

Metoda szacowania poziomu emisji harmonicznych

Dariusz Borkowski

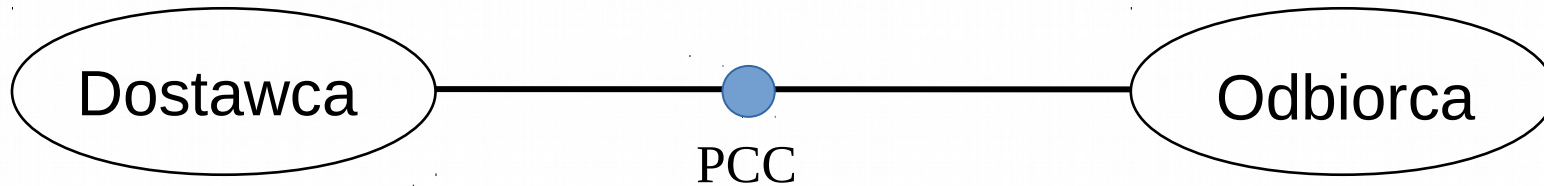
08.12.2017

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
AGH University of Science and Technology



Na podstawie koncepcji opracowanej w ramach Harmonic Source Determination Workshop. Chengdu, Chiny 2017.

Opracowanie sposobu oceny emisji harmoniczných (prądu lub napięcia) generowanych przez odbiorcę?



- Obie strony mogą generować harmoniczne.
- Potrzebny jest sposób określenia odpowiedzialności obu stron za emisję.
- Niezbędne są do tego wskaźniki liczbowe określające emisję.

- Metoda wykorzystująca kierunek mocy czynnej
 - wymaga jedynie znajomości V_{PCC} , I_{PCC}
 - w ogólnym przypadku jest nieprawidłowa
 - może dawać poprawne odpowiedzi w szczególnych przypadkach
- Metoda wykorzystująca moc bierną (impedancji krytycznej)
 - daje poprawne odpowiedzi w ogólnym przypadku
 - wymaga znajomości impedancji harmonicznego strony zasilania i obciążenia
- Metoda wykorzystująca stosunek napięcia do prądu w PCC
 - daje poprawne odpowiedzi w ogólnym przypadku
 - wymaga znajomości impedancji harmonicznego strony zasilania i obciążenia
 - pozwala na liczbowe określenie emisji

W różnych krajach stosowane są różne zalecenia dla określania planowanej oraz aktualnej emisji harmonicznych. Najważniejsze z nich to [1]:

- IEC 61000-3-6 technical report (TR) "*Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems*".
- IEC 61000-3-14 technical report (TR) "*Assessment of emission limits for the connection of disturbing installations to LV power systems*".
- IEEE 519 "*IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*".
- "*Technical Rules for the Assessment of Network Disturbances*", raport techniczny stosowany w Austrii, Szwajcarii, Niemczech i Czechach.

W 2017 r. w Chengdu Sichuan University zorganizował Brainstorm Workshop on Harmonic Source Determination, którego celem było opracowanie/uzgodnienie nowej metody oceny emisji harmoniczných.

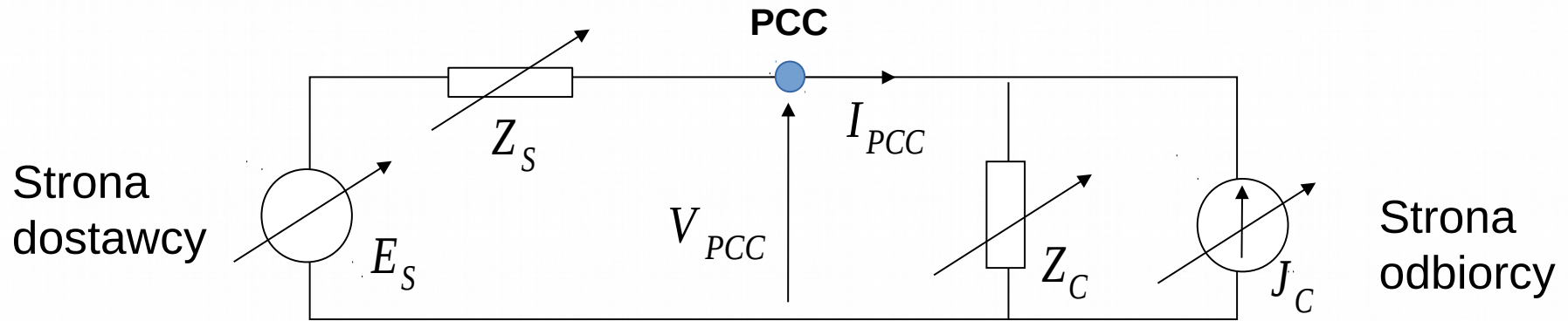
W workshopie uczestniczyli:

- prof. Wilsun Xu,
- prof. Xian-Yong Xiao,
- prof. Igor Papic,
- prof. Vic Gosbell,
- prof. Antonio Cataliotti,
- dr inż. Dariusz Borkowski,
- pracownicy wydziału elektrycznego Sichuan University.

- Odbiorca powinien płacić za emisję harmoniczną.
- Odpowiedzialność za emisję ma dotyczyć odbiorców przemysłowych i komercyjnych.
- Idea jest inspirowana opłatami za moc bierną.



- Kary za emisję harmoniczną ułatwią zarządzanie jakością energii (np. będą usprawiedliwiać inwestycje w systemy kompensacji harmoniczną).
- Poziom emisji będzie dodatkową informacją wyjaśniającą jakość energii w PCC.



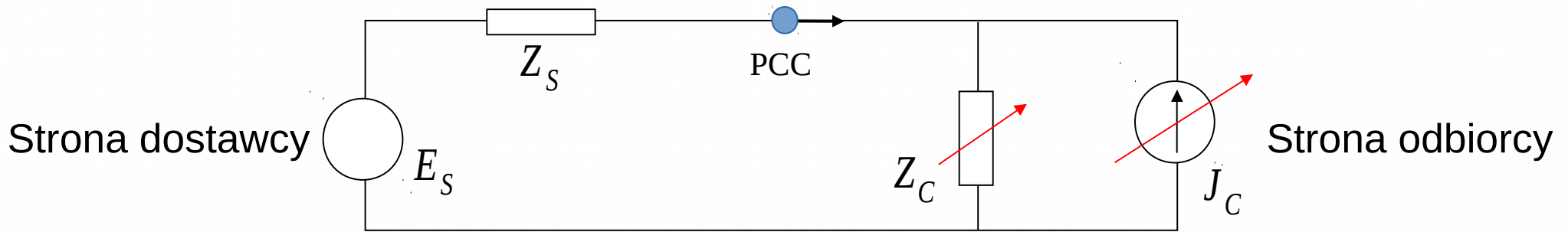
$$V_{PCC-S} = \frac{Z_C}{Z_C + Z_S} \cdot E_S$$

$$V_{PCC-C} = \frac{Z_C \cdot Z_S}{Z_C + Z_S} \cdot J_C$$

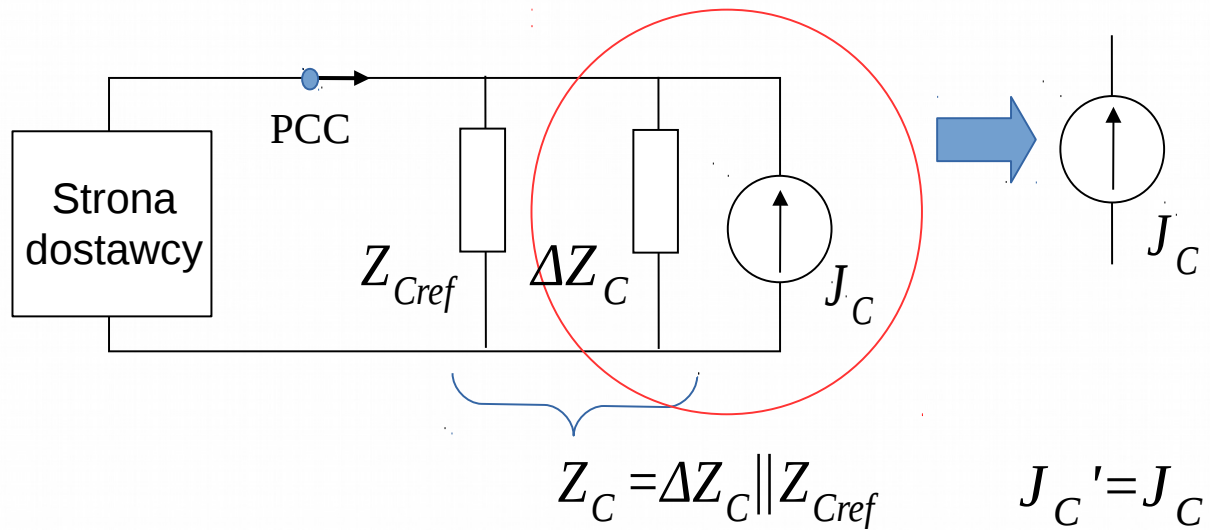
- Parametry (impedancje zastępcze i wartości źródeł zastępczych) obydwu stron mogą ulegać zmianom, wpływając na emisję harmoniczną.
- To czy wpływ odbiorcy V_{PCC-C} zwiększa czy zmniejsza odkształcenie napięcia w PCC zależy też od relacji fazowych.

- Odbiorca nie może być obciążany (znacząco!) z powodu zmian parametrów strony dostawcy, ponieważ są one poza jego kontrolą.
- Obliczony poziom emisji harmonicznych odbiorcy nie może zależeć od emisji pozostałych odbiorców.
- Faktyczny poziom emisji harmonicznych zależy od wartości źródła i impedancji po stronie odbiorcy. Dlatego oba te czynniki muszą być uwzględnione.
- Metoda oprócz poprawności formalnej musi być aplikowalna w realnych przypadkach (ograniczona znajomość danych wejściowych).

Jak określić emisję harmonicznych gdy Z_C i J_C zmieniają się?



Poprzez reprezentację odchyłki impedancji od wartości referencyjnej w postaci zmodyfikowanego zastępczego źródła prądu.



$$Z_C = \Delta Z_C \parallel Z_{Cref}$$

$$J_C' = J_C - \frac{V_{PCC}}{\Delta Z_C}$$

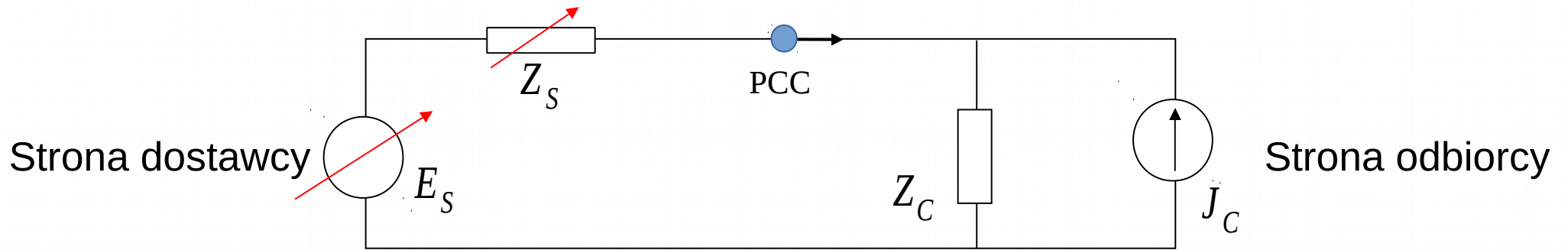
$$Z_{Cref} = R_{C1}(t) = \frac{V_{PCC1}^2(t)}{P_1(t)}$$

jest rezystancją referencyjną obciążenia estymowaną w czasie rzeczywistym na podstawie mocy czynnej i napięcia w PCC.

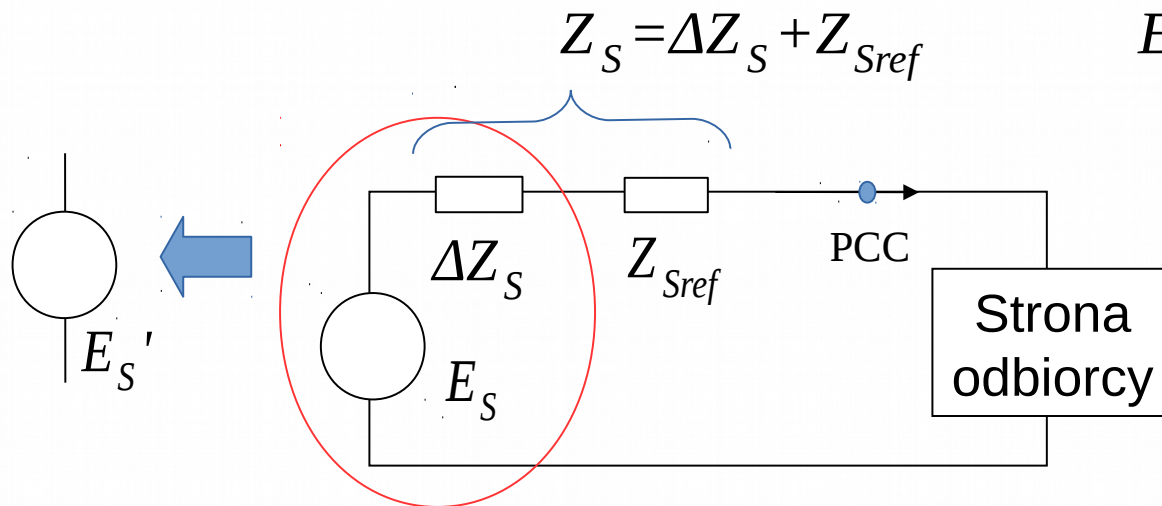
Uzasadnienie użycia rezystancji jako referencji

- Odbiorca konsumuje moc czynną P aby przetworzyć ją na użyteczną energię. Inne składowe jak moc bierna Q i harmoniczne są efektami ubocznymi przetwarzania energii. Dlatego jest rozsądnym przyjęcie $R_1(t)$ jako wartości odniesienia.
- Pomysł jest spójny z normą IEEE 1459-2010.
- Ta idea ułatwia także łagodzenie wpływu harmonicznych. Dla przykładu celem pracy filtra aktywnego zainstalowanego u odbiorcy jest spowodowanie by jego zastępcza impedancja była równa rezystancji przez redukcję J_C do zera.

Jak określić emisję harmoniczną gdy Z_S i E_S zmieniają się?



Poprzez reprezentację odchyłki impedancji od wartości referencyjnej w postaci zmodyfikowanego zastępczego źródła napięcia.



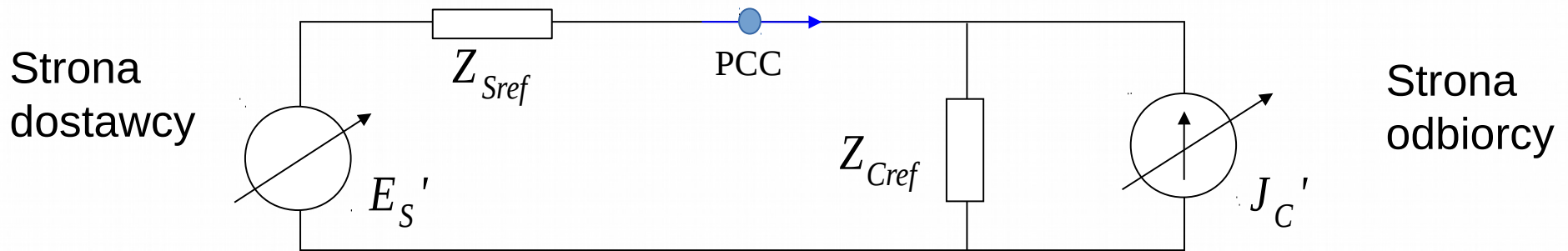
$$Z_{Sref} = R_{S1}(t) + jhX_{S1}(t)$$

jest impedancją referencyjną obliczoną z estymowanej cyklicznie impedancji zwarciowej podstawowej harmonicznego

Uzasadnienie użycia impedancji zwarciowej jako referencji

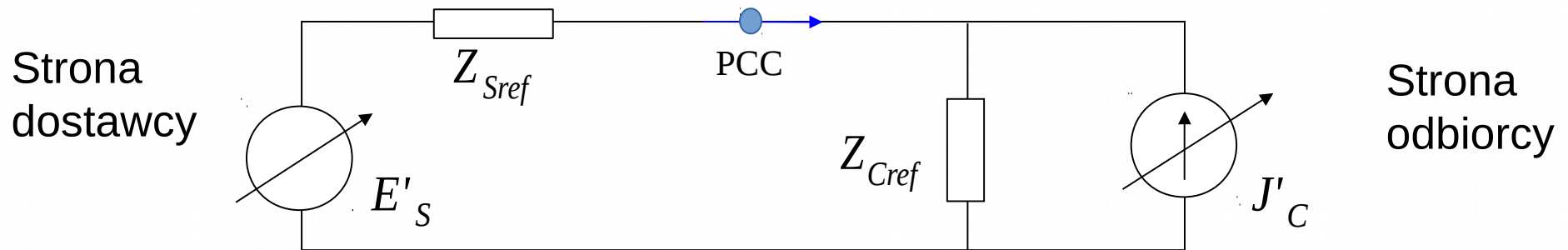
- Wg. normy IEEE 519 limity emisji są określane w oparciu o impedancję zwarciową systemu, t.j. Z_{S1} .
- Pomiar Z_{S1} jest powtarzany cyklicznie, by dostarczyć aktualną impedancję zwarciową.
- Powtarzanie pomiaru Z_{S1} pozwala na uwzględnienie znacznych zmian w systemie jak np. odstawienie linii lub transformatora.
- Jeżeli odbiorca jest zasilany przez transformator, wtedy impedancja transformatora jest dominująca i ma charakter zgodny z modelem przyjętym dla $Z_{Sref}(t,h)$.

Wynikowy model zastępczy systemu i kolejność działań



1. Zarejestruj $u_{PCC}(t)$, $i_{PCC}(t)$,
2. Dla wybranej harmonicznej wyznacz fazory V_{PCC} , I_{PCC} przez DFT
3. Oblicz Z_{Cref} na podstawie P_1 i V_{PCC1}
4. Oblicz Z_{Sref} na podstawie impedancji zwarciowej
5. Oblicz $J_C' = \frac{V_{PCC}}{Z_{Cref}} - I_{PCC}$
6. Oblicz $E_S' = Z_{Sref} \cdot I_{PCC} + V_{PCC}$

Określenie wpływu dostawcy i odbiorcy na V_{PCC}



7. Określ udział obu stron w napięciu V_{PCC} :

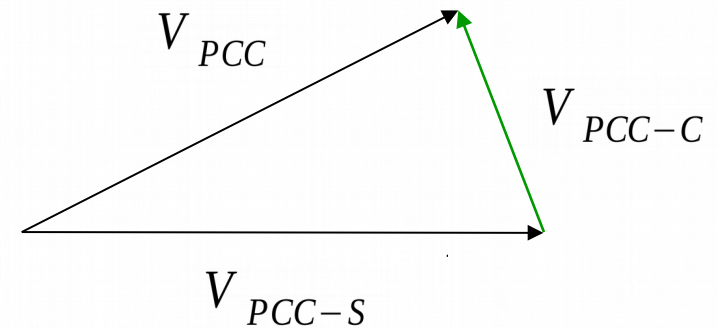
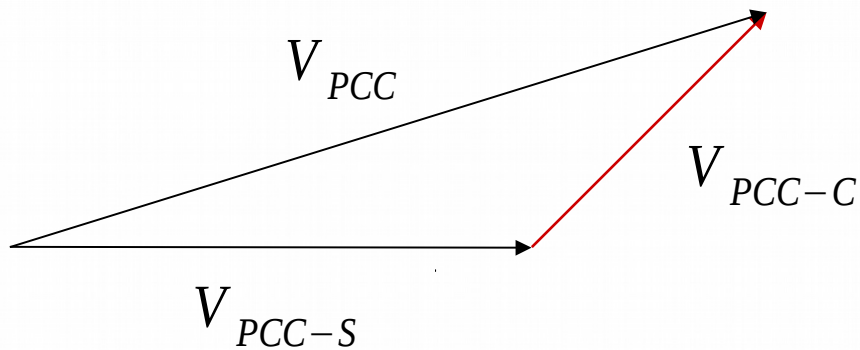
- wpływ odbiorcy
$$V_{PCC-C} = \frac{Z_{Cref} \cdot Z_{Sref}}{Z_{Cref} + Z_{Sref}} \cdot J'_C$$

- wpływ dostawcy
$$V_{PCC-S} = \frac{Z_{Cref}}{Z_{Cref} + Z_{Sref}} \cdot E'_S$$

Poziom emisji harmonicznych generowanych przez odbiorcę

8. Oblicz emisję

$$\text{Emisja} = \begin{cases} |V_{PCC-C}| & \text{jeżeli } |V_{PCC}| > |V_{PCC-S}| \\ 0 & \text{jeżeli } |V_{PCC}| \leq |V_{PCC-S}| \end{cases}$$



Propozycja rozszerza, a nie odrzuca, metodę zalecaną w raporcie technicznym IEC 61000-3-6. Różnica polega na:

- IEC przyjmuje za $Z_{Sref}(t,h)$ zmierzoną impedancję harmoniczną
- Propozycja zakłada, że $Z_{Sref}(t,h) = R_1(t) + jhX_1(t)$
 - ◆ Impedancja harmoniczna może się zmienić pod wpływem innego odbiorcy co wpływa na obliczaną emisję.
 - ◆ Pomiar impedancji harmonicznej jest trudny do realizacji w praktyce.
- IEC przyjmuje za $Z_{Cref}(t,h) = \infty$
- Propozycja zakłada, że $Z_{Cref}(t,h) = R_1(t)$
 - Model IEC nie reprezentuje pożądanego zachowania odbiorcy, tj. konsumpcji mocy czynnej. Nie istnieje odbiornik, który dla podstawowej częstotliwości zachowuje się jak rezystor, a dla wyższych częstotliwości jest przerwą.
 - Rezystancja tłumi harmoniczne, co jest pożądaną cechą.

- Bardziej konkretny indeks (miara) pozwalająca na zrozumienie emisji harmoniczných przez odbiorcę.
- Inspekcja/ocena własności odbiorców wraz z określeniem ich odpowiedzialności za emisję.
- Rozwiązywanie problemów z jakością energii.
- Możliwe opracowanie narzędzia opartego na zachętach i karach do zarządzania harmonicznymi.
- Zmiana podejścia sposobu kompensacji harmoniczných (nowy cel układów regulacji w filtrach aktywnych).

- [1] J. Meyer et al., "*Survey on international practice of calculating harmonic current emission limits*," 2016 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Belo Horizonte, 2016, pp. 539-544.
- [2] M. Domagk, J. Meyer, M. Hoven, K. Malekian, F. Safargholi and K. Kuech, "*Probabilistic comparison of methods for calculating harmonic current emission limits*," 2017 IEEE Manchester PowerTech, Manchester, 2017, pp. 1-6.
- [3] F. Safargholi, K. Malekian and W. Schufft, "*On the Dominant Harmonic Source Identification—Part I: Review of Methods*," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. PP, no. 99, pp. 1-1.

Dziękuję za uwagę