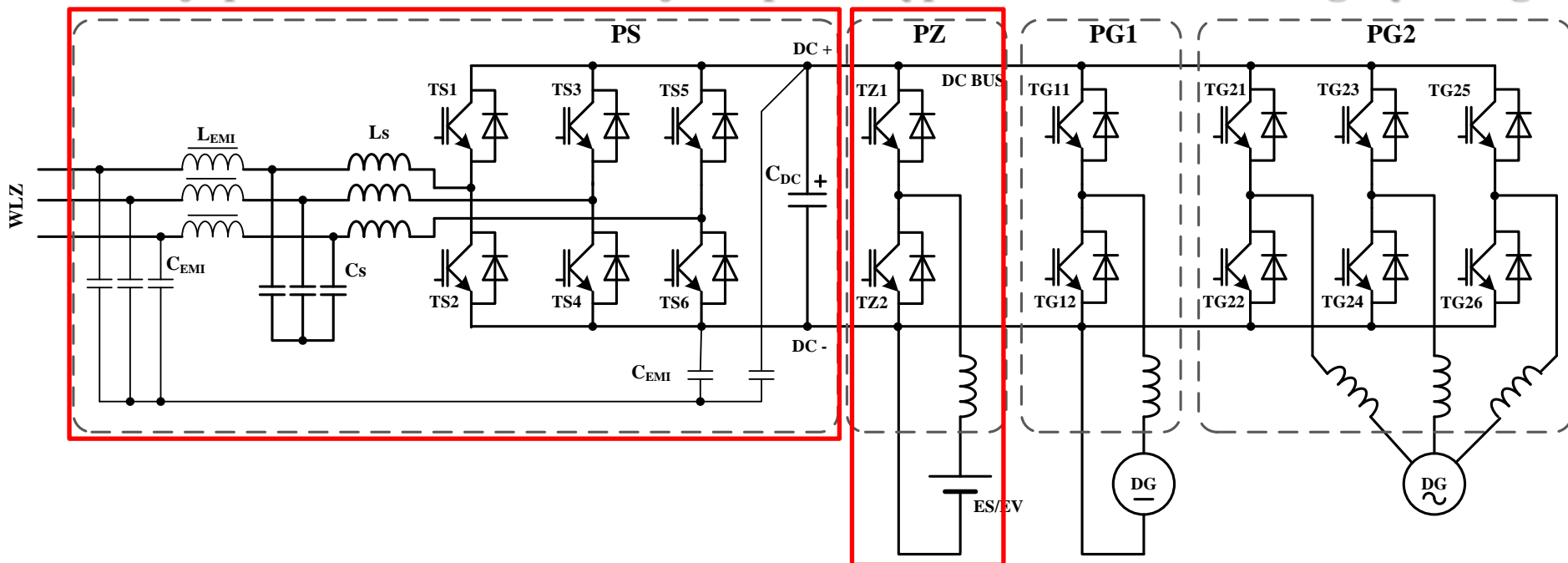
PQ –poprawa jakości energii

UPS – zasilanie gwarantowane

(1) przy włączonym algorytmie MPPT przekształtników PG mogą wystąpić problemy z wahaniami napięcia WLZ spowodowane szybkozmiennymi zmianami mocy wywołanymi zmianami odnawialnej energii pierwotnej

(2) możliwe jedynie w przypadku źródeł kogeneracyjnych

Interfejs prosumencki – realizacja za pomocą przekształtnika wielogłęziowego



Konfiguracja			Funkcja			
PS	PG	PZ	DSM	DG	PQ	UPS
+	+	+	+	+	+	+
+		+	+		+	+
+	+		+	+(1)	+	+(2)
+					+	

Opis funkcji:

DSM –komercyjna regulacja mocy

DG – sprzężanie źródeł rozszianych

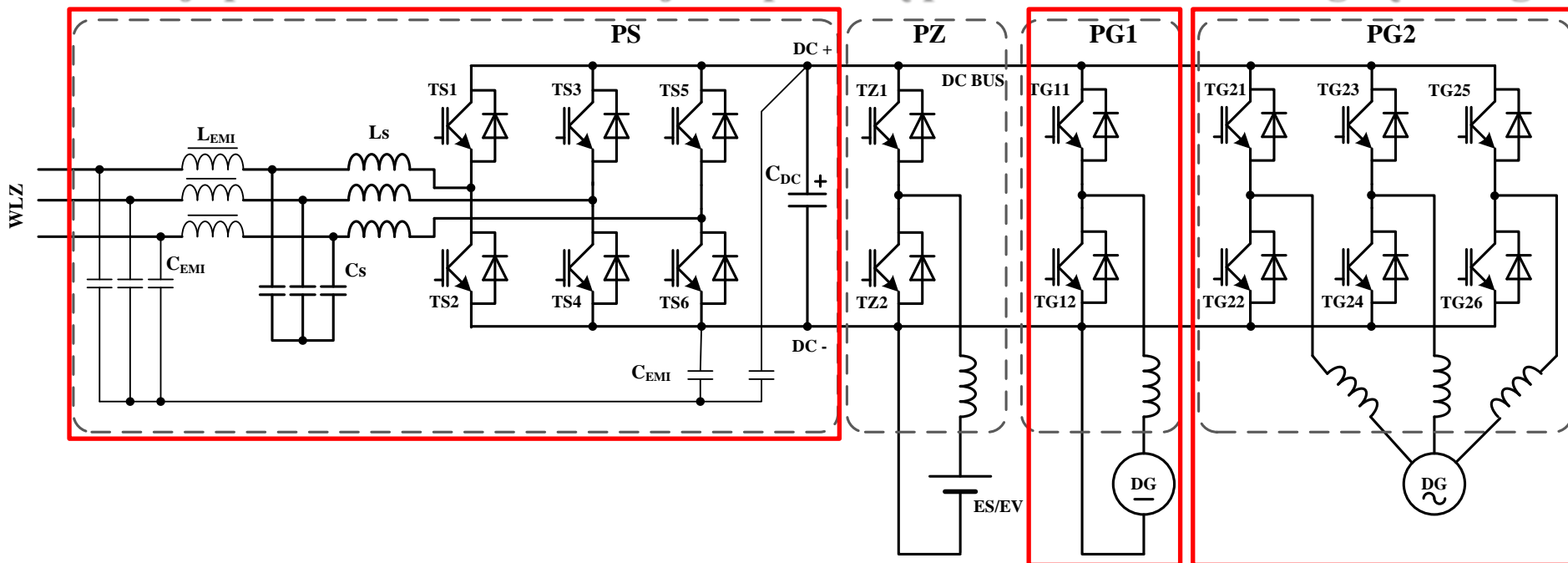
PQ –poprawa jakości energii

UPS – zasilanie gwarantowane

(1) przy włączonym algorytmie MPPT przekształtników PG mogą wystąpić problemy z wahaniami napięcia WLZ spowodowane szybkozmiennymi zmianami mocy wywołanymi zmianami odnawialnej energii pierwotnej

(2) możliwe jedynie w przypadku źródeł kogeneracyjnych

Interfejs prosumencki – realizacja za pomocą przekształtnika wielogłęziowego



Konfiguracja			Funkcja			
PS	PG	PZ	DSM	DG	PQ	UPS
+	+	+	+	+	+	+
+		+	+		+	+
+	+		+	+(1)	+	+(2)
+					+	

Opis funkcji:

DSM –komercyjna regulacja mocy

DG – sprzężanie źródeł rozszianych

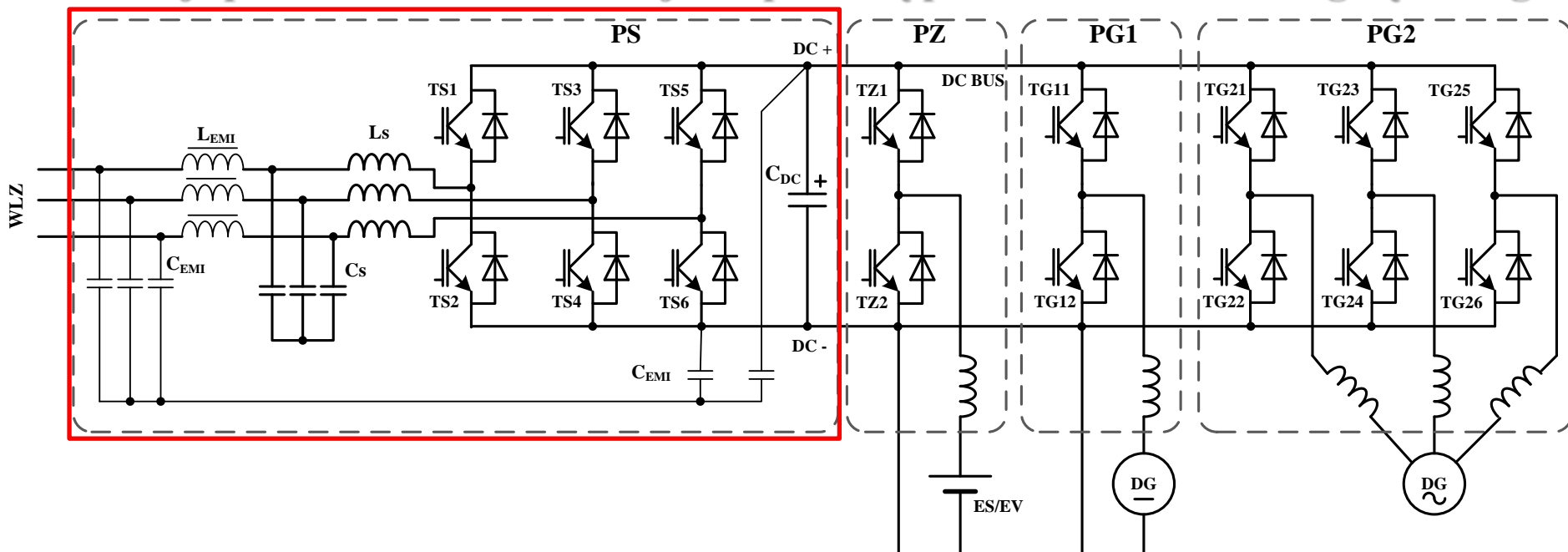
PQ –poprawa jakości energii

UPS – zasilanie gwarantowane

(1) przy włączonym algorytmie MPPT przekształtników PG mogą wystąpić problemy z wahaniami napięcia WLZ spowodowane szybkozmiennymi zmianami mocy wywołanymi zmianami odnawialnej energii pierwotnej

(2) możliwe jedynie w przypadku źródeł kogeneracyjnych

Interfejs prosumencki – realizacja za pomocą przekształtnika wielogłęziowego



Konfiguracja			Funkcja			
PS	PG	PZ	DSM	DG	PQ	UPS
+	+	+	+	+	+	+
+		+	+		+	+
+	+		+	+(1)	+	+(2)
+					+	

Opis funkcji:

DSM –komercyjna regulacja mocy

DG – sprzężanie źródeł rozszianych

PQ –poprawa jakości energii

UPS – zasilanie gwarantowane

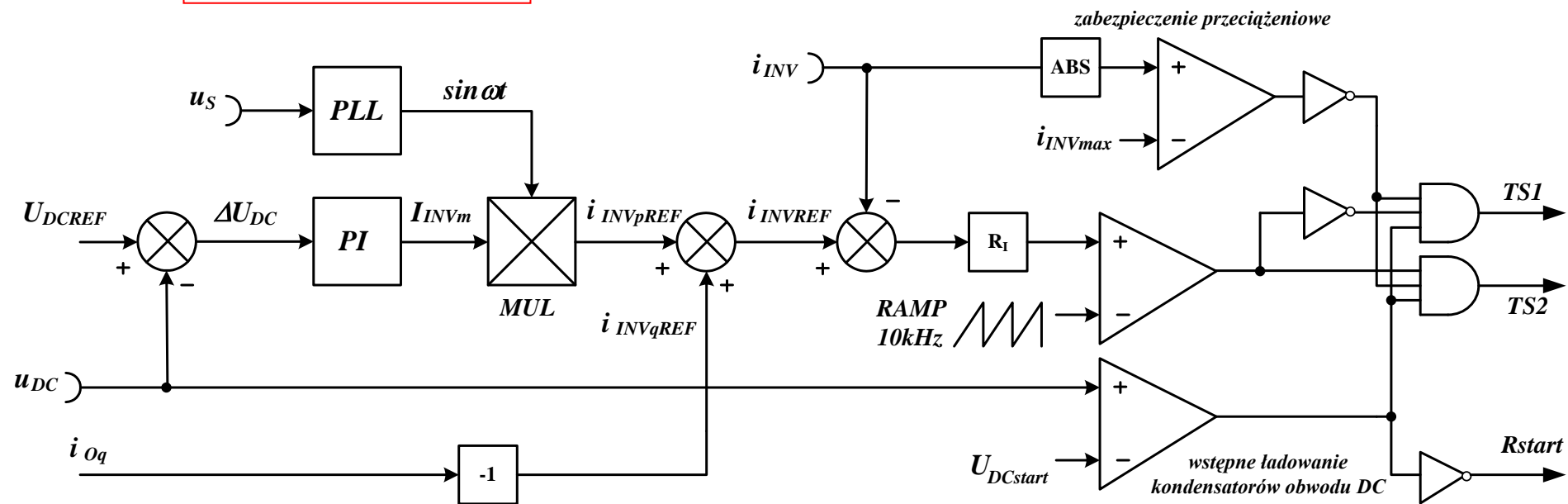
(1) przy włączonym algorytmie MPPT przekształtników PG mogą wystąpić problemy z wahaniami napięcia WLZ spowodowane szybkozmiennymi zmianami mocy wywołanymi zmianami odnawialnej energii pierwotnej

(2) możliwe jedynie w przypadku źródeł kogeneracyjnych

Układ sterowania przekształtnikiem sieciowym

$$\Delta U_{DC} = \frac{\Delta P_{DC} \cdot T_C}{U_{DCREF} \cdot C_{DC}} \quad k_I = \frac{I_{Sm}}{\Delta U_{DC}} = \frac{\sqrt{2} \cdot C_{DC} \cdot U_{DCREF}}{U_S \cdot T_C}$$

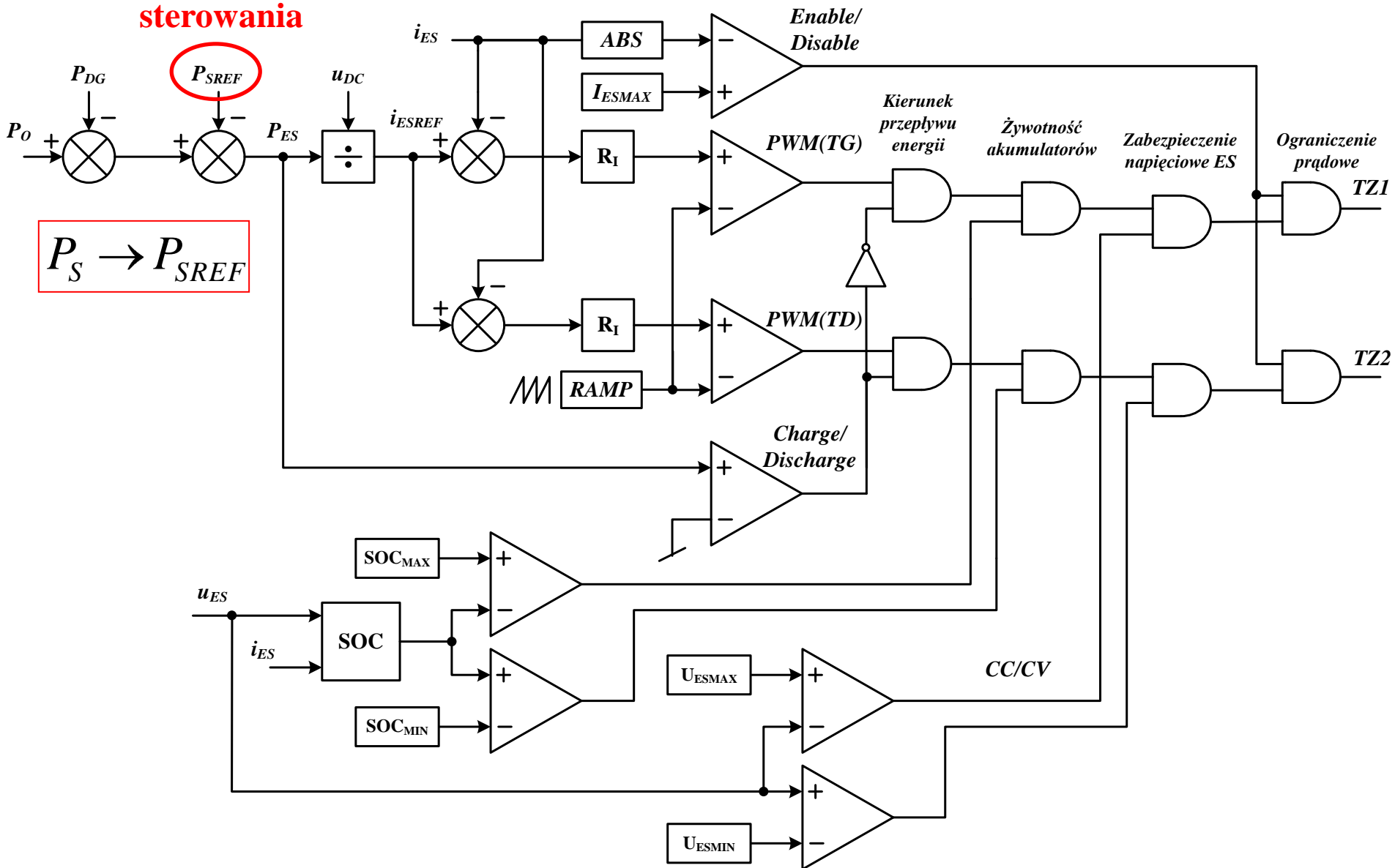
$$P_{INV} = P_{DC} = P_{DG} - P_{ES}$$



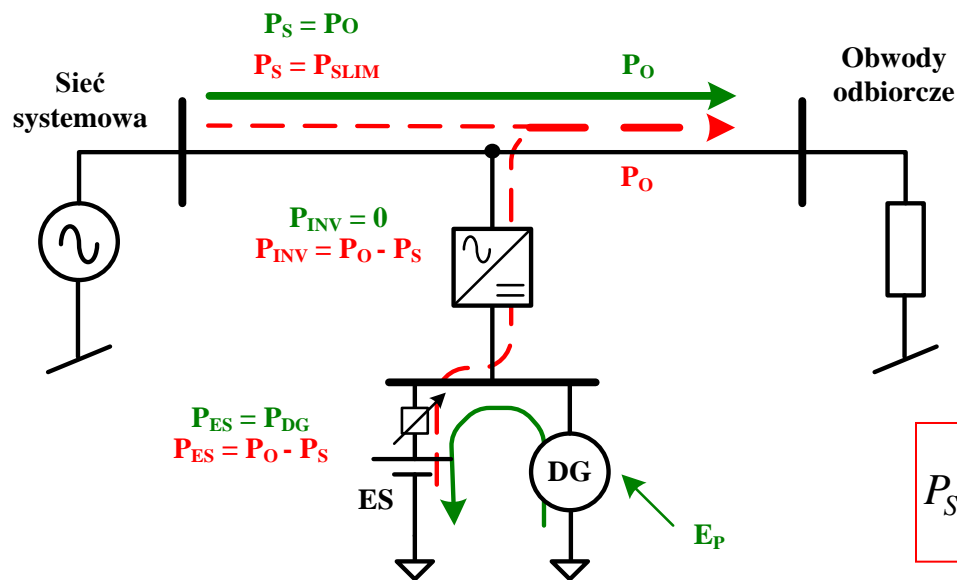
$$i_{Sq} \rightarrow 0 \Rightarrow i_{INVq} = -i_{Oq}$$

Układ sterowania przekształtnikiem zasobnikowym

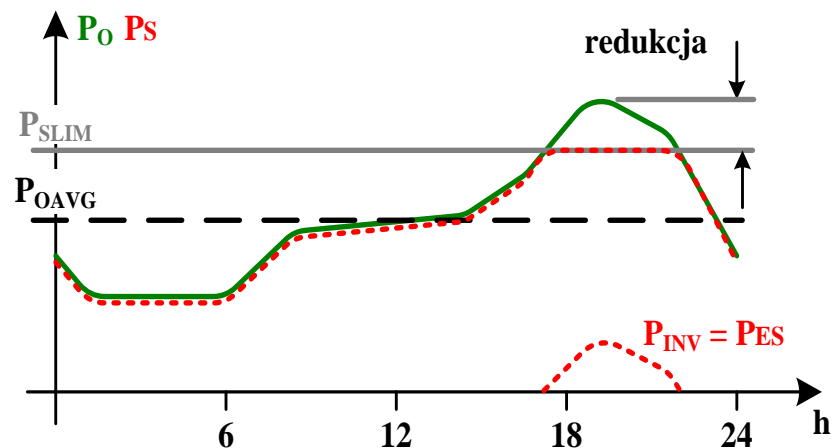
Strategia sterowania



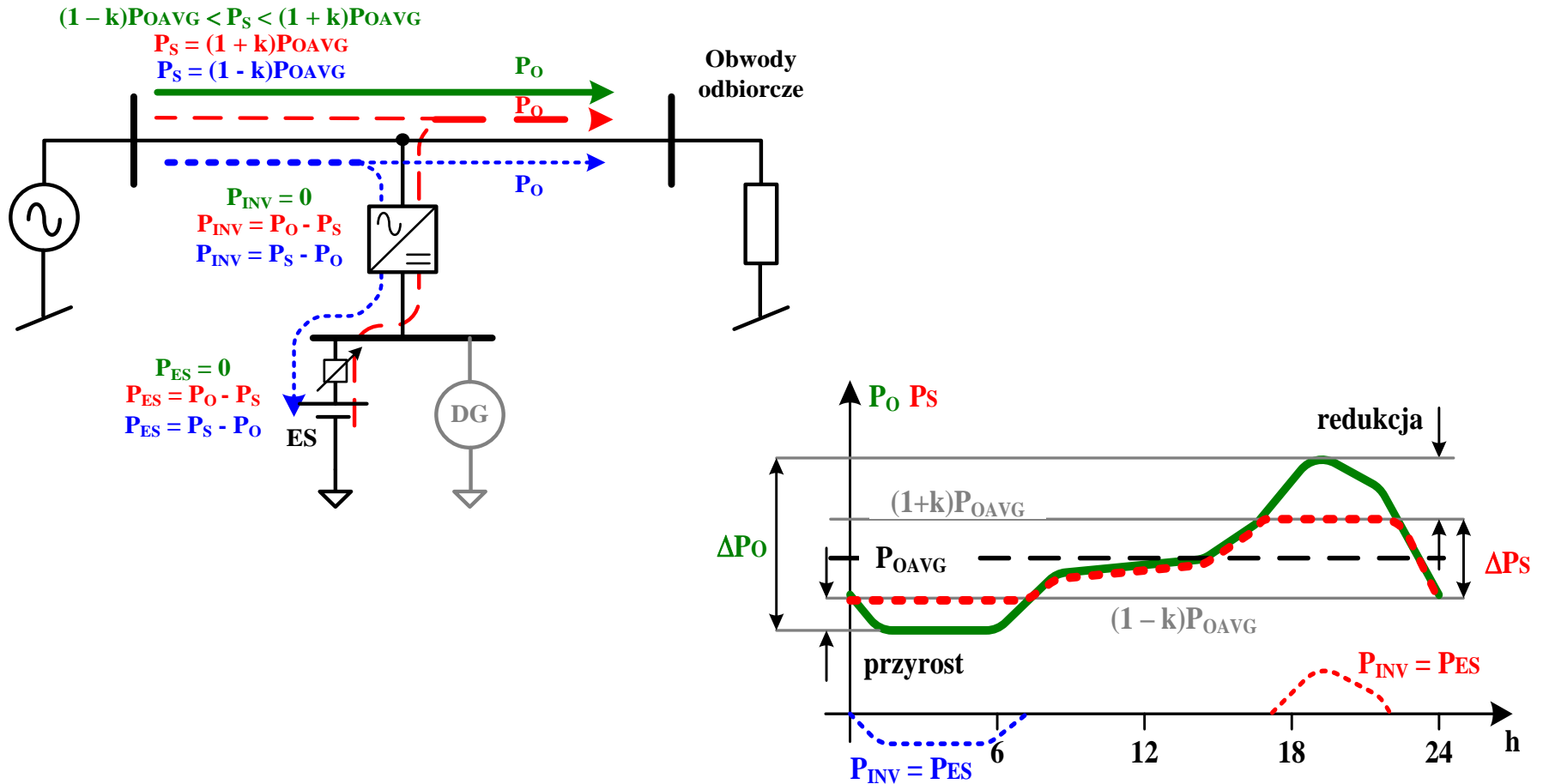
Strategie sterowania – redukcja obciążeń szczytowych



$$P_S \rightarrow P_{SREF} = \begin{cases} P_O & \text{dla } P_O \leq P_{SLIM} \\ P_{SLIM} & \text{dla } P_O > P_{SLIM} \end{cases}$$

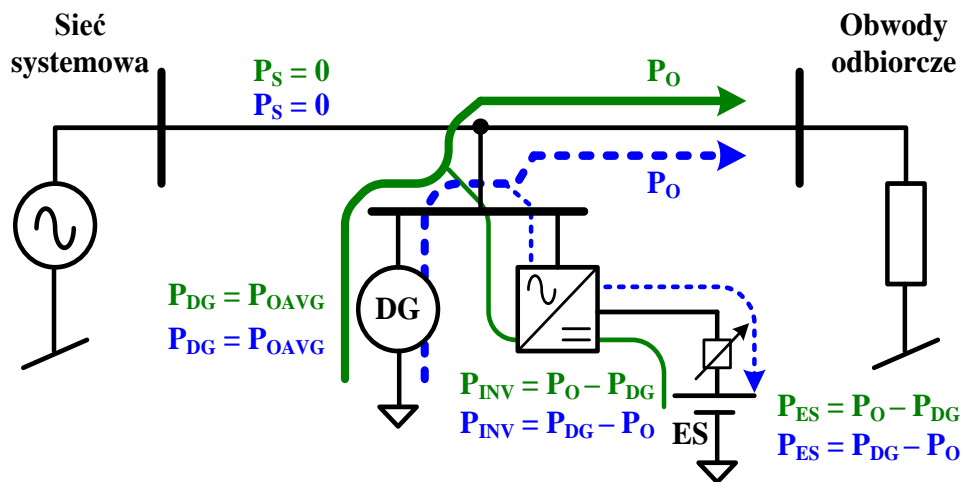


Strategie sterowania – wyrównywanie krzywej obciążenia dobowego

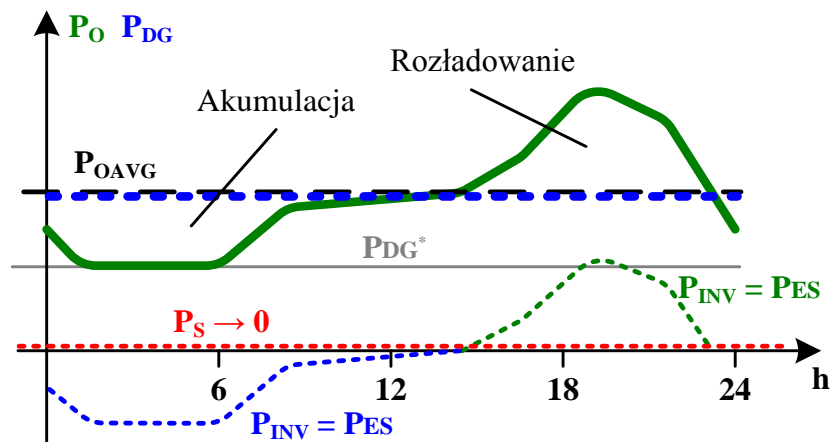


$$P_S \rightarrow P_{REF} = \begin{cases} (-k)P_{OAVG} & \text{dla } P_O \leq (-k)P_{OAVG} \\ P_O & \text{dla } (+k)P_{OAVG} > P_O > (-k)P_{OAVG} \\ (+k)P_{OAVG} & \text{dla } P_O \geq k \cdot P_{OAVG} \end{cases}$$

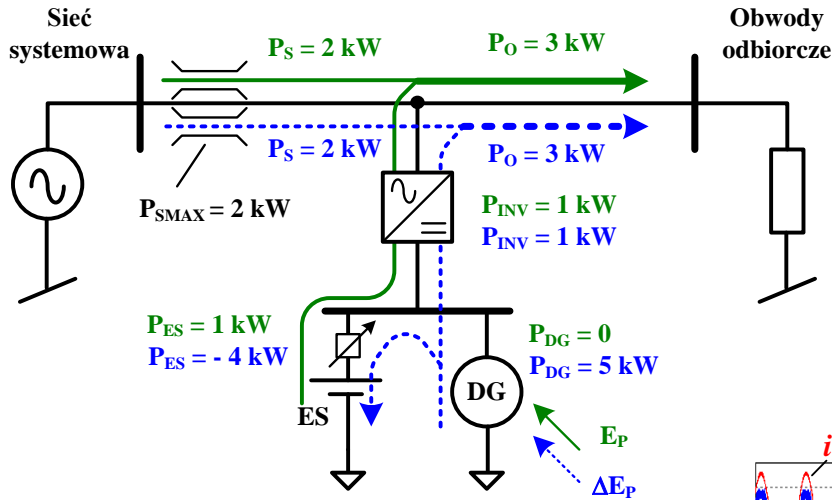
Strategie sterowania – współpraca z niekoncesjonowanym układem μ CHP



$$P_S \rightarrow P_{SREF} = 0$$



Działanie interfejsu prosumenckiego w wybranej strategii sterowania

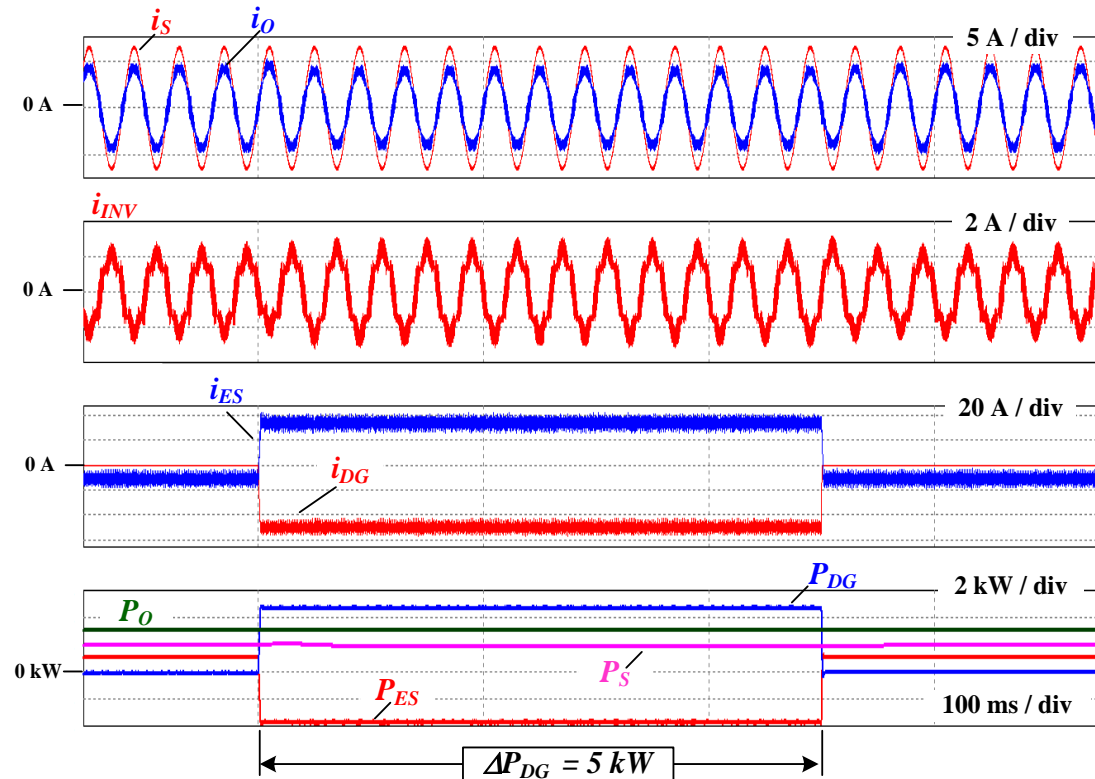


$$P_S \rightarrow P_{SREF}$$

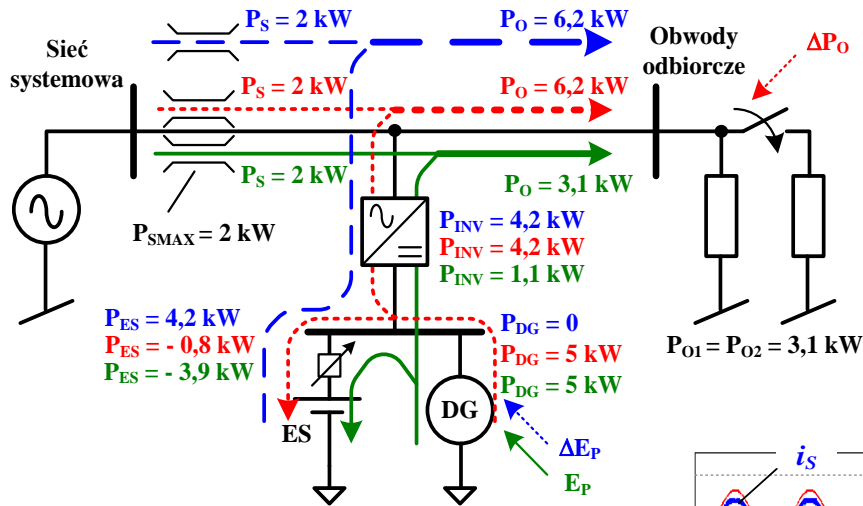
$$P_{ES} \pm \Delta P_{ES} = P_O \pm \Delta P_O - P_{DG} - P_{SREF}$$

$$P_{ES} \pm \Delta P_{ES} = P_O - P_{DG} \pm \Delta P_{DG} - P_{SREF}$$

$$P_{ES} \pm \Delta P_{ES} = P_O \pm \Delta P_O - P_{DG} \pm \Delta P_{DG} - P_{SREF}$$



Działanie interfejsu prosumenckiego w wybranej strategii sterowania

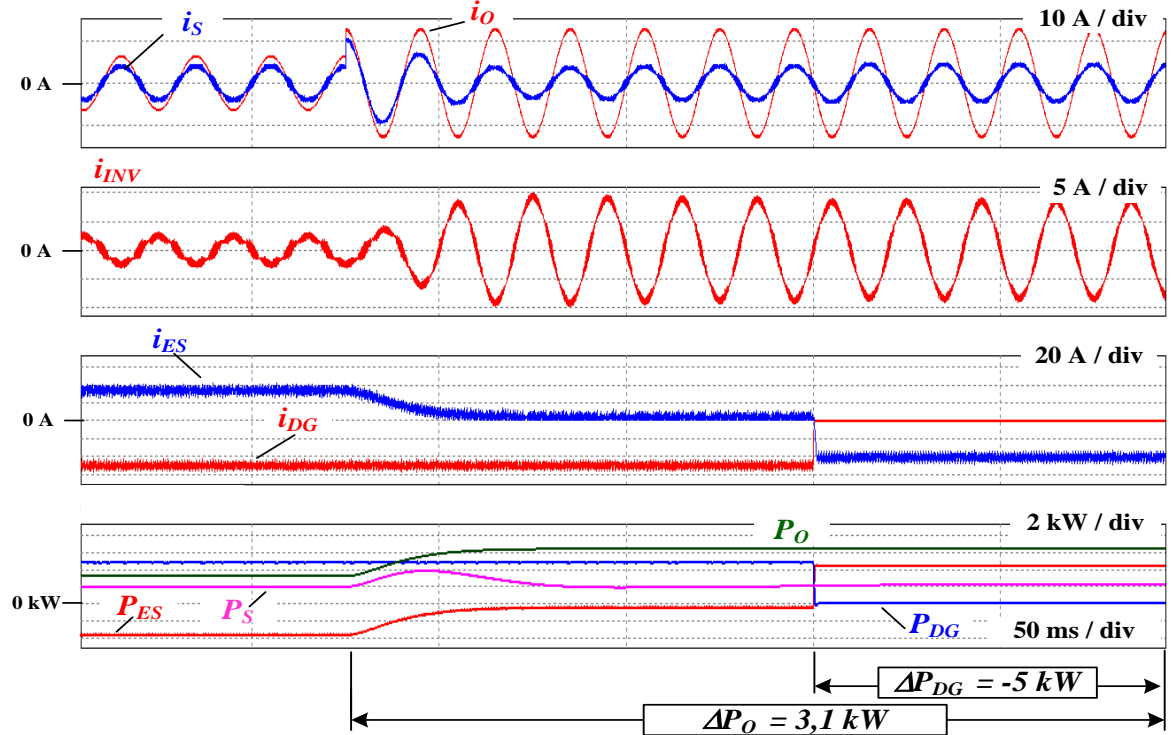


$$P_S \rightarrow P_{SREF}$$

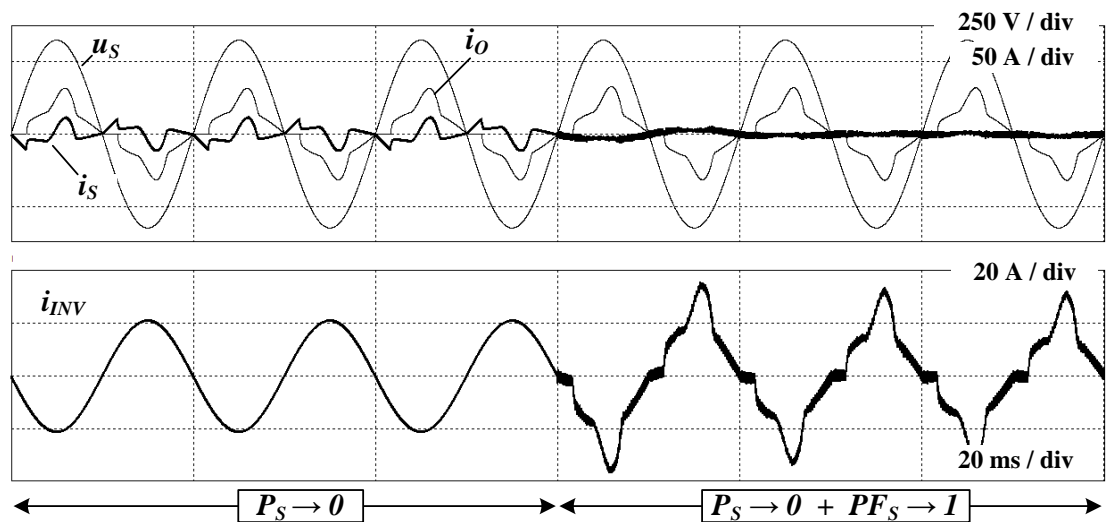
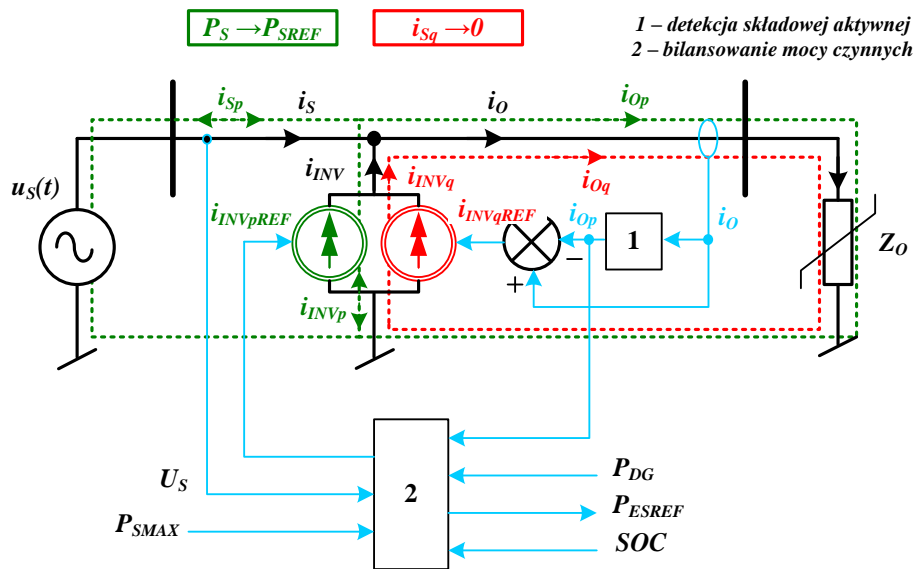
$$P_{ES} \pm \Delta P_{ES} = P_O \pm \Delta P_O - P_{DG} - P_{SREF}$$

$$P_{ES} \pm \Delta P_{ES} = P_O - P_{DG} \pm \Delta P_{DG} - P_{SREF}$$

$$P_{ES} \pm \Delta P_{ES} = P_O \pm \Delta P_O - P_{DG} \pm \Delta P_{DG} - P_{SREF}$$



Działanie interfejsu prosumenckiego w wybranej strategii sterowania



Podsumowanie

- Systemy prosumenckie dla zapewnienia zrównoważonej współpracy z siecią elektroenergetyczną i maksymalizacji uzysku energetycznego wymagają zastosowania niestandardowych interfejsów energoelektronicznych wyposażonych w funkcje sterowania rozplywem energii oraz kompensacji składowej nieaktywnej prądu obciążenia.
- Zastosowanie magazynu energii w systemach prosumenckich pozwala na swobodniejsze zarządzanie energią generowaną w źródłach miejscowych Prosumenta oraz stwarza możliwość szerszego udziału w rynku energii poprzez udział w programach typu DSM.
- Przekształtnik wielogłęziowy stanowić może platformę sprzętową pozwalającą na uzyskanie wielofunkcyjności oraz umożliwiającym swobodną konfigurację interfejsów prosumenckich.

Dziękuję za uwagę

