



Badania odporności falowników fotowoltaicznych na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu

dr inż. Andrzej Firlit

dr inż. Krzysztof Chmielowiec
dr inż. Szymon Barcentewicz

dr inż. Mateusz Dutka

Aleks Piszczek
mgr inż. Łukasz Topolski



Zapady napięcia, przerwy w zasilaniu, ... zdarzenia ... wszyscy doświadczamy ...



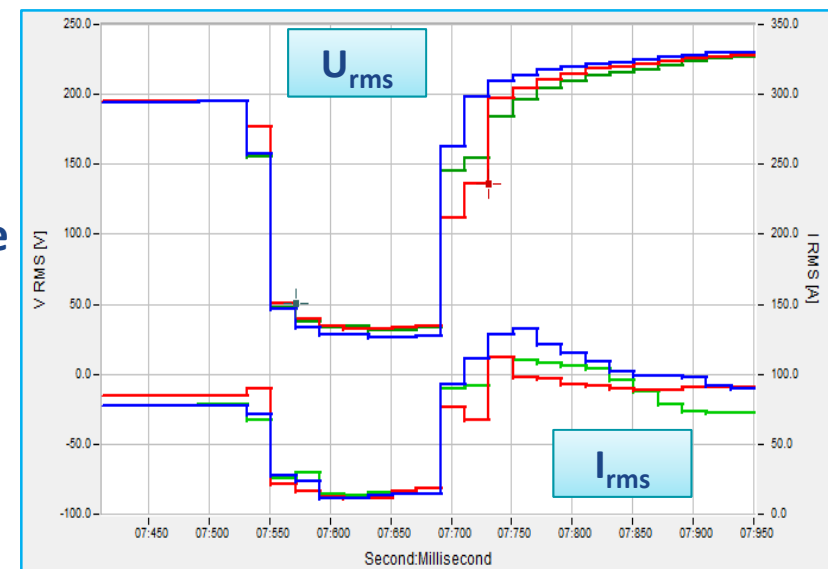
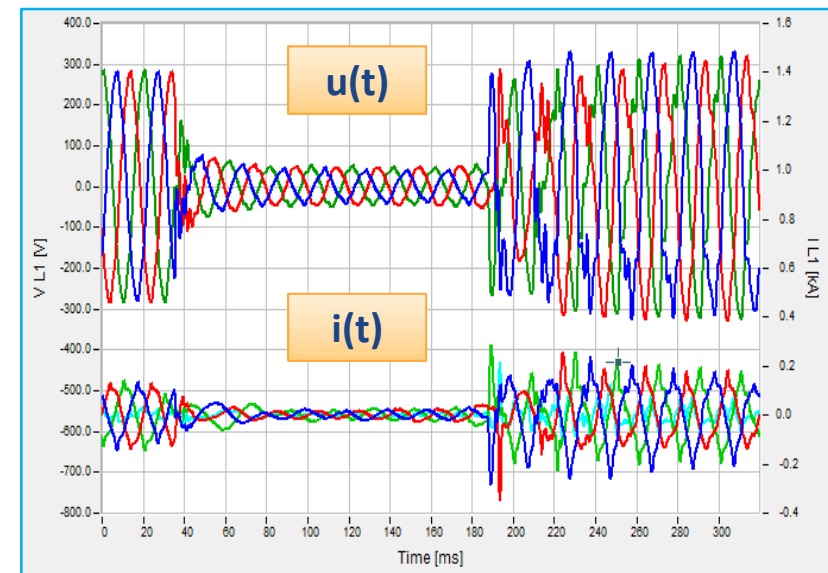
PN-EN 50160

Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych
(klasyfikacja zapadów napięcia)

zapad napięcia – czasowe zmniejszenie się wartości skutecznej napięcia w danym punkcie systemu elektroenergetycznego poniżej określonego progu początku ($90\%U_n$, czyli dla 207 V dla $U_n = 230$ V, czas trwania: 10 ms – 60 sekund, zjawisko losowe: ok. kilkadziesiąt–1000/rok)

przerwa w zasilaniu – stan, w którym napięcie w miejscu dostarczania jest mniejsze niż 5% napięcia referencyjnego (krótkie przerwy w zasilaniu do 3 min włącznie, zjawisko losowe)

Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego – **mikroprzerwy do 1 sekundy**



zapad symetryczny

Zapady napięcia, przerwy w zasilaniu, ... zdarzenia ... wszyscy doświadczamy



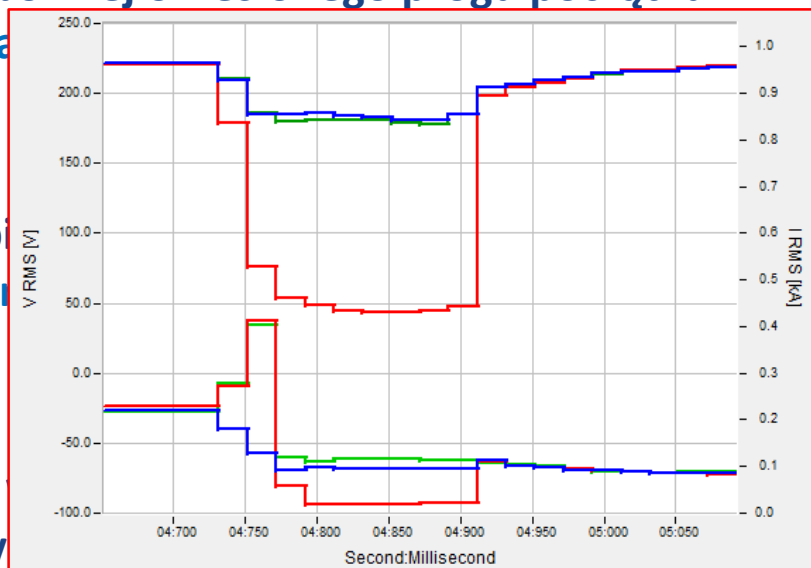
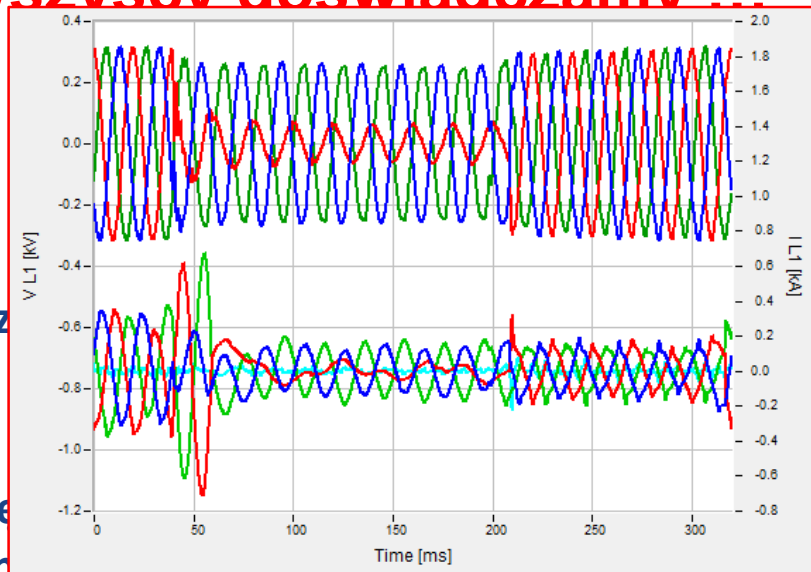
PN-EN 50160

Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych
(klasyfikacja zapadów napięcia)

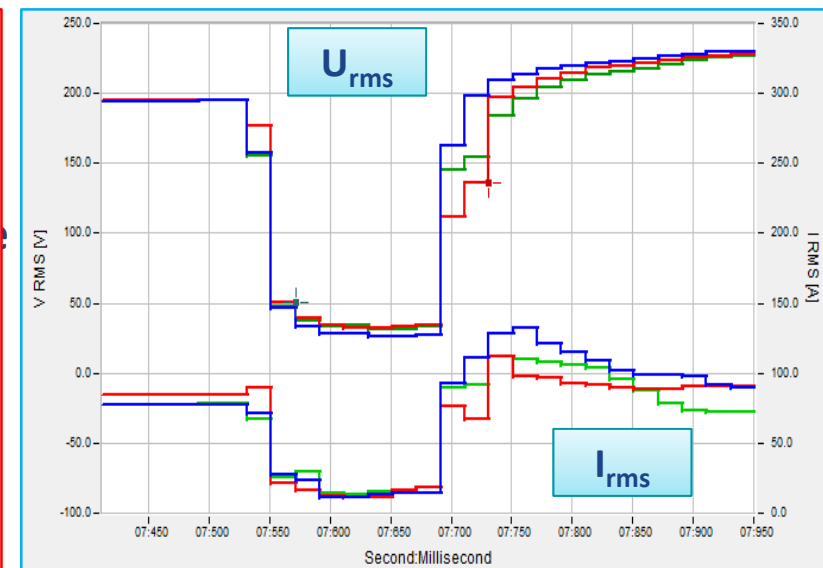
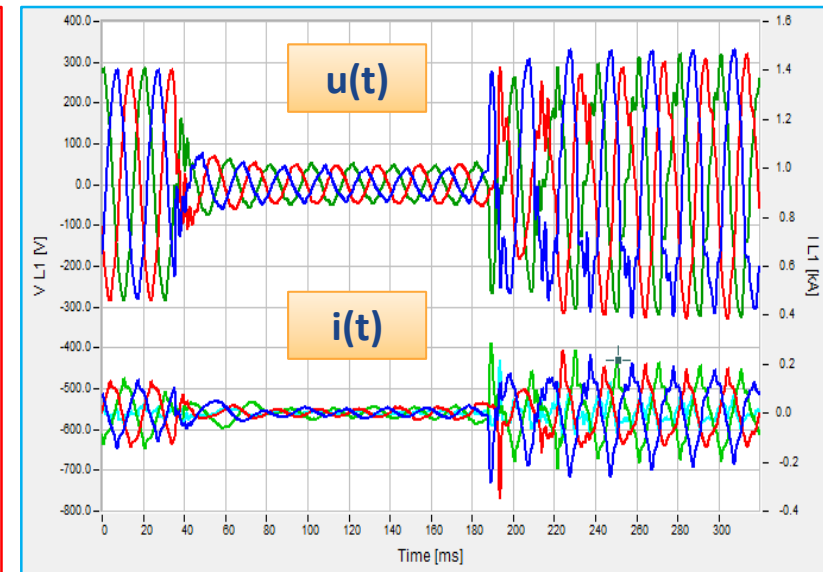
zapad napięcia – czasowe zmniejszenie się napięcia w punkcie systemu elektroenergetycznego poniżej 90% U_n , czyli dla 207 V dla $U_n = 230$ V, czas trwania: losowe: ok. kilkadziesiąt–1000/rok)

przerwa w zasilaniu – stan, w którym napięcie spada poniżej 5% napięcia referencyjnego (krótkie przerwy, zjawisko losowe)

Rozporządzenie Ministra Gospodarki
funkcjonowania systemu elektroenergetycznego



zapad asymetryczny



zapad symetryczny

PN-EN 50549-1

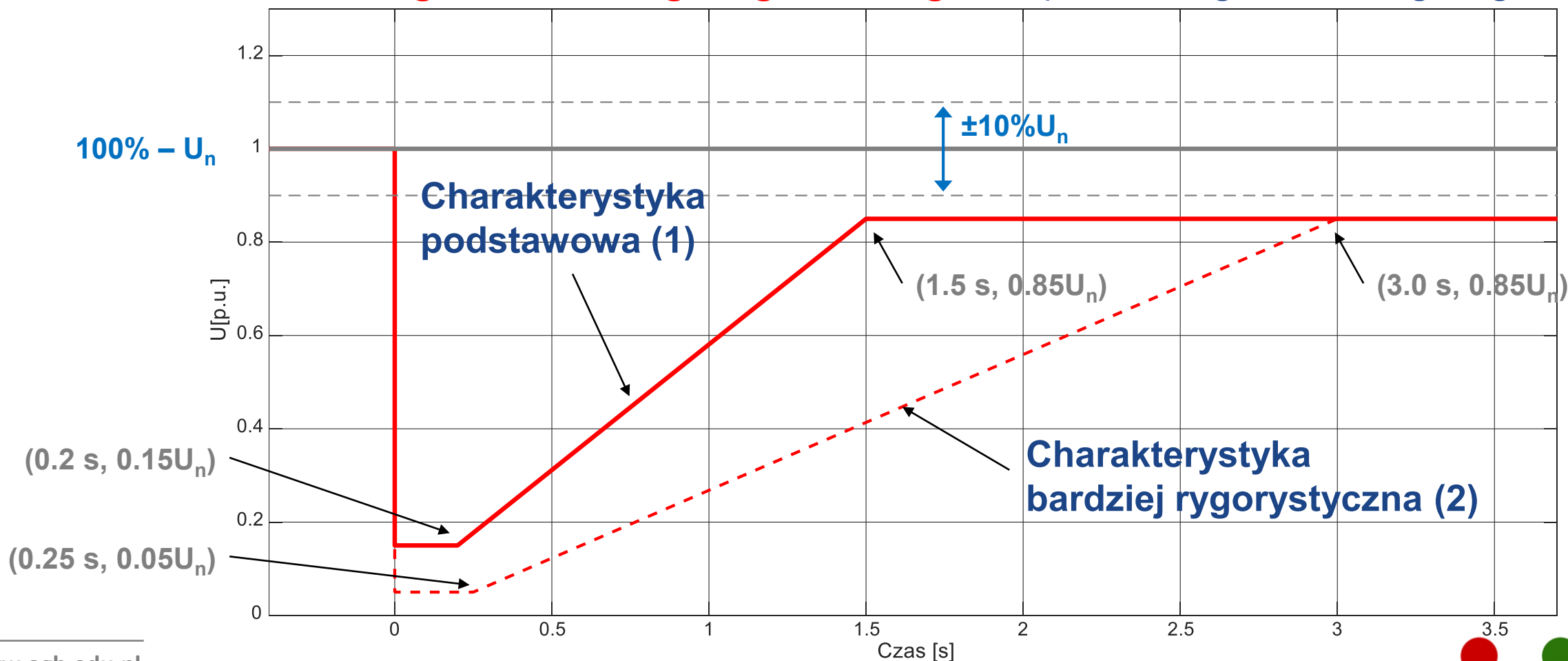
Wymagania dla instalacji wytwórczych przeznaczonych do równoległego przyłączania do publicznych sieci dystrybucyjnych

- Część 1: Przyłączanie do sieci dystrybucyjnej nN
- Instalacje wytwórcze aż do typu B włącznie



UVRT – ang. Under-Voltage Right Through

(LVRT – ang. Low-Voltage Right Through)



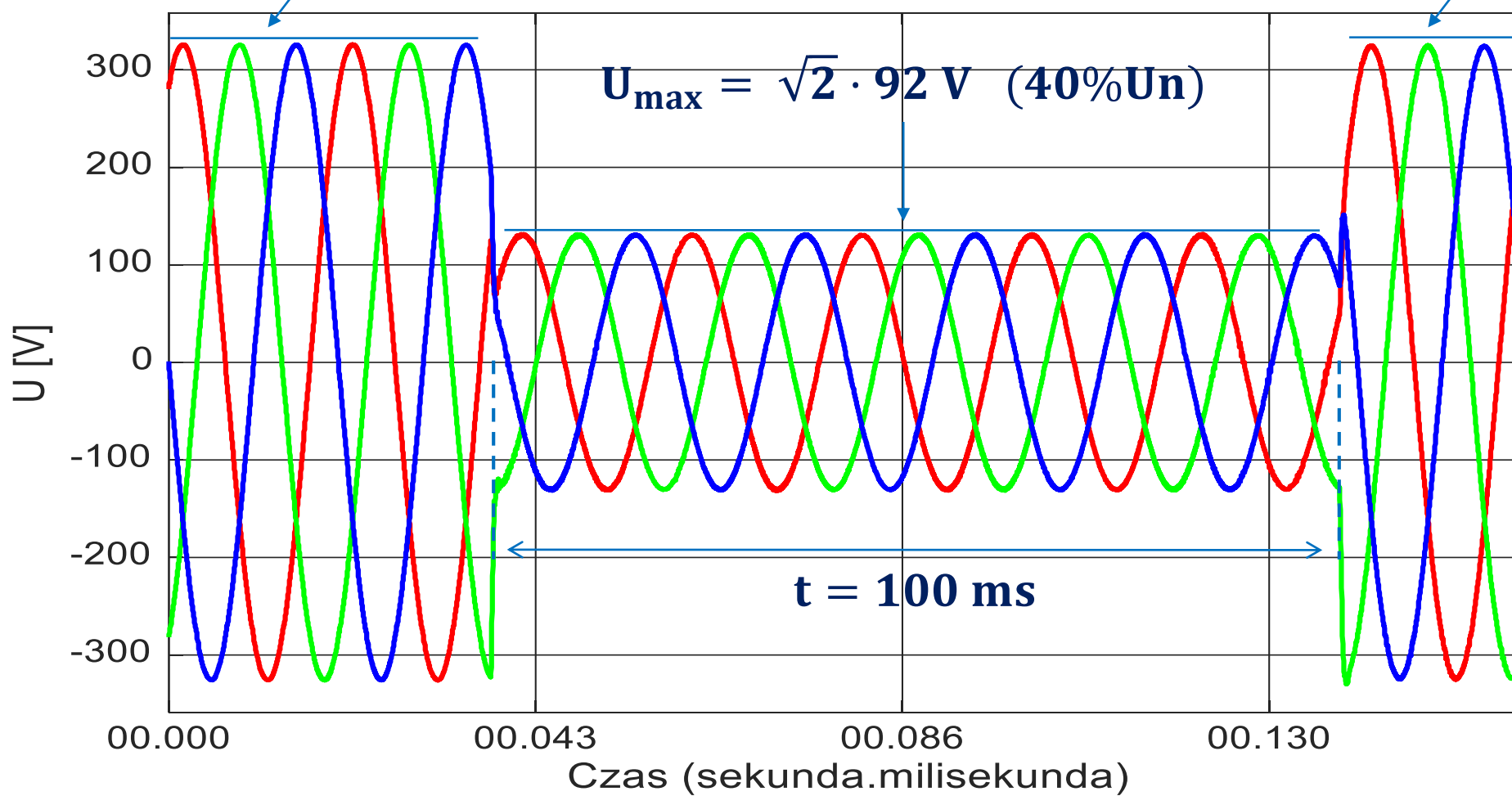
Badania – zapad napięcia

Wartość chwilowa napięcia



$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot 230 \text{ V}$$

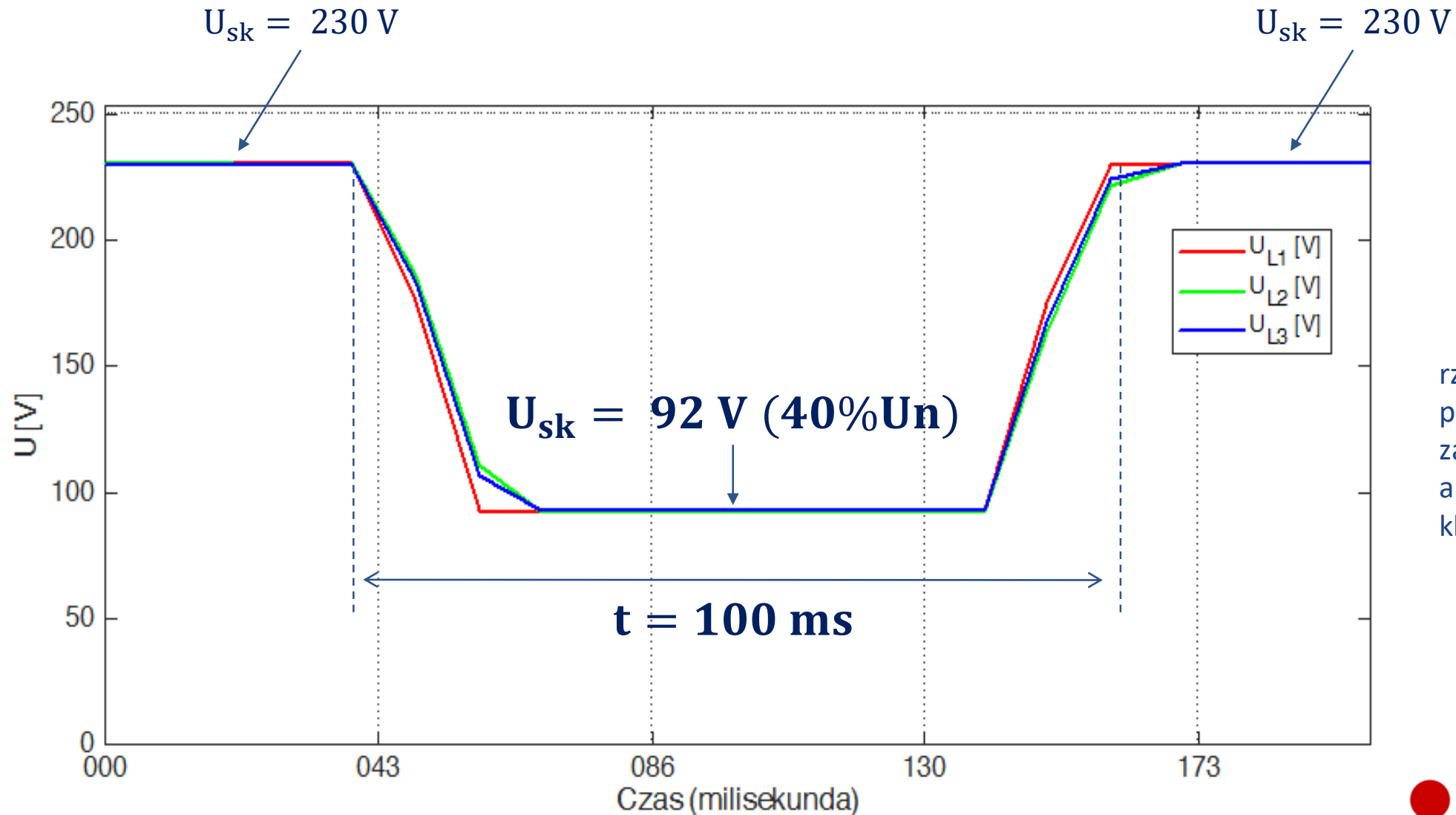
$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot 230 \text{ V}$$



rzeczywiste
przebiegi
zarejestrowane
analizatorem JEE
klasy A

Badania – zapad napięcia

Wartość skuteczna napięcia



rzeczywiste
przebiegi
zarejestrowane
analizatorem JEE
klasy A



Badania – Zapady napięcia i mikroprzerwy w zasilaniu

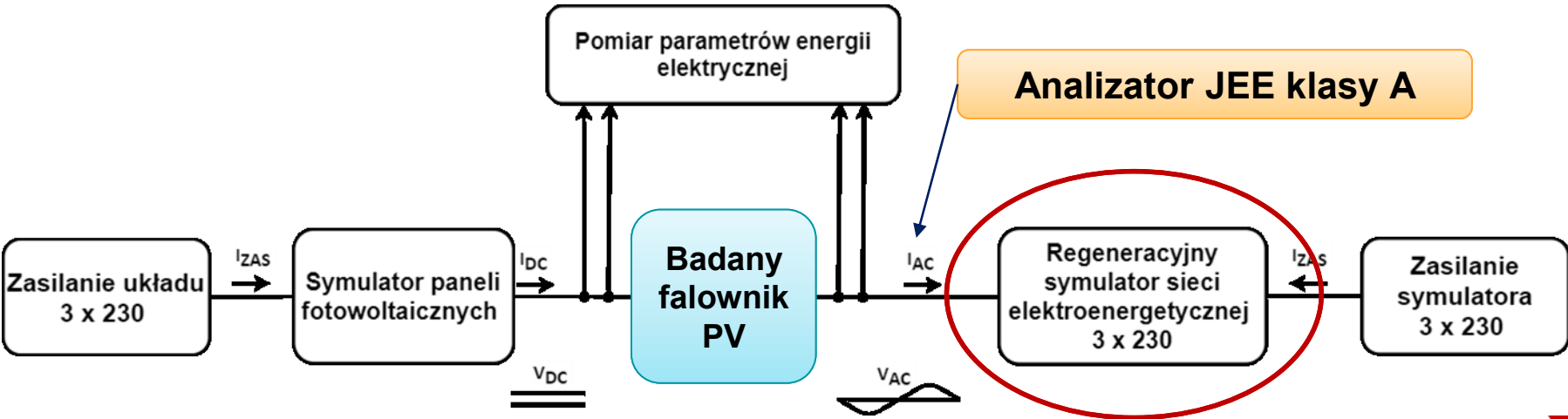
UVRT - Norma PN-EN 50549-1 - Opis testu

Testowano wpływ zapadów napięcia i krótkich przerw w zasilaniu na pracę falowników PV.

W czasie testów falowniki pracowały w warunkach **50% mocy znamionowej**.

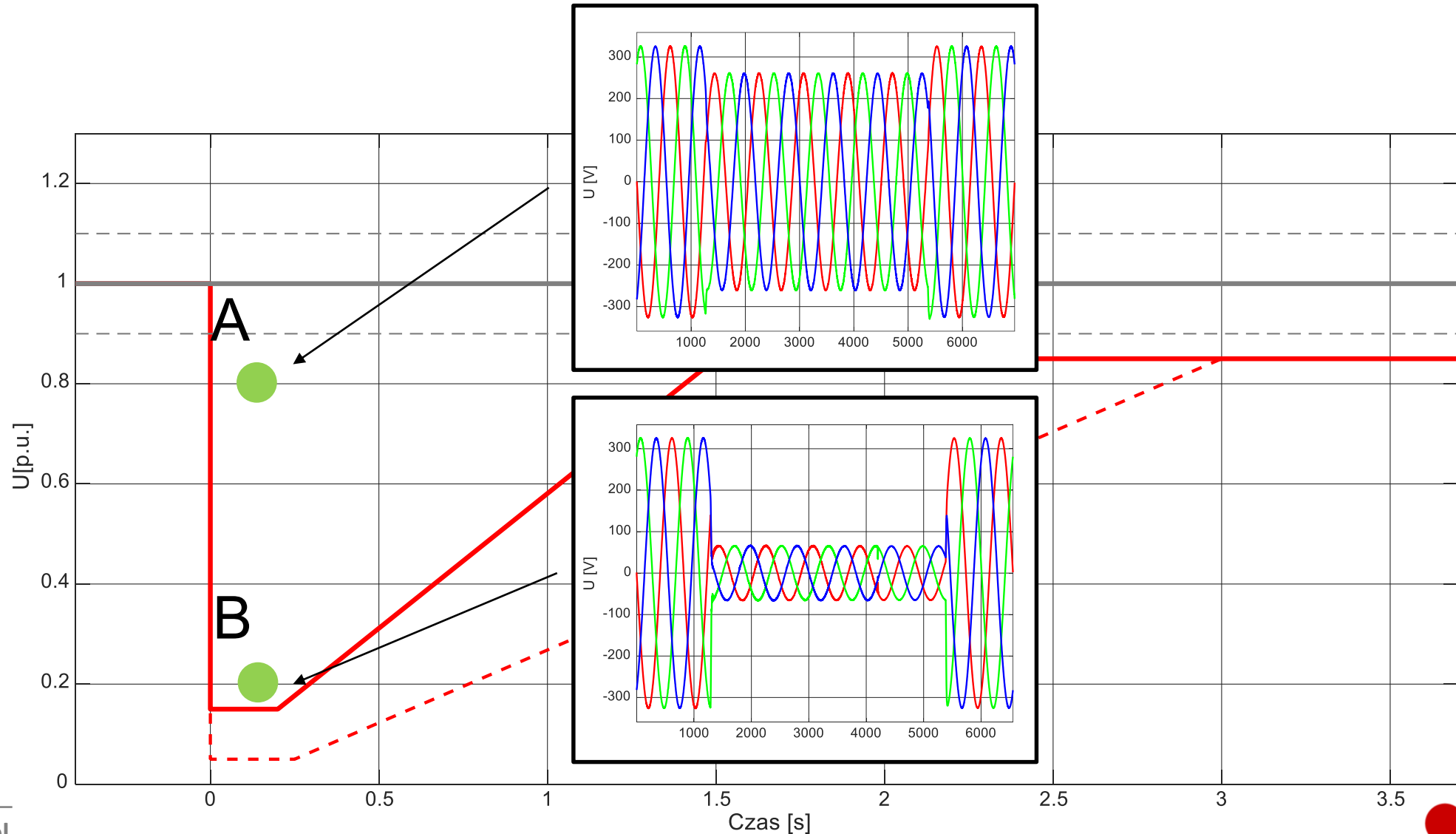
Zapady napięcia zostały zróżnicowane co do czasu trwania oraz ich głębokości.

Czas	ms	100	200	300	500	1000	1500	2000	7 x 11 = 55 testów			
U	pu	0,9	0,85	0,80	0,60	0,40	0,20	0,15	0,10	0,05	0,02	0
	V	207	195,5	184	138	92	46	34,5	23	11,5	4,6	0

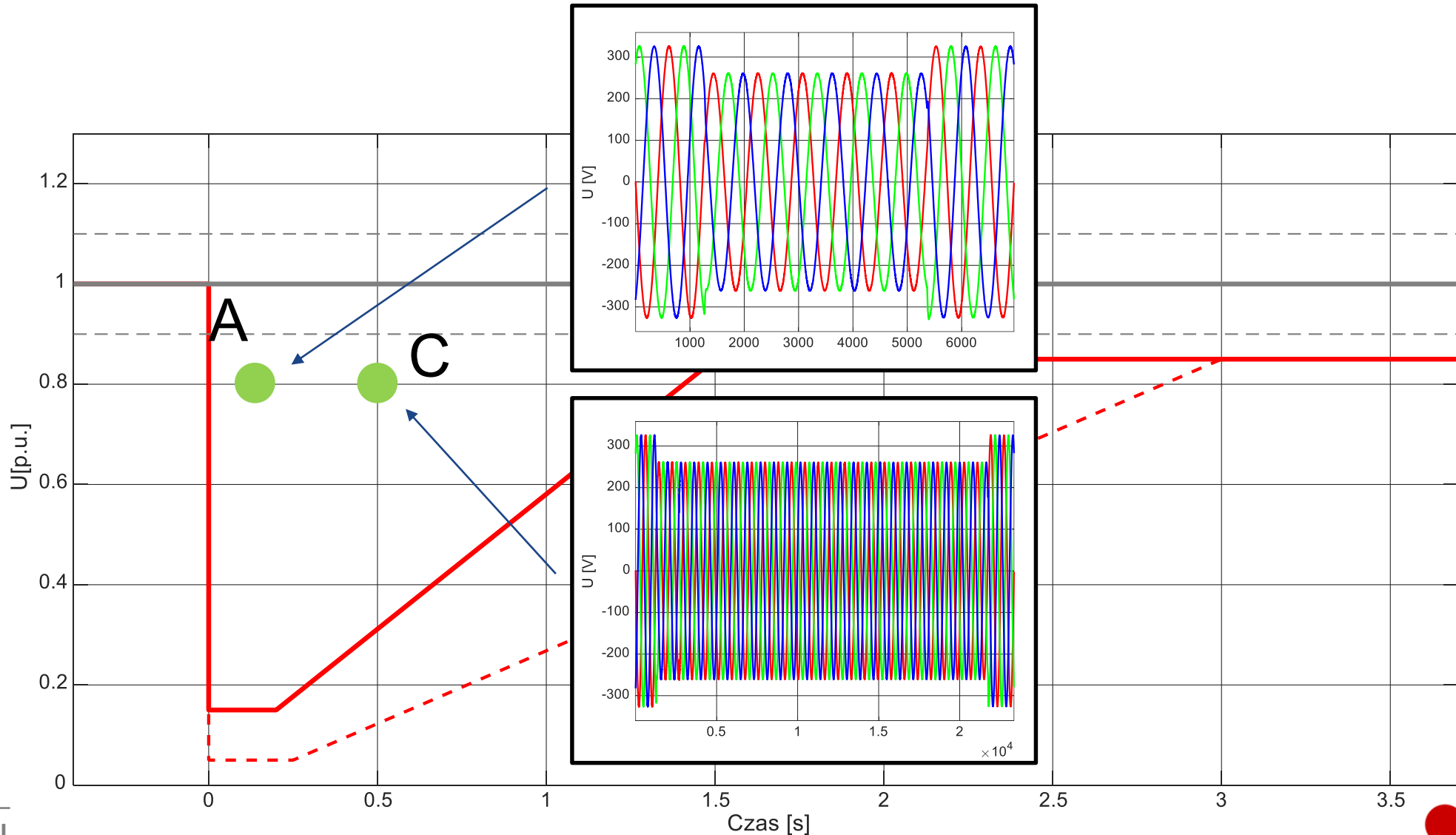


Badania – Zapady napięcia i mikroprzerwy w zasilaniu

UVRT - Norma PN-EN 50549-1



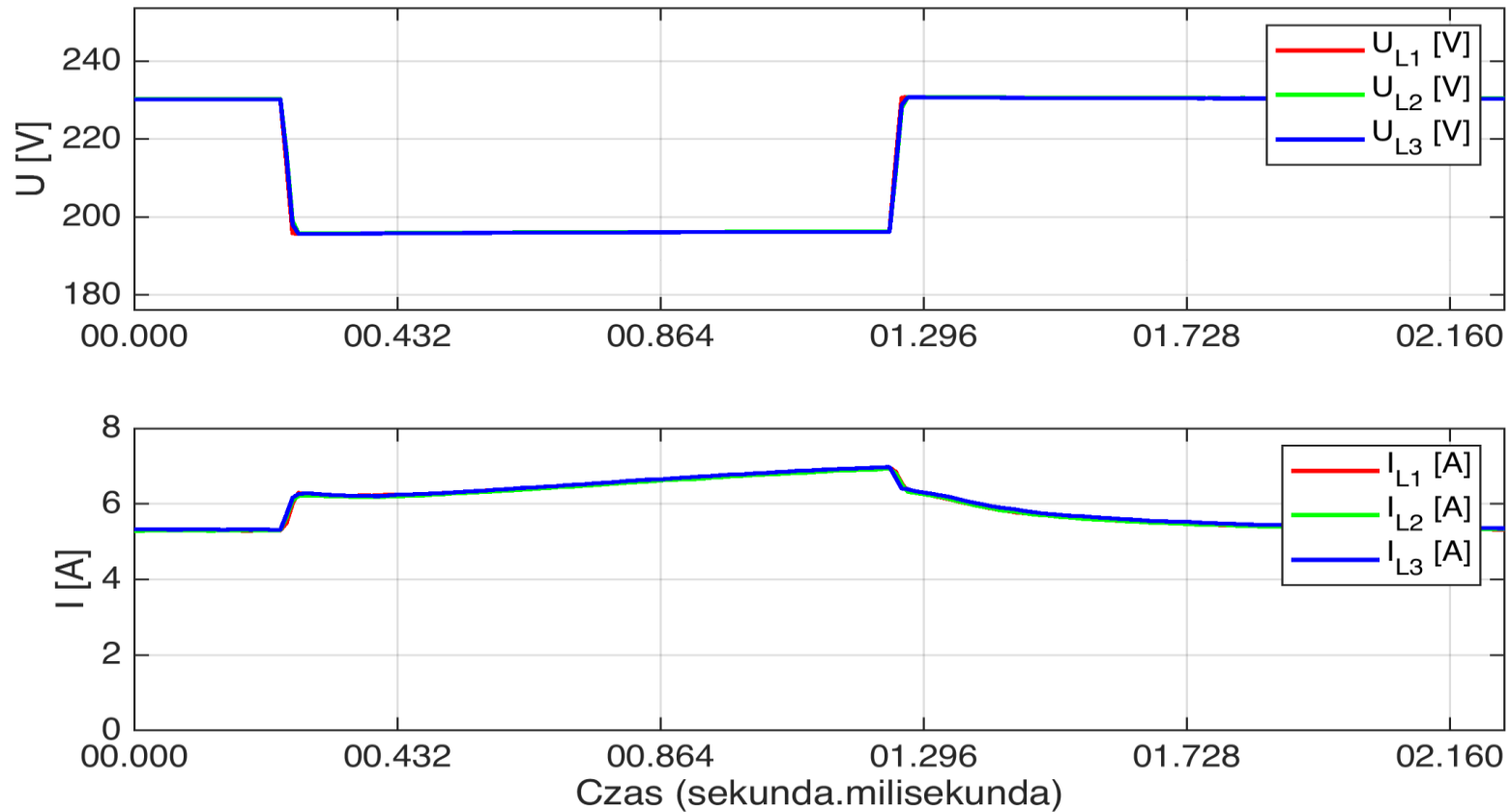
Badania – Zapady napięcia i mikroprzerwy w zasilaniu UVRT - Norma PN-EN 50549-1



Badania – Zapady napięcia i mikroprzerwy w zasilaniu UVRT - Norma PN-EN 50549-1



 – praca falownika PV – stan zielony



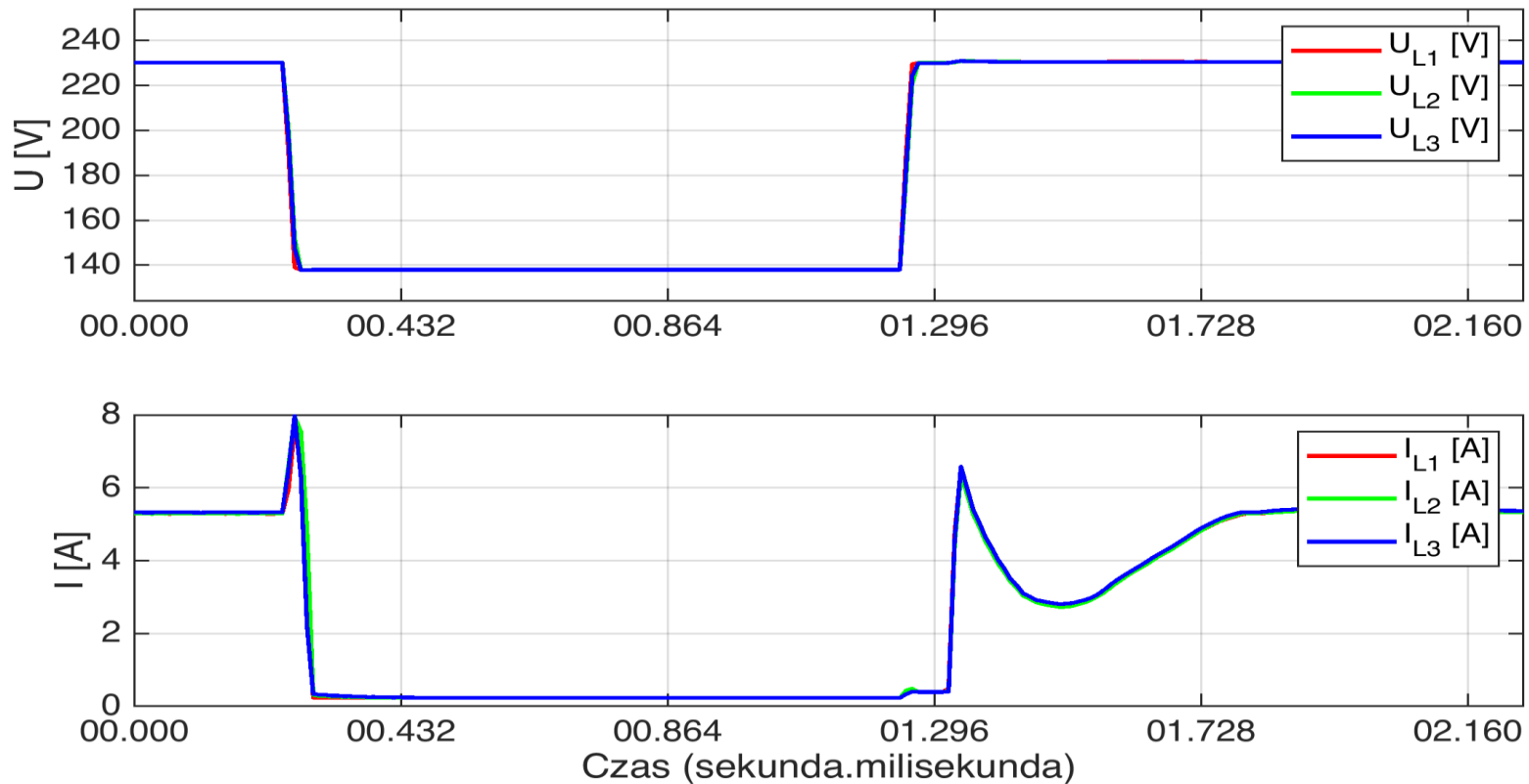
rzeczywiste
przebiegi
zarejestrowane
analizatorem JEE
klasy A



Badania – Zapady napięcia i mikroprzerwy w zasilaniu UVRT - Norma PN-EN 50549-1



– zmniejszenie prądu do ~ 0 A oraz powrót do wartości „sprzed” zapadu
– stan żółty



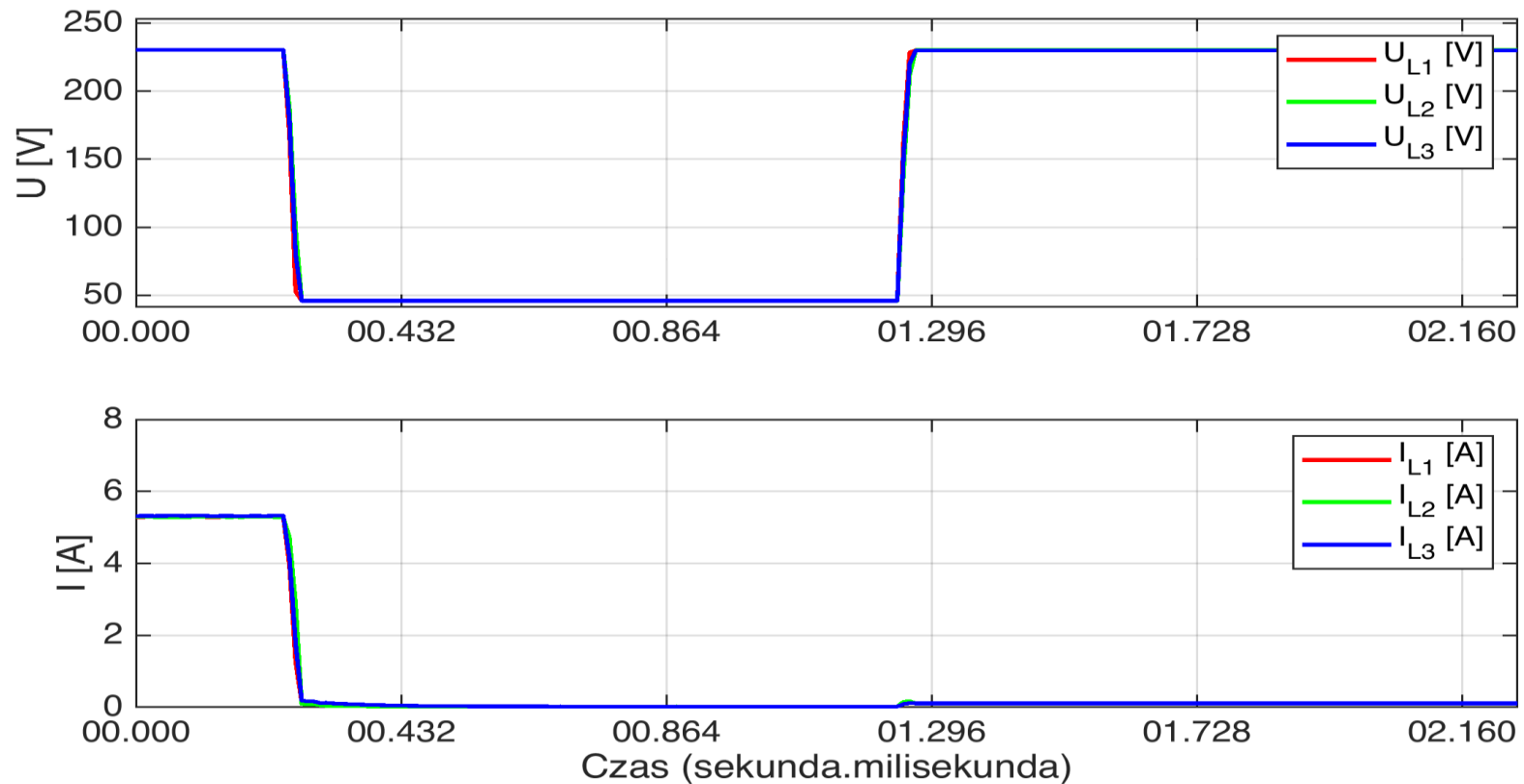
rzeczywiste
przebiegi
zarejestrowane
analizatorem JEE
klasy A



Badania – Zapady napięcia i mikroprzerwy w zasilaniu UVRT - Norma PN-EN 50549-1



 – „wyłączenie awaryjne” falownika PV – **stan czerwony**



rzeczywiste
przebiegi
zarejestrowane
analizatorem JEE
klasy A

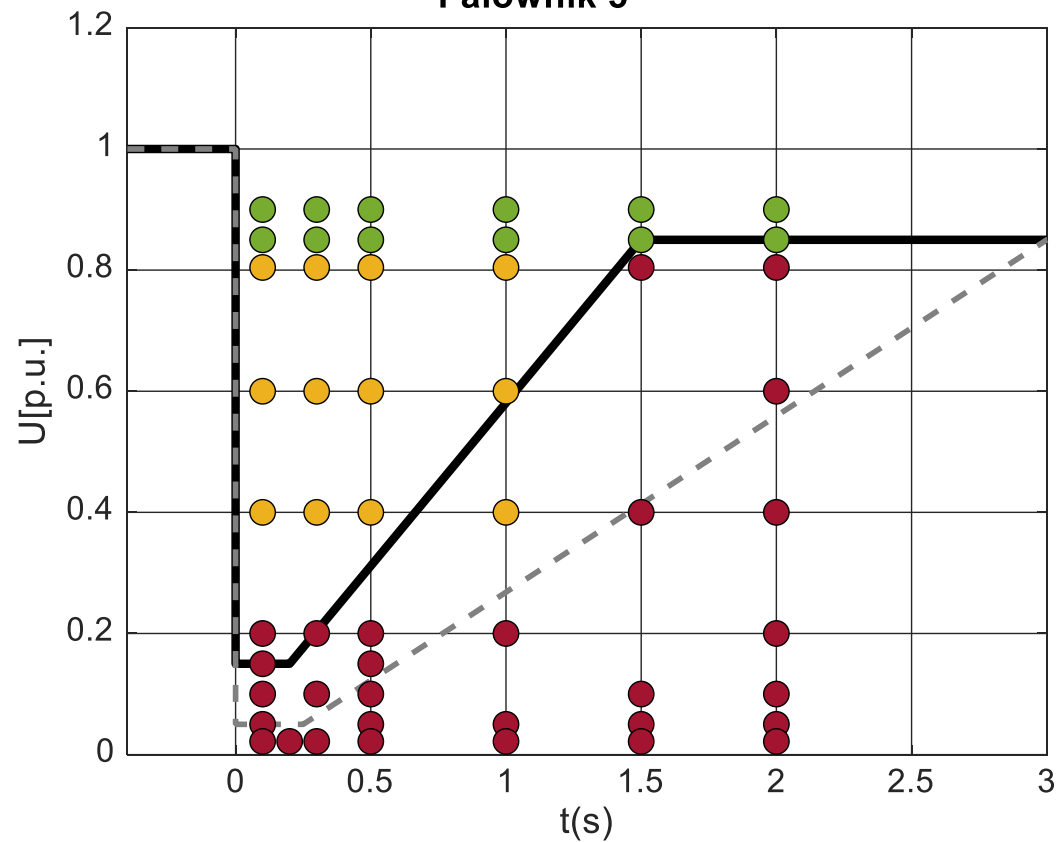


Wyniki testów dla przykładowych falowników

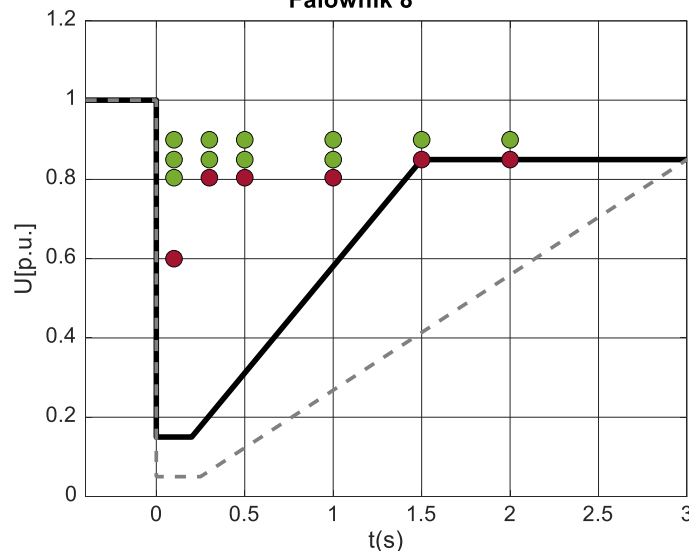
Brak spełnienia zaleceń PN-EN 50549-1



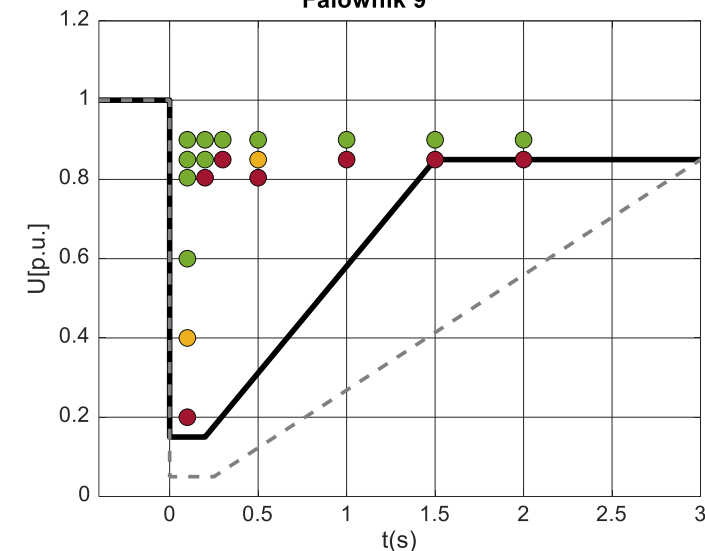
Falownik 5



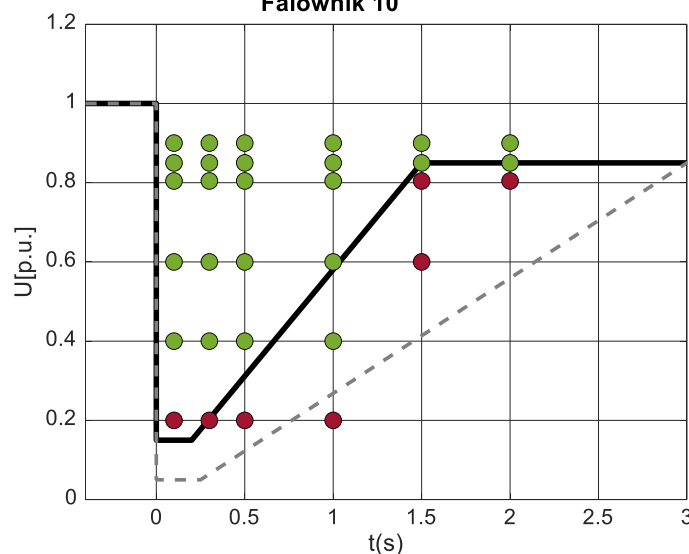
Falownik 8



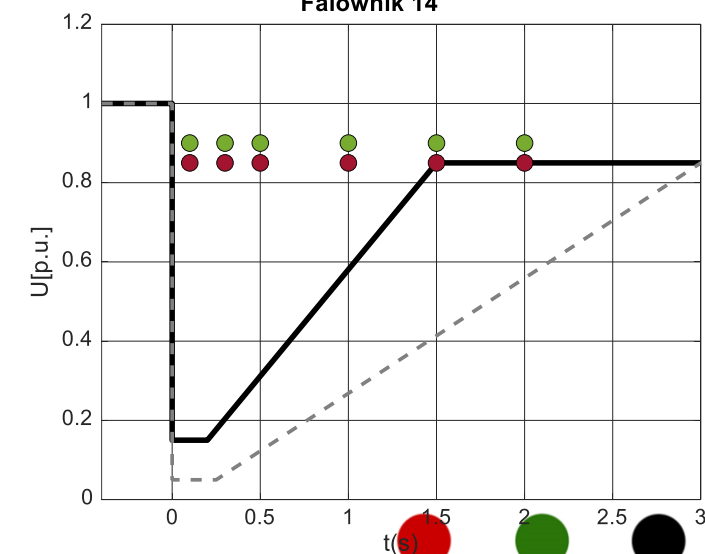
Falownik 9



Falownik 10



Falownik 14

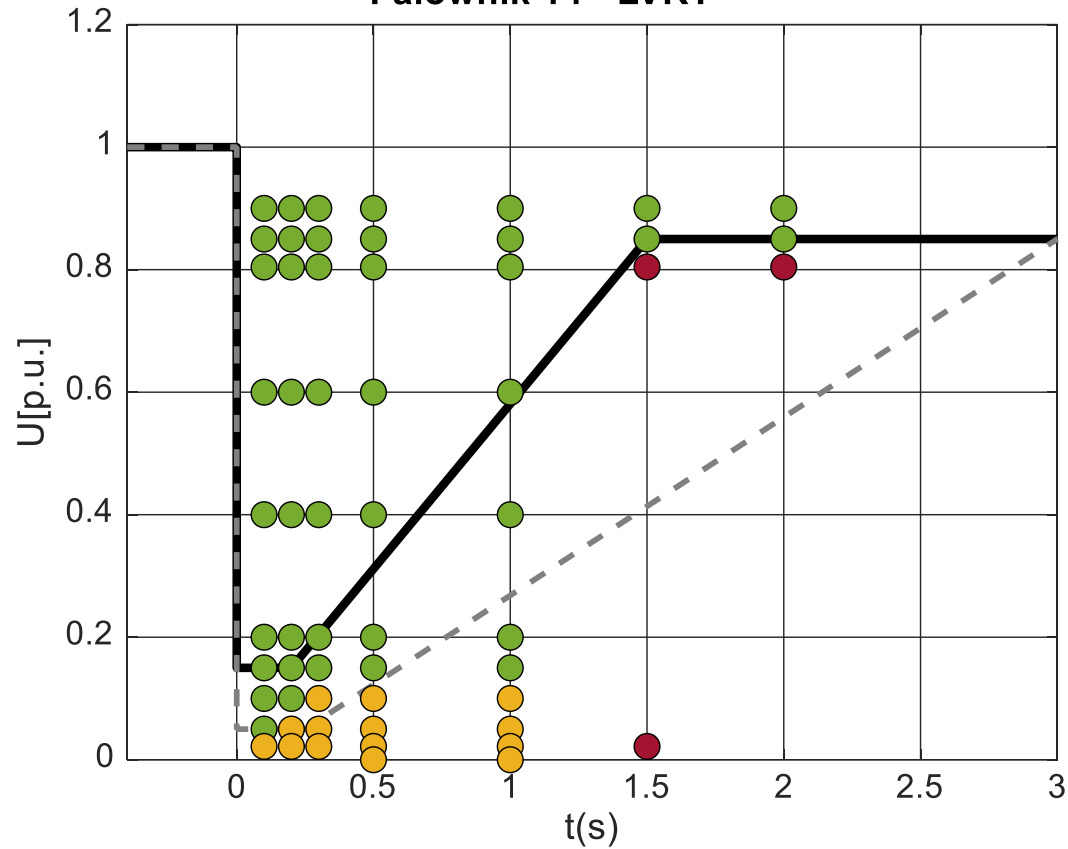


Wyniki testów dla przykładowych falowników

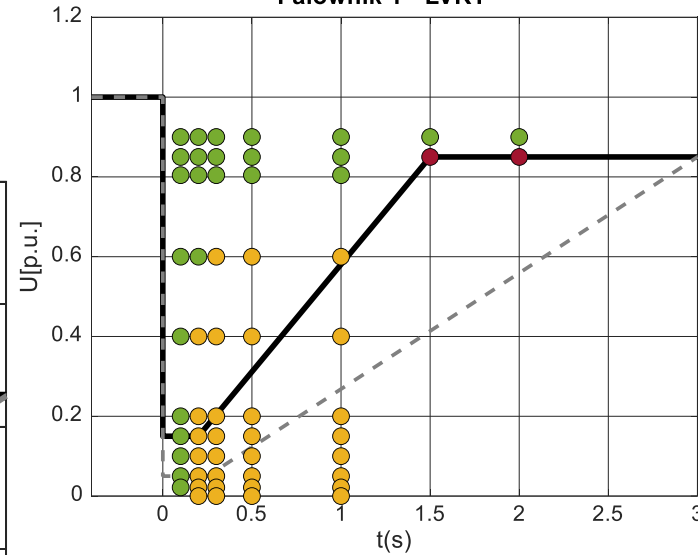
Spełnienie zaleceń PN-EN 50549-1



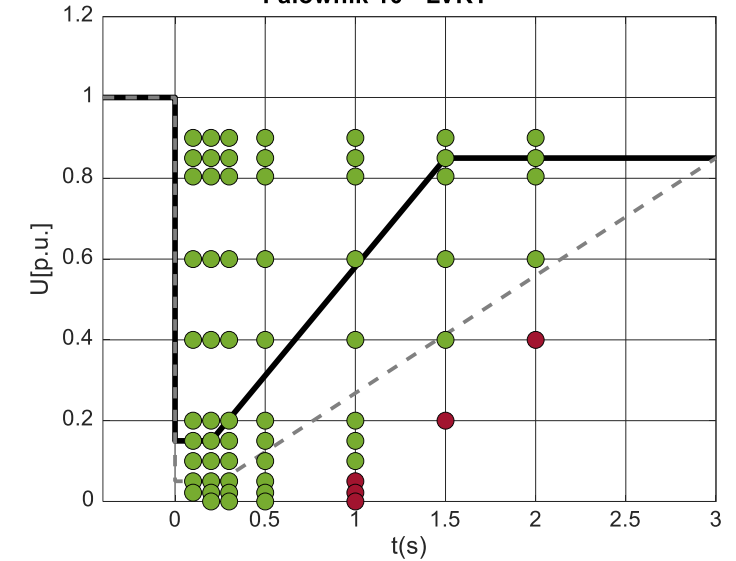
Falownik 14 - LVRT



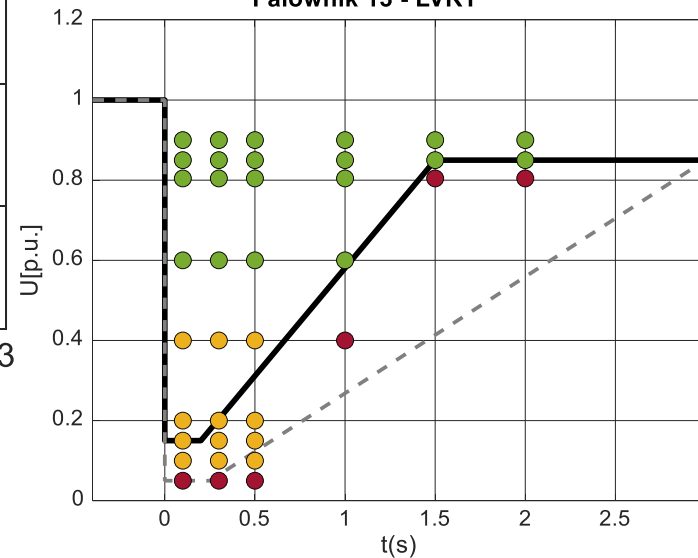
Falownik 1 - LVRT



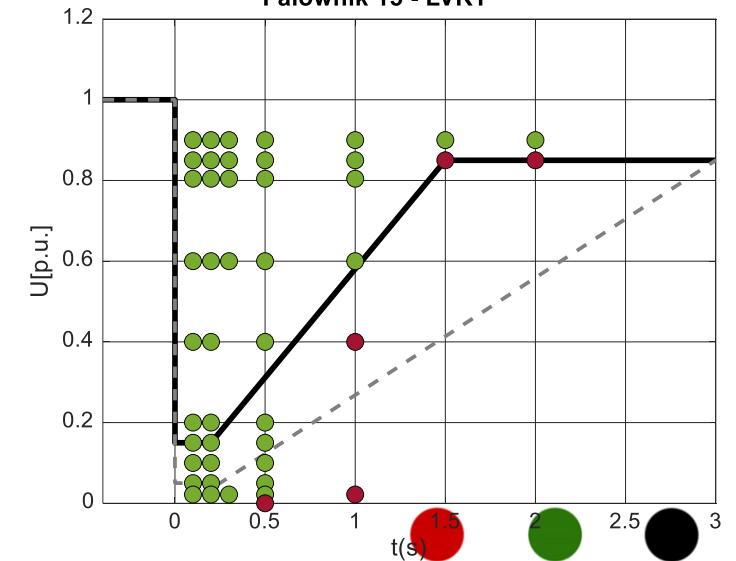
Falownik 10 - LVRT



Falownik 13 - LVRT

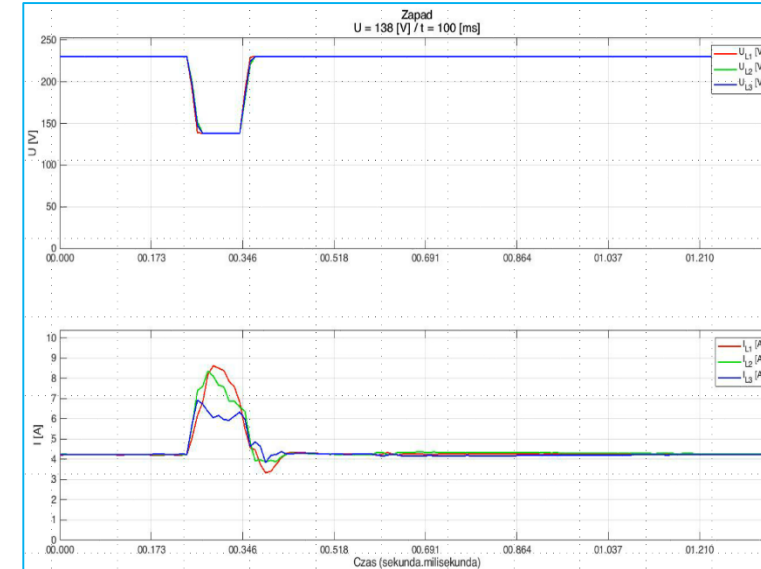
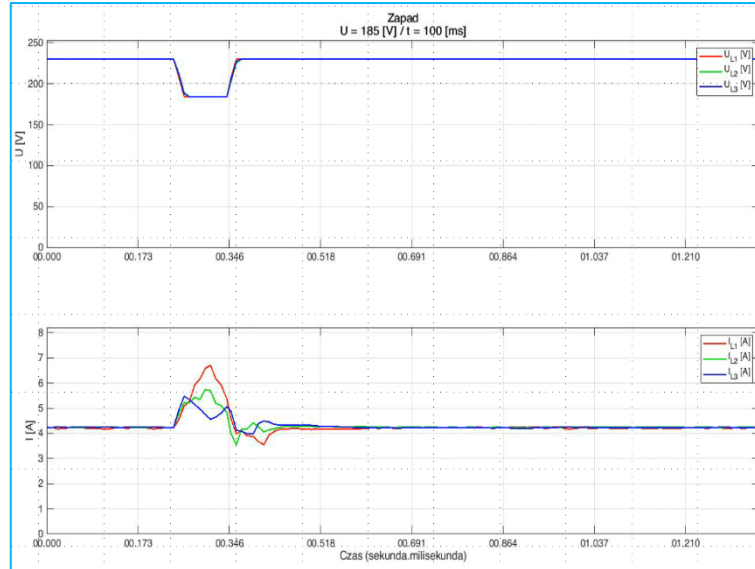


Falownik 15 - LVRT



Badania – Zapady napięcia i mikroprzerwy w zasilaniu

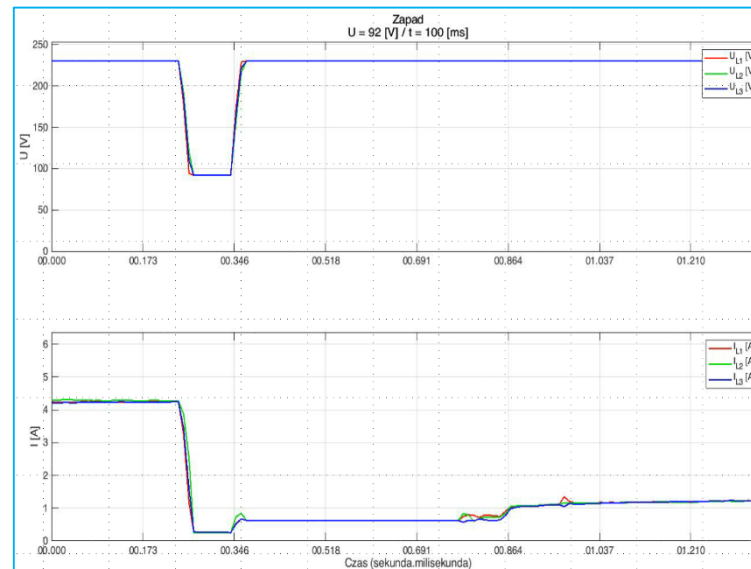
UVRT – case study – napięcie, prąd – falownik 16



stały czas zapadu
100 ms

obniżanie napięcia
resztkowego

~92 V – stan
czerwony



rzeczywiste
przebiegi
zarejestrowane
analizatorem JEE
klasy A



Badania – Zapady napięcia i mikroprzerwy w zasilaniu

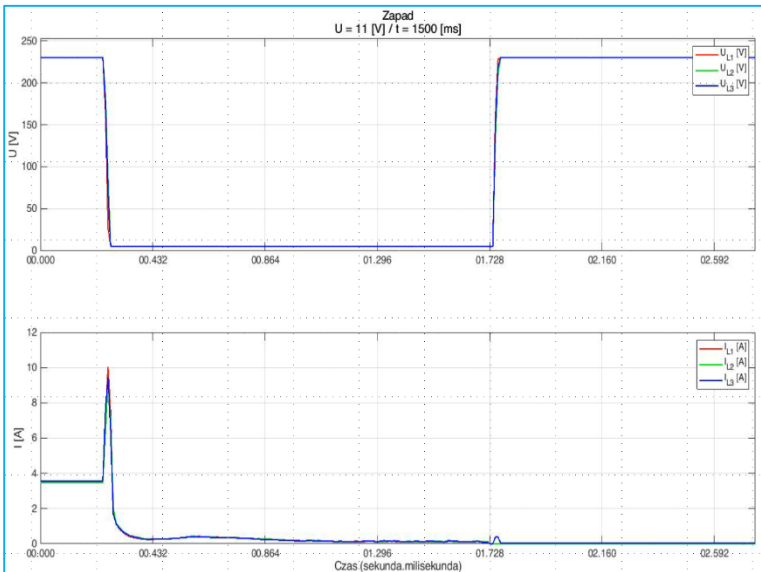
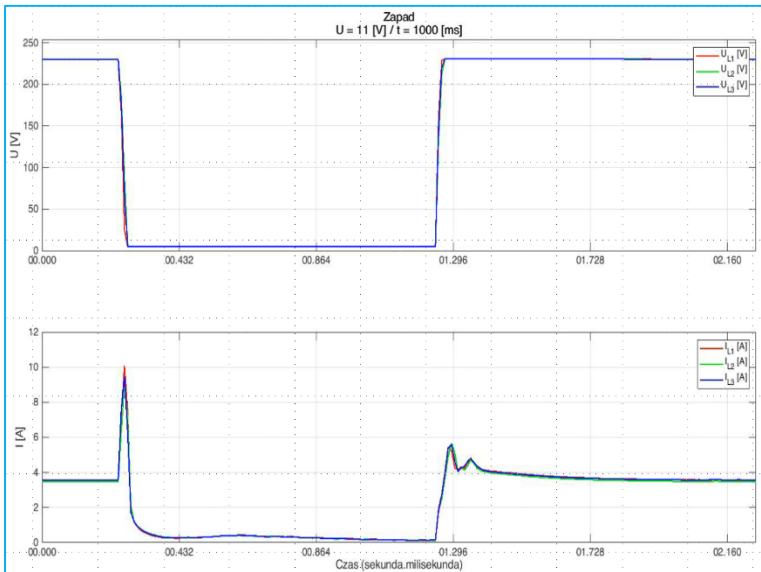
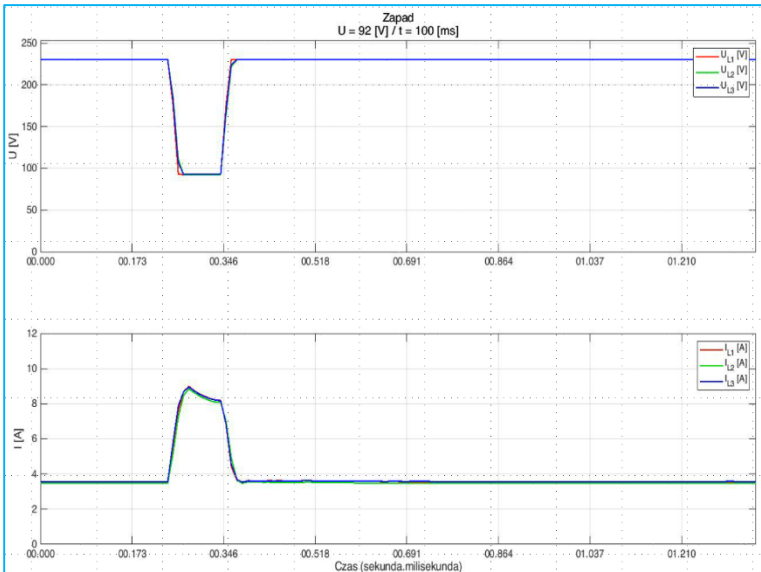
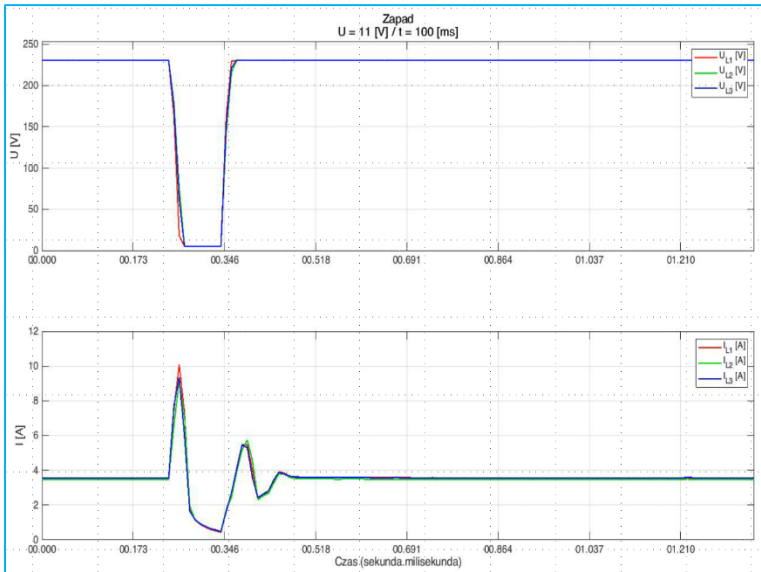
UVRT – case study – napięcie, prąd – falownik 14



obniżanie napięcia
resztkowego

wydłużanie czasu
trwania zdarzenia

~11 V, ~1500 ms
– stan czerwony

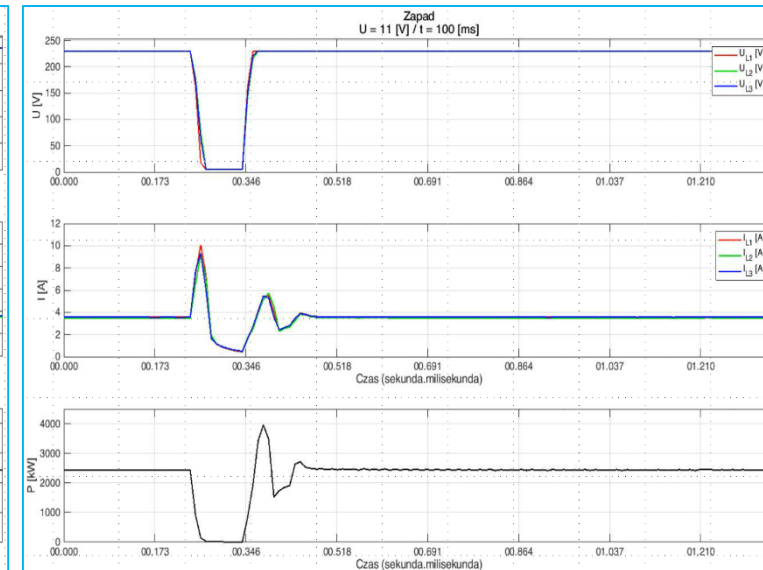
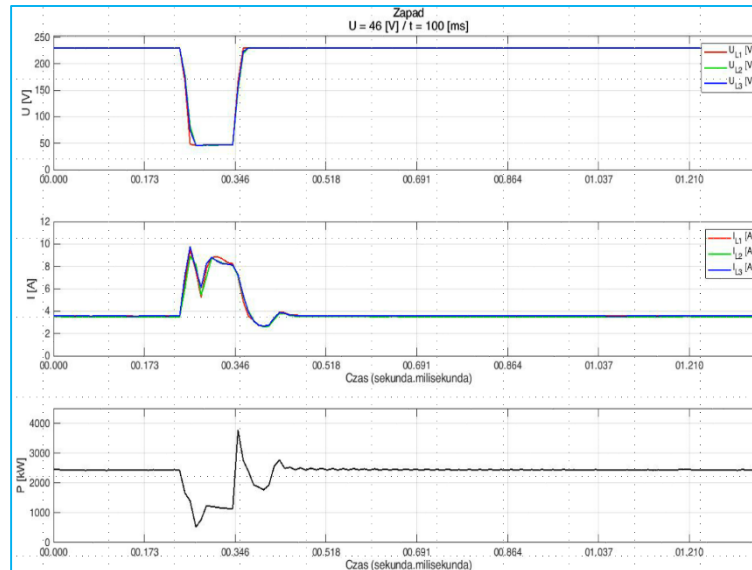
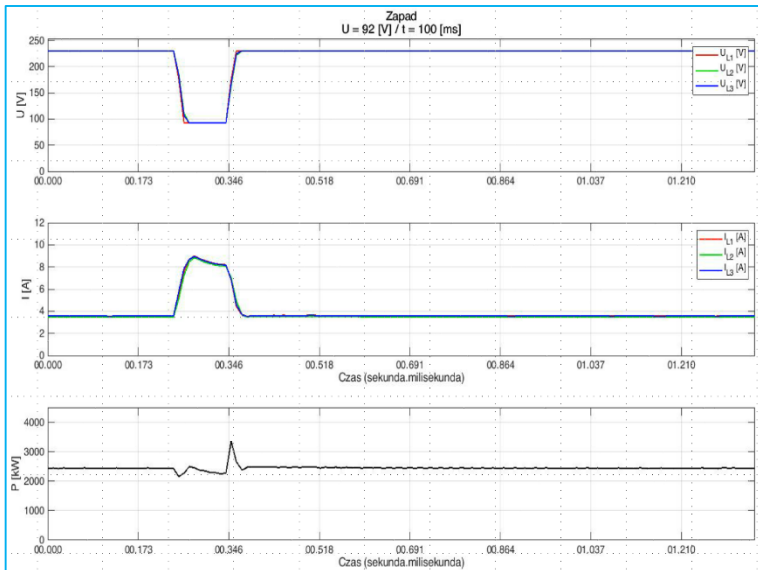


rzeczywiste
przebiegi
zarejestrowane
analogizatorem JEE
klasy A



Badania – Zapady napięcia i mikroprzerwy w zasilaniu

UVRT – case study – napięcie, prąd, moc – falownik 14

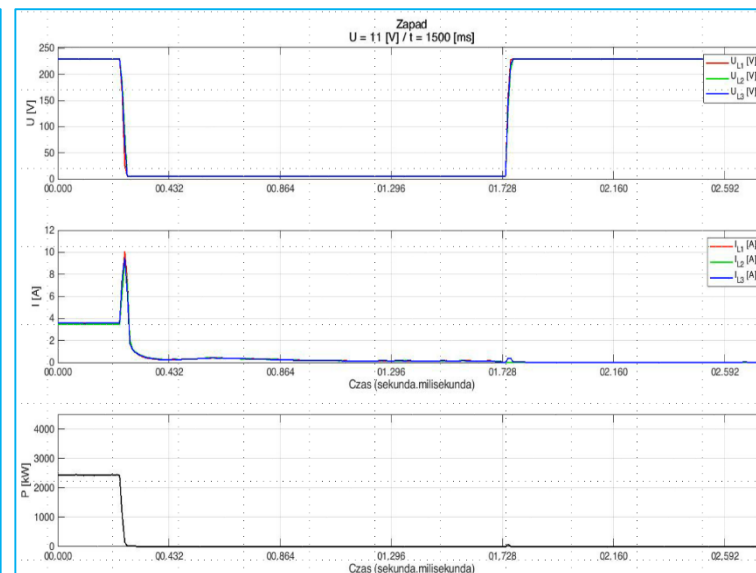
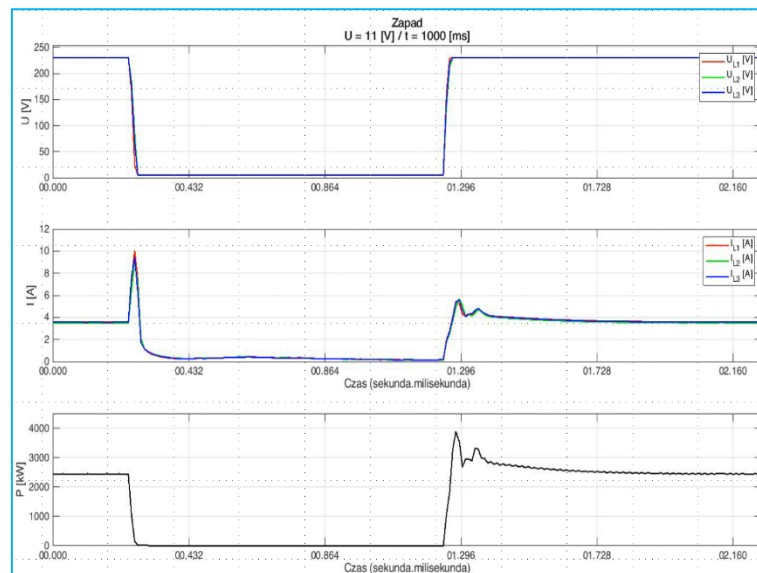


obniżanie napięcia
resztkowego

wydłużanie czasu
trwania zdarzenia

moc czynna

~11 V, ~1500 ms
– stan czerwony



rzeczywiste
przebiegi
zarejestrowane
analogizacją JEE
klasy A



Badania – Zapady napięcia i mikroprzerwy w zasilaniu

Obserwacja wybranych rejestracji – moc – falownik 15

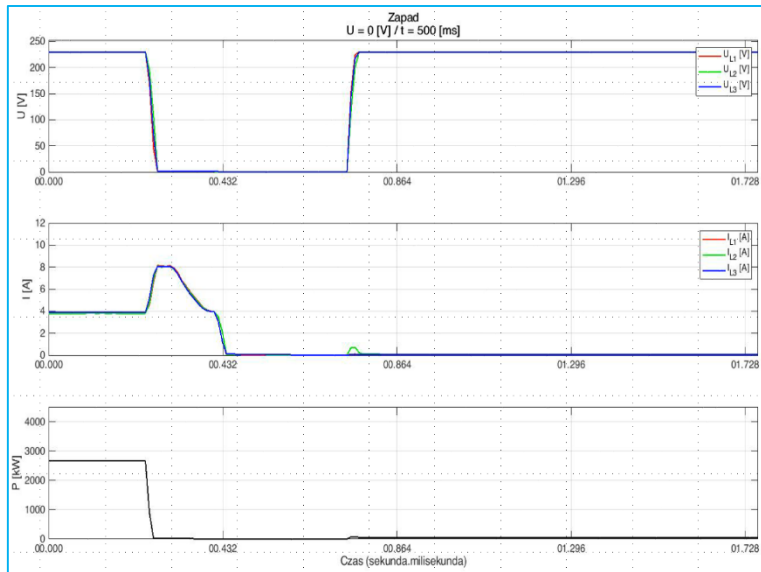
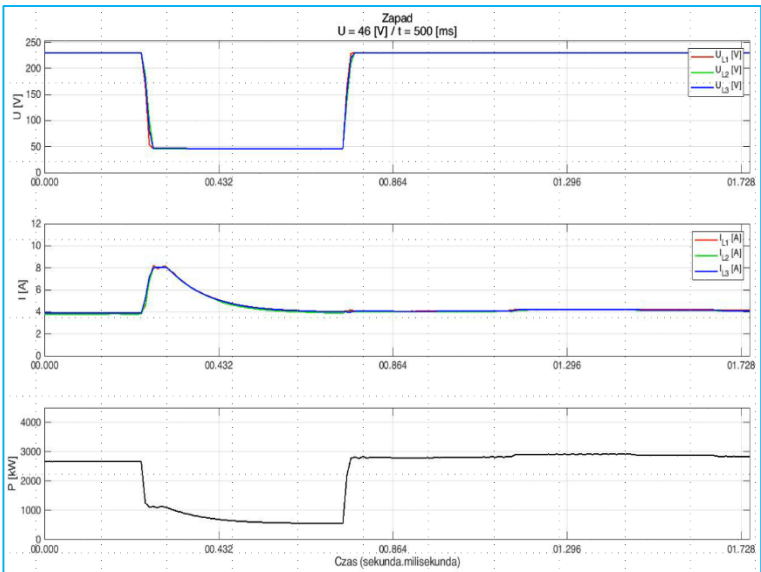
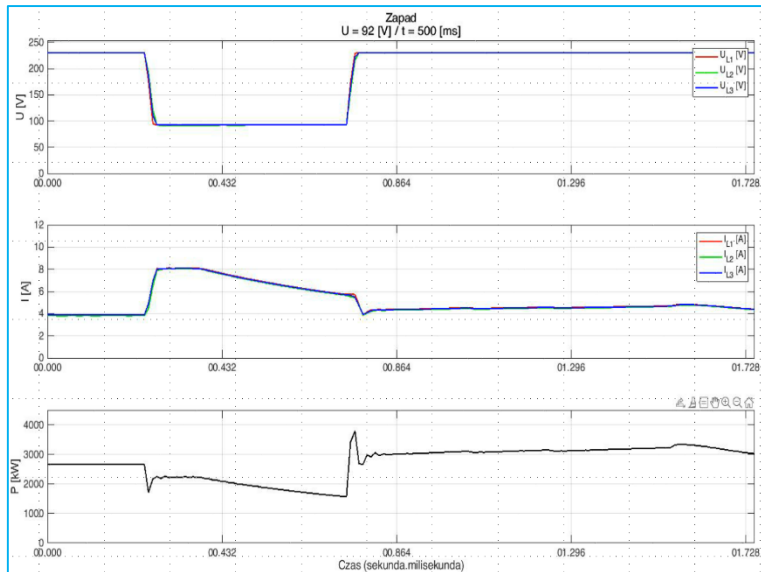
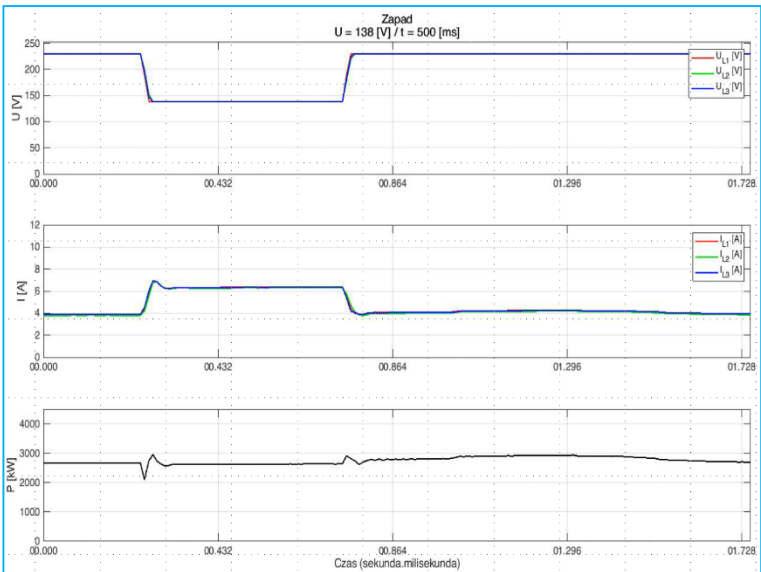


obniżanie napięcia
resztkowego

stały czas trwania
zdarzenia 500 ms

moc czynna

~0 V, ~500 ms
– stan czerwony



rzeczywiste
przebiegi
zarejestrowane
analogizatorem JEE
klasy A



Badania – Zapady napięcia i mikroprzerwy w zasilaniu

Podsumowanie i wnioski



1. Nie wszystkie testowane falowniki fotowoltaiczne spełniły zalecenie normy PN-EN 50549-1 dotyczące charakterystyki UVRT

Rezultaty testów UVRT – norma PN-EN 50549-1 – falowniki PV 3-fazowe	
Wymagania podstawowe (charakterystyka 1)	Wymagania bardziej rygorystyczne (charakterystyka 2)
Wynik pozytywny	Wynik pozytywny
7	4

Uwaga:
Nie wszystkie z testowanych falowników fotowoltaicznych mogły mieć aktywowaną funkcjonalność dotyczącą charakterystyki UVRT wg normy PN-EN 50549-1



Badania – Zapady napięcia i mikroprzerwy w zasilaniu

Podsumowanie i wnioski



2. Rekomendujemy aktywowanie funkcjonalności charakterystyki UVRT (o ile jest dostępna; LVRT) w falownikach fotowoltaicznych zgodnie z normą PN-EN 50549-1

Operator	Użytkownik
Zmniejszenie problemów zgłaszanych przez odbiorców związanych z obserwowanymi wyłączeniami falowników PV	Poprawa jakości pracy oraz zwiększenie efektywności energetycznej instalacji fotowoltaicznej

3. Raport końcowy zawierał będzie szczegółowsze informacje dotyczące wyników testów odporności falowników fotowoltaicznych na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu (mikroprzerwy).

Specjalistyczna aparatura Centrum Energetyki AGH umożliwia realizację bardzo szerokiego zbioru testów i badań w zakresie odporności i emisji różnego rodzaju urządzeń.





DZIĘKUJEMY ZA UWAGĘ

dr inż. Andrzej Firlit
afirlit@agh.edu.pl

dr inż. Krzysztof Chmielowiec
dr inż. Szymon Barcentewicz

dr inż. Mateusz Dutka
mdutka@agh.edu.pl

Aleks Piszczek
mgr inż. Łukasz Topolski



Zespół Jakości Energii Elektrycznej
Katedra Energoelektroniki i Automatyki
Systemów Przetwarzania Energii
Centrum Energetyki

