



Politechnika
Wrocławska

Uniwersalne banki nastaw dla falowników współpracujących z modułami wytwarzania typu A i B

Dr hab. inż. Marcin Habrych, prof. uczelni

Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny, Katedra Energoelektryki

13-14 MARCA 2024 R., WISŁA



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



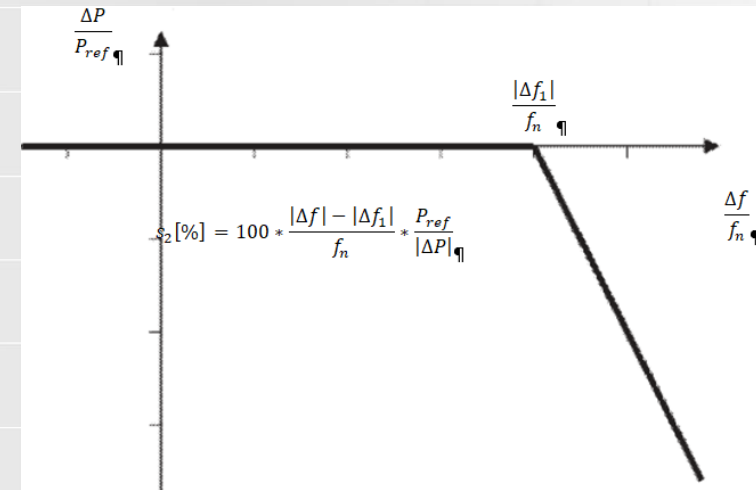
Evaluated by
INSTITUTIONAL
EVALUATION
PROGRAMME
www.iep-qa.org

- Kodeks sieciowy (NC RfG) Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14.04.2016 ustanawiające kodeks wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci.
- Wymogi ogólnego stosowania wynikające z Rozporządzenia Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiającego kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci (NC RfG), PSE S.A., Konstancin - Jeziorna, dn. 18.12.2018
- Normy:
 - PN-EN 50549-1:2019 dotycząca instalacji generacyjnych typu A i B i włącznie z nim przyłączonych do dystrybucyjnej sieci nn
 - PN-EN 50549-2:2019 dotycząca instalacji generacyjnych typu A i B i włącznie z nim przyłączonych do dystrybucyjnej sieci SN

- Instrukcje Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej (IRiESD):
 - *IRiESD - ENEA Operator Sp. z o.o.*
 - *IRiESD - TAURON Dystrybucja S.A,*
 - *IRiESD - PGE Dystrybucja S.A*
 - *IRiESD - ENERGA Operator S.A.*
 - *IRiESD - STOEN Operator Sp. z o.o.*
- *Zaktualizowane wymogi ogólnego stosowania wynikające z Rozporządzenia Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiającego kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci (NC RfG),*
- Zbiór wymagań dla modułów wytwarzania energii typu A, w tym mikroinstalacji – wydany przez każdego OSD.

Analiza otoczenia prawnego

Dla trybu **LFSM-O** (moduły typ A) moduł wytwarzania energii musi mieć zdolność do aktywowania rezerwy mocy czynnej w odpowiedzi na wzrost częstotliwości, przy odpowiednich parametrach progu częstotliwości i ustawieniach statyzmu



Wymaganie	Normy 50549	NC RfG
LFSM-O	<p>Zdolność do ustawienia progu częstotliwości trybu LFSM-O w zakresie 50,2 Hz–52 Hz</p> <p>- Pref dla PPM jako moc czynną generowaną przed zadziałaniem LFSM-O</p> <p><i>Artykuł 4.6.1</i></p>	<p>Zdolność do ustawienia progu częstotliwości trybu LFSM-O w zakresie 50,2 Hz – 50,5 Hz (50,2 Hz wartość domyślna)</p> <p>- Pref dla PPM jako moc czynną maksymalną PPM albo rzeczywista mocy czynnej PPM, gdy osiągnięty jest próg LFSM-O</p> <p><i>Artykuł 13 ust. 2 lit. a)</i></p>
Odlączenie zamiast LFSM-O	<p>Dla modułów typu A i B dopuszczone jest wyłączanie poszczególnych jednostek wchodzących w skład PGM przy różnych częstotliwościach równomiernie rozłożonych w zakresie progu zadziałania do 52 Hz.</p> <p><i>Artykuł 4.6.1</i></p>	<p>Dopuszczone jest przystosowania tylko PGM typu A do trybu LFSM-O poprzez stopniowe wyłączanie poszczególnych źródeł wytwórczych wchodzących w skład PGM.</p> <p><i>Artykuł 13 ust. 2 lit. b)</i></p>

Dla modułu wytwarzania typu A:

Wybór opcji w inwerterze „Bank nastaw - Polska”, który automatycznie uruchomi i nastawi następujące zabezpieczenia i charakterystyki regulacyjne (wartości podane względem U_{LN}):

- **Zabezpieczenie podnapięciowe $U<$**

Wartość rozruchowa: $0,85 U_n = 195,5 \text{ V}$; Czas opóźnienia: 1,2 s;

- **Zabezpieczenie nadnapięciowe pierwszego stopnia $U>$**

Wartość rozruchowa: $1,1 U_n = 253 \text{ V}$ (mierzona jako średnia 10-minutowa mierzona w oknie przesuwym - zgodnie z normą EN 50160. Szczegółowe wymagania w zakresie pomiaru wartości średniej zawarte są w normie PN-EN 50549). Czas opóźnienia: 3 s;

- **Zabezpieczenie nadnapięciowe drugiego stopnia $U>>$**

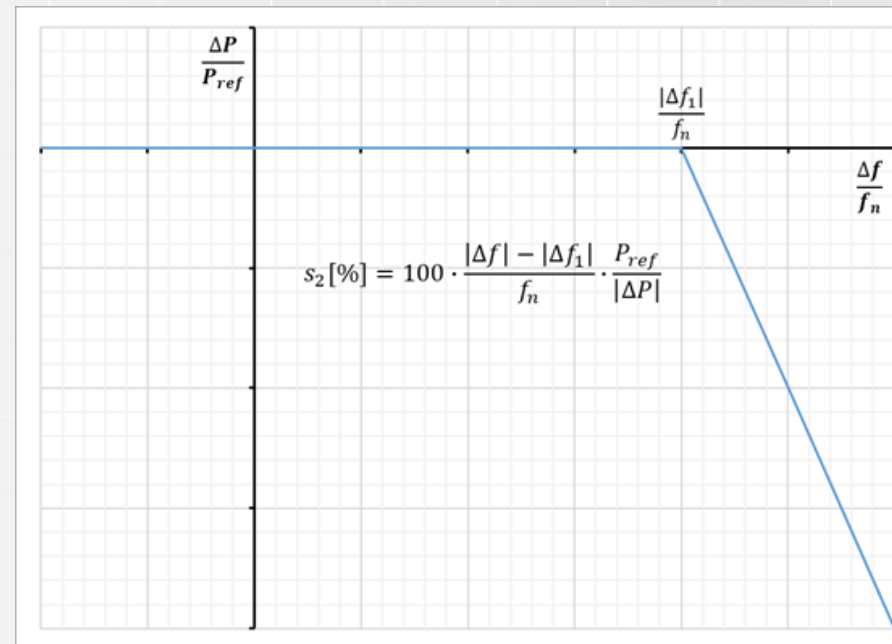
Wartość rozruchowa: $1,15 U_n = 264,5 \text{ V}$; Czas opóźnienia: 0,1 s;

- **Zabezpieczenie podczęstotliwościowe $f<$**

Wartość rozruchowa: 47,5 Hz; Czas opóźnienia: 0,3 s;

Bank nastaw

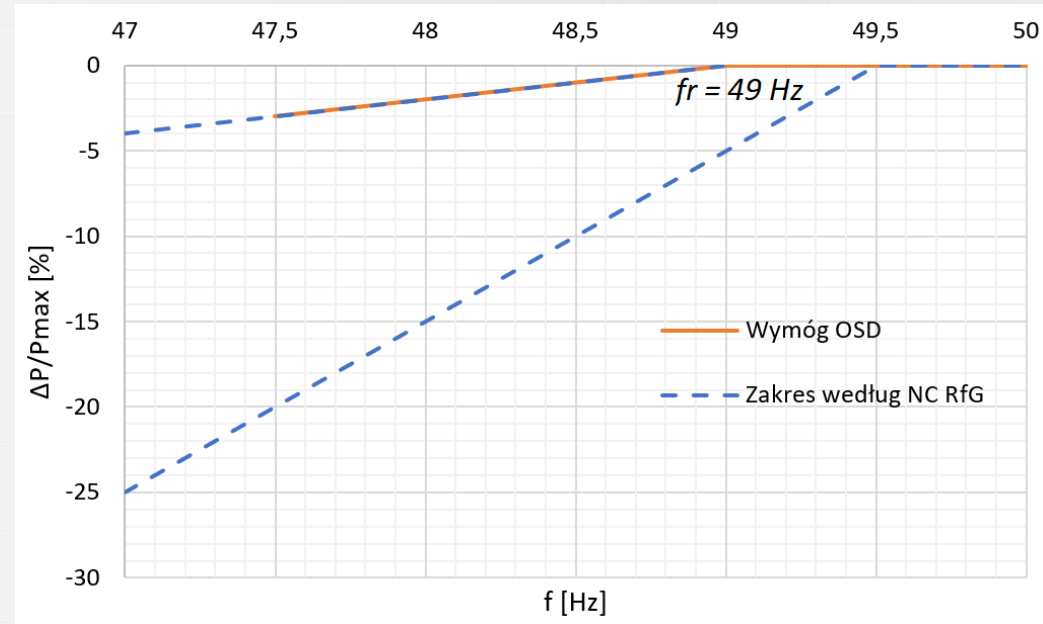
- **Zabezpieczenie nadczęstotliwościowe $f >$**
Wartość rozruchowa: 52 Hz; Czas opóźnienia: 0,3 s;
- **Zabezpieczenie od pracy wyspowej LoM - kryterium RoCoF df/dt**
Wartość rozruchowa: 2,5 Hz/s; Max. czas działania: 0,5 s;
- **Charakterystyka LFSM-O:**



Wartość rozruchowa: 50,2 Hz; Wartość statyzmu: 5%; Pref – rzeczywista wyjściowa moc czynna w momencie osiągnięcia progu LFSM-O

Bank nastaw

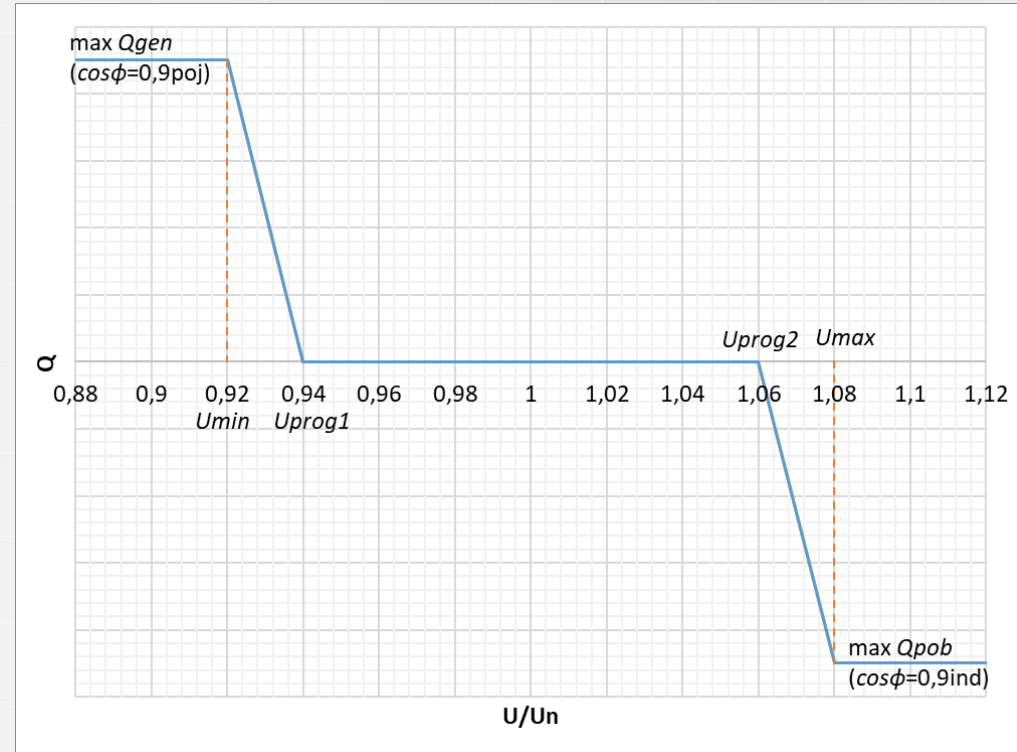
- Charakterystyka dopuszczalnej redukcji mocy:



Wartość rozruchowa: 49 Hz; Wartość redukcji mocy: 2% mocy maksymalnej na każdy 1 Hz spadku częstotliwości poniżej 49 Hz

Bank nastaw

- Charakterystyka sterowania mocą bierną w funkcji napięcia na zaciskach generatora (tryb Q(U)):

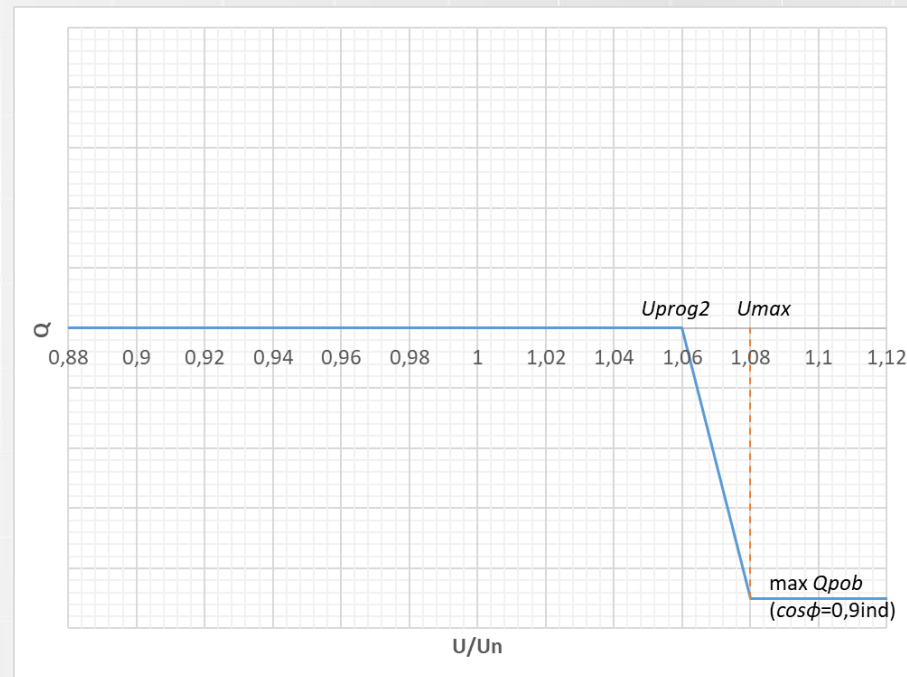


Punkty na charakterystyce: $\max Q_{pob} = -0,4843P$ (odpowiada $\cos\phi = 0,9_{ind}$);
 $\max Q_{gen} = 0,4843P$ (odpowiada $\cos\phi = 0,9_{poj}$); $U_{prog1} = 0,94U$ p.u.; $U_{prog2} = 1,06$
 U p.u. $U_{min} = 0,92 U$ p.u.; $U_{max} = 1,08U$ p.u.; statyzm = 2,222

Bank nastaw

- **Charakterystyka sterowania mocą bierną w funkcji napięcia na zaciskach generatora (tryb Q(U)):**

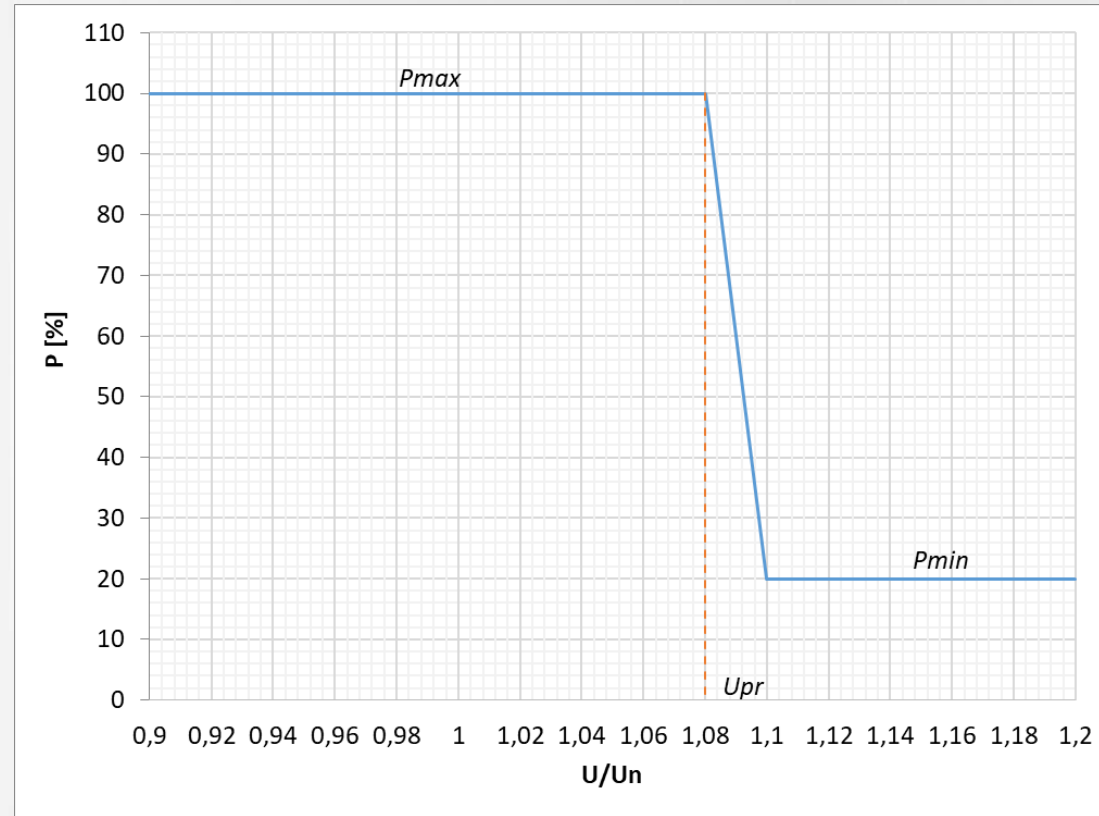
Dla falowników przyłączonych do sieci 1-fazowo możliwy kształt charakterystyki:



Punkty na charakterystyce: $\max Q_{pob} = -0,4843P$ (odpowiada $\cos\phi = 0,9ind$); $U_{prog2} = 1,06 U$ p.u. $U_{max} = 1,08U$ p.u.; statyzm = 2,222

Bank nastaw

- Charakterystyka sterowania mocą czynną w funkcji napięcia (tryb P(U)):



Punkty na charakterystyce: $U_{pr} = 1,08$ p.u.; statyzm = 2,5

- **Warunki automatycznego przyłączenia modułu wytwarzania energii do sieci (resynchronizacja z siecią):**

Spełnione muszą zostać łącznie wszystkie poniższe warunki:

- częstotliwość napięcia w przedziale 49 Hz – 50, 05 Hz,
- zwłoka czasowa wynosząca 60 s, liczona od czasu powrotu częstotliwości do przedziału 49 Hz – 50, 05 Hz,
- maksymalny przyrost generowanej mocy czynnej wynoszący 10% mocy maksymalnej na minutę.

Dla modułu wytwarzania typu B:

Wybór opcji w falowniku „Bank nastaw - Polska”, który automatycznie uruchomi i nastawi następujące zabezpieczenia i charakterystyki regulacyjne. **Ustawienia poziomów napięć działania zabezpieczeń powinny być w każdym przypadku zweryfikowane jako specyficzne dla obiektu - wartości progowe napięć w punkcie przyłączenia, przy których może nastąpić automatyczne odłączenie obiektu powinny być skorelowane z wartościami granicznymi napięć dopuszczalnymi przez właściwego Operatora Systemu w sieci SN, którą zarządza; dodatkowo:**

- ❖ nastawa zabezpieczeń podnapięciowych powinna być niższa niż minimalna wartość napięcia, przy której PGM (moduł wytwarzania energii) powinien zachować zdolność do pracy w sieci,
- ❖ nastawa zabezpieczeń nadnapięciowych powinna być wyższa niż maksymalna wartość napięcia, przy której PGM powinien zachować zdolność do pracy w sieci.

Dla modułu wytwarzania typu B:

Falowniki typu B powinny mieć aktywne funkcjonalności (wg ustalonej charakterystyki):

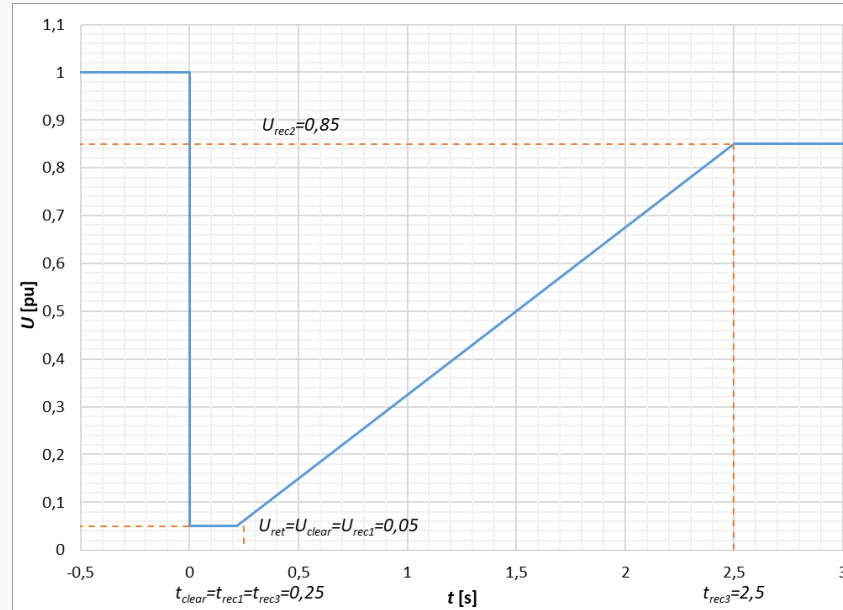
- ❖ FRT (ang. Fault Ride Through) - profil pozostawania w pracy podczas zwarcia dla modułu wytwarzania energii,
- ❖ zdolności do generacji dodatkowego, szybkiego prądu zwarciovego zabezpieczenie podnapięciowe nie powinno uniemożliwiać realizacji powyższych funkcjonalności.

Kryterium

Wymagana nastawa

Reakcja falownika

**Charakterystyka FRT
(ang. Fault Ride
Through) - profil
pozostawania w pracy
podczas zwarcia dla
modułu wytwarzania
energii**

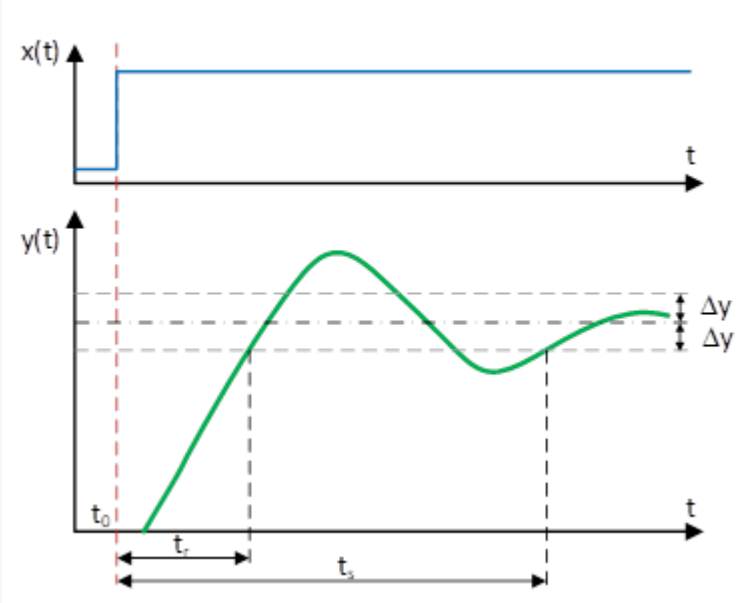


Parametry napięcia [pu]		Parametry czasu [s]	
U_{ret}	0,05	t_{clear}	0,25
U_{clear}	0,05	t_{rec1}	0,25
U_{rec1}	0,05	t_{rec2}	0,25
U_{rec2}	0,85	t_{rec3}	2,50

Pozostawanie w pracy
zgodnie z charakterystyką
napięciowo-czasową



<u>Kryterium</u>	<u>Wymagana nastawa</u>	<u>Reakcja falownika</u>
<p>PPM powinien być zdolny do generacji dodatkowego, szybkiego prądu zwarciovego</p>	<p>W przypadku wystąpienia zwarć poza instalacją wewnętrzną PPM, moduł wytwarzania energii powinien posiadać zdolność do generacji dodatkowego prądu biernego.</p> <p>1. Dla zwarć symetrycznych wsparcie prądem biernym powinno być:</p> <ul style="list-style-type: none">– proporcjonalne do zmiany składowej zgodnej napięcia w punkcie przyłączenia ΔU_1 spowodowanej zakłóceniem (wartością odniesienia jest wartość średnia składowej zgodnej napięcia za okres 1 minuty sprzed zakłócenia \overline{U}_1),– proporcjonalne do wartości współczynnika wzmocnienia K_1,– blokowane, gdy wartość składowej zgodnej napięcie jest większa niż wartość wyzwalania U_{trig} $\Delta I_{Q1} = K_1 \cdot \Delta U_1, \text{ gdzie: } \Delta U_1 = \begin{cases} 0 & \text{dla } U_1 \geq U_{trig} \\ \frac{U_1 - \overline{U}_1}{U_n} & \text{dla } U_1 < U_{trig} \end{cases}$ <p>gdzie:</p> <ul style="list-style-type: none">- $K_1 = 2$ (możliwość zmian K_1 w zakresie od 2 do 6 z krokiem 0,5),- $U_{trig} = 0,85 U_n$ (możliwość zmiany wartości U_{trig} w zakresie od 0,8 do 1,0 U_n),	<p>Generacja dodatkowego prądu biernego zgodnie z wymaganiami</p>

<u>Kryterium</u>	<u>Wymagana nastawa</u>	<u>Reakcja falownika</u>
<p>PPM powinien być zdolny do generacji dodatkowego, szybkiego prądu zwarciovego</p>	<p>Właściwości dynamiczne układu regulacji dodatkowym prądem biernym:</p> <ul style="list-style-type: none"> - czas odpowiedzi prądowej t_r na spadek napięcia – max. 30 ms, - czas ustalania odpowiedzi prądowej t_s – max. 60 ms, - dopuszczalna tolerancja odpowiedzi prądowej: od -10 % do +20%.  <p>Δy – dokładność układu regulacji,</p> <p>Nie definiuje się wymogów odnośnie wsparcia prądem biernym w przypadku wystąpienia napięć niższych niż 0,15 U_n</p>	<p>Generacja dodatkowego prądu biernego zgodnie z wymaganiami</p>



PPM powinien być zdolny do generacji dodatkowego, szybkiego prądu zwarciovego

2. Dla zwarć niesymetrycznych wsparcie prądem biernym powinno być zgodnie z zasadą superpozycji:

- składowej zgodnej dodatkowego prądu biernego, zgodnie z zasadami zdefiniowanymi dla zwarć symetrycznych,
- składowej przeciwnej dodatkowego prądu biernego, którego wartość jest proporcjonalna do zmiany składowej przeciwnej napięcia ΔU_2 (wartością odniesienia jest wartość średnia składowej przeciwnej napięcia za okres 1 minuty sprzed zakłócenia \overline{U}_2) i współczynnika wzmocnienia K_2 .

$$\Delta I_{Q2} = K_2 \cdot \Delta U_2, \text{ gdzie } \Delta U_2 = \frac{(U_2 - \overline{U}_2)}{U_n}$$

Dodatkowo:

- $K_2 = 2$ (możliwość zmian K_2 w zakresie od 2 do 6 z krokiem 0,5),
- prąd bierny ΔI_Q , będący sumą wektorów odpowiedzi składowej zgodnej i przeciwnej ($\Delta I_{Q1} + \Delta I_{Q2}$), nie powinien powodować przekroczenia dopuszczalnej wartości prądu fazowego w żadnej z faz,
- właściwości dynamiczne odpowiedzi prądowej – jak dla zwarć symetrycznych.

Generacja dodatkowego prądu biernego zgodnie z wymaganiami



Kryterium

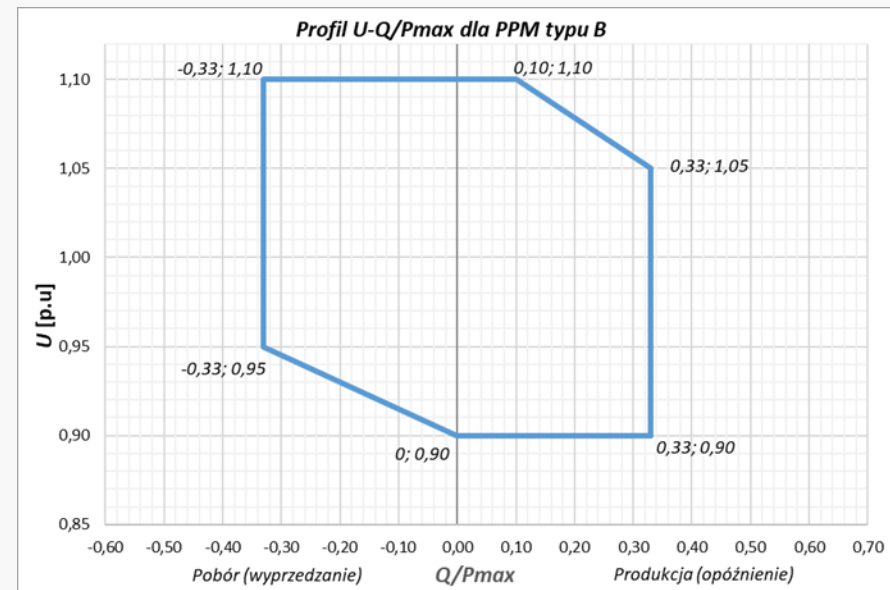
Wymagana nastawa

Reakcja falownika

Wymagania minimalne regulacji mocy biernej przedstawione na profilu U-Q/Pmax, gdzie U-Q/Pmax – wartość względna napięcia w zakresie zmian mocy biernej (Q) w stosunku do mocy maksymalnej (Pmax).

Możliwość zmiany mocy biernej w określonych granicach

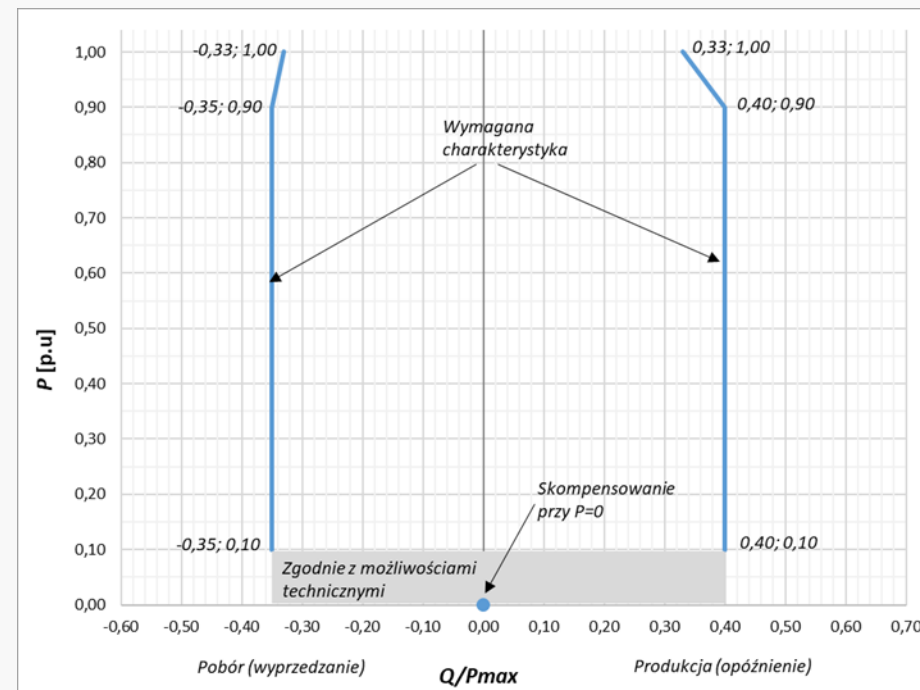
Charakterystyka sterowania mocą bierną w funkcji napięcia w punkcie przyłączenia
Charakterystyka U-Q/Pmax



KryteriumWymagana nastawaReakcja falownika

Charakterystyka sterowania mocą bierną w funkcji napięcia w punkcie przyłączenia
Charakterystyka U-Q/Pmax

W przypadku generacji przez Moduł Parku Energii mocy czynnej poniżej mocy maksymalnej, wymagana zdolność do zapewnienia mocy biernej w punkcie przyłączenia przedstawiono na rysunku:



gdzie: P - Q/P_{max} - stosunek rzeczywistej mocy czynnej PPM do mocy maksymalnej, względem stosunku mocy biernej (Q) do mocy maksymalnej (P_{max}).

Możliwość zmiany mocy biernej w określonych granicach



<u>Kryterium</u>	<u>Wymagana nastawa</u>	<u>Reakcja falownika</u>
<p>Charakterystyka sterowania mocą bierną w funkcji napięcia w punkcie przyłączenia</p> <p>Charakterystyka U-Q/Pmax</p>	<p>Uwagi:</p> <ul style="list-style-type: none">❖ Przy obciążeniu PPM mocą czynną poniżej 0,1 mocy maksymalnej należy udostępnić całą dostępną moc bierną, zgodnie z możliwościami technicznymi,❖ PPM musi posiadać zdolności techniczne do skompensowania mocy biernej w punkcie przyłączenia przy braku generacji mocy czynnej.❖ Jeżeli wymagana jest praca przy napięciu poniżej 0,9 pu w punkcie przyłączenia, wówczas PPM powinien udostępnić całą dostępną moc bierną, zgodnie ze swymi możliwościami technicznymi.	<p>Możliwość zmiany mocy biernej w określonych granicach</p>

Wnioski ogólne

- ❑ Na podstawie rozmów przeprowadzonych z producentami/dystrybutorami inwerterów, z instalatorami instalacji PV a także przeszukując branżowe fora internetowe stwierdzamy, że obecnie obowiązujące przepisy i wymagania odnośnie kryteriów zabezpieczeniowych oraz charakterystyk regulacyjnych zaimplementowanych w falownikach (w wielu przypadkach) nie są respektowane. Pierwszym problemem są zabezpieczenia i charakterystyki, które muszą być ustawione przez instalatorów w momencie uruchamiania instalacji.

Wnioski ogólne

- ❑ Zdarza się, iż instalatorzy instalacji PV błędnie konfigurują inwertery. Ten problem można prosto wyeliminować – załączając w inwerterze „Bank nastaw - Polska”. Wtedy wszystkie wartości rozruchowe kryteriów zabezpieczeniowych oraz charakterystyki będą uruchamiały się automatycznie z wymaganymi parametrami.
- ❑ Drugim problemem jest poszukiwanie przez użytkowników instalacji PV kodów dostępowych do inwerterów, celem nieuprawnionych zmian nastaw parametrów sieci, zabezpieczeń czy charakterystyk regulacyjnych. W sieci można znaleźć gotowe instrukcje jak można poradzić sobie z wyłączającymi się inwerterami. **Poszczególni OSD mają ograniczone możliwości skutecznego reagowania na wykryte nieprawidłowości.**



Politechnika
Wrocławska

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ