

Łódź, 22 sierpnia 2019 r.

dr hab. inż. Michał Kaczmarek
Politechnika Łódzka
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Wąsowskiego pt.

"Wpływ zaburzeń przewodzonych w zakresie do 150 kHz

występujących w sieciach elektroenergetycznych na skuteczność transmisji PLC"

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej z dnia 09.07.2019, W-5/1036/2019 zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej z dnia 08.07.2019

1. Charakterystyka rozprawy

Praca składa się z ośmiu rozdziałów, z podsumowania wraz z wnioskami końcowymi oraz propozycji możliwych do zastosowania według Autora technicznych środków zaradczych w celu zapewnienia skutecznej transmisji PLC. Ponadto zawiera wykaz pojęć i oznaczeń, wstęp, tezę pracy i jej cel oraz opis jej struktury. Kandydat opisał także przyjętą metodę badań, przedstawił wykaz literatury (143 pozycje), spis rysunków i tabel. W pracy nie występują załączniki.

We wstępie Autor podkreśla znaczenie podjętego problemu, wskazuje na rolę „cyfryzacji sieci energetycznych” w tym transmisji PLC w podniesieniu efektywności energetycznej i obniżeniu emisji CO₂. Rzeczywiście jest to tematyka ważna i aktualna, zatem temat rozprawy i zakres zostały wybrane właściwie. Istnieje przy tym wskazana w niniejszej pracy potrzeba prowadzenia także badań w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej w zakresie zarówno odporności urządzeń przyłączonych do sieci elektroenergetycznej na występujące zaburzenia przewodzone, jak i ograniczenia ich emisji w celu zachowania normatywnych parametrów

jakości energii elektrycznej. Ponadto rozwój energetyki z odnawialnych źródeł energii, w tym wzrost liczby prosumentów, wymagają komunikacji dwustronnej, w której może zostać zastosowane PLC, o ile osiągnięta zostanie wymagana niezawodność transmisji, do której podniesienia posłużą niewątpliwie wyniki recenzowanej pracy doktorskiej.

Autor rozprawy sformułował następującą tezę:

„Określenie parametrów widmowych zaburzeń przewodzonych towarzyszących transmisji PLC w pasmie do 150 kHz, w odniesieniu do parametrów technicznych sieci elektroenergetycznej, pozwoli na klasyfikację czynników mogących mieć wpływ na skuteczność transmisji oraz zaproponowanie środków zaradczych.”

Cel pracy jest następujący:

„Poznanie i klasyfikacja cech zaburzeń przewodzonych występujących w sieciach elektroenergetycznych w zakresie częstotliwości 2–150 kHz oraz ocena ich wpływu na skuteczność transmisji PLC w infrastrukturze pomiarowo-rozliczeniowej energii elektrycznej AMI, a także opracowanie środków zaradczych mających na celu zmniejszenie, a nawet wyeliminowanie ich negatywnego oddziaływania.”

Ponadto w wyniku przeprowadzonych badań literaturowych Autor przyjął dwie następujące hipotezy:

„Do zbioru parametrów technicznych sieci energetycznej mających wpływ na skuteczność transmisji PLC w sieciach nN proponuje się zaliczyć:

- *napięcie zasilania,*
- *długość kabla elektroenergetycznego pomiędzy ZK a stacją SN/nN i związany z tym efekt tłumienności,*
- *typ kabla,*
- *ilość złączy w linii kablowej,*
- *ilość i rodzaj odbiorników przyłączonych do sieci.”*

„Do zbioru parametrów widmowych zaburzeń przewodzonych w pasmie do 150 kHz mających znaczący wpływ na skuteczność transmisji PLC w sieciach nN proponuje się zaliczyć:

- *rodzaj modulacji sygnału (technologii PLC),*
- *szerokość pasma transmisji sygnału roboczego PLC,*
- *amplituda sygnału roboczego PLC,*
- *amplituda szumu (tła, zakłócenia),*
- *stosunek sygnału do szumu (SNR).”*

W pracy Autor konsekwentnie dąży do udowodnienia postawionej tezy, posługując się metodami analitycznymi i badaniami symulacyjnymi oraz eksperymentalnymi. W rozdziałach 1 i 2 przedstawiono obszerną analizę literatury i norm z zakresu transmisji sygnałów w publicznych sieciach zasilających i kompatybilności elektromagnetycznej w paśmie 2 – 150 kHz. W rozdziale 3 Autor opisał opracowany w środowisku MATLAB Simulink model sieci niskiego napięcia, w którym zaimplementowano transmisję PLC i przedstawił wyniki dotyczące wpływu tłumienności linii oraz udziału zaburzeń pochodzących od przykładowego odbiornika energii elektrycznej oraz od źródła szumu białego na jej skuteczność. W rozdziale 4 przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych potwierdzające wyniki obliczeń symulacyjnych z rozdziału 3 dotyczące wpływu tłumienności linii niskiego napięcia o długości 150 m i 300 m na poziom sygnału w transmisji PLC w pasmie 2 – 150 kHz (określone wartości SNR wynosiły odpowiednio: 28,75 dB i 25,96 dB). Ponadto określono wpływ wybranych odbiorników energii elektrycznej znanych z literatury jako główne źródła zaburzeń przewodzonych w sieci nN na skuteczność transmisji PLC. Jedynie w przypadku spawarki pracującej z obciążeniem po stronie wtórnej 80 A nastąpiła utrata danych w komunikacji PLC. W rozdziale 5 dzięki współpracy z TAURON Dystrybucja S.A. przedstawiono wyniki analizy ilościowych i jakościowych 260 przypadków zakłóceń transmisji danych w technologii PLC OSGP w rzeczywistej sieci nN. W rozdziale 6 opisano wyniki uzupełniających badań laboratoryjnych dotyczące wpływu odkształcenia napięcia zasilającego wybranych odbiorników harmonicznymi rzędów od 2 do 40 na ich emisję zaburzeń przewodzonych 2 – 150 kHz. W rozdziale 7 Autor przedstawił podsumowanie pracy i wnioski końcowe, natomiast w rozdziale 8 propozycje zastosowania technicznych środków zaradczych w celu ograniczenia wpływu zaburzeń przewodzonych w zakresie do 150 kHz występujących w sieciach elektroenergetycznych na skuteczność transmisji PLC.

2. Uwagi merytoryczne i pytania

Zrozumiałe jest, że oceniana praca mimo swojej obszerności nie wyczerpuje szerokiej problematyki dotyczącej analizy zagadnienia wpływu zaburzeń przewodzonych w zakresie do 150 kHz występujących w sieciach elektroenergetycznych na skuteczność transmisji PLC. W związku z tym niektóre z możliwych kierunków prac badawczych nie zostały omówione. Dlatego nasuwają się pewne krytyczne uwagi i pytania.

- 2.1. Nie można się zgodzić ze stwierdzeniem przedstawionym na str. 61, że „supraharmoniczne” można nazywać „interharmonicznymi”: "zaburzenia w zakresie



częstotliwości powyżej 2 kHz, charakteryzujące się tzw. „supraharmonicznymi”, nazywanymi przez niektórych „interharmonicznymi””. Zresztą Autor sam w następnym zdaniu wskazuje, że: "Istnieje szereg różnic pomiędzy harmonicznymi, a supraharmonicznymi, z których najistotniejsze to [113, 114]:". Należy nie powielać błędnych stwierdzeń. Ponadto nie wskazano źródła literaturowego.

2.2. W podsumowaniu dotyczącym badań skuteczności transmisji PLC OSGP oraz zaburzeń wprowadzanych przez odbiorniki w warunkach terenowych przedstawionym na str. 152 Autor nie uniknął wniosków oczywistych i ogólnych, których sformułowanie jest możliwe na podstawie wiedzy podstawowej lub w najlepszym przypadku po analizie literatury np.: "

- w ogólności widma tła (szumu, zakłócenia) dla sygnału transmisji mają różny charakter w zależności od fragmentu sieci oraz koncentracji i rodzaju odbiorników, obserwuje się zarówno widma o charakterze wielu składowych wąskopasmowych, jak i również widma z komponentami szerokopasmowymi,
- szczególny wpływ na skuteczność transmisji mają widma o charakterze szerokopasmowym, zwłaszcza w sytuacji, gdy obejmują swoim zakresem częstotliwości pasma transmisji, eliminacja tego typu zaburzeń może również sprawiać trudności pod względem doboru urządzeń filtracyjnych,
- w przypadku wąskopasmowych zakłóceń, zagrożenia dla transmisji stanowią te pasma, które pokrywają się z pasmami transmisji".

2.3. Ewidentnie błędne jest pominięcie w opisie (ppkt 7.3. Wkład własny Autora) na str. 221 wkładu własnego Autora w wykonanie pomiarów i symulacji, występuje natomiast wskazanie na: "opracowanie analiz wyników badań".

2.4. Wiele ważnych stwierdzeń i wniosków w rozprawie opiera się na prezentowanych wynikach pomiarowych (rys. 4.8 i rys. 6.5, rys. 5.2, rys. 5.8 i rys. 5.9). Z tego względu nieprawidłowe jest pominięcie w pracy oceny dotyczącej dokładności przeprowadzonych pomiarów.

2.5. Proszę wyjaśnić, czym wyróżnia się opracowany przez Autora model sieci nN, w którym jest możliwa implementacja transmisji PLC (rozdział 3), w stosunku do standardowego modelu tej sieci.

2.6. Jak Autor rozumie w ujęciu wkładu własnego w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika stwierdzenie ze str. 221: "rozwiązanie ujęcia sieci elektroenergetycznej jako kanału transmisyjnego"?



- 2.7. Czy została przeprowadzona weryfikacja wyników pomiarów i wniosków z raportem CENELEC: "CLC/TR 50627:2015 – Study Report on Electromagnetic Interference between Electrical Equipment/Systems in the Frequency Range Below 150 kHz"?
- 2.8. Proszę omówić budowę i wymagania normalizacyjne w zakresie konstrukcji modułów komunikacyjnych OSGP i PLC PRIME i wyjaśnić, czy może występować związek między strukturą systemu komunikacyjnego w tym budową modemu PLC (licznika, koncentratora, serwera aplikacji itp.) a skutecznością jego transmisji danych w warunkach występowania badanych zaburzeń przewodzonych.
- 2.9. W rozdziale 7. Podsumowanie i wnioski końcowe, str. 220-221, Autor proponuje kategoryzację poszczególnych czynników "w zbiorze parametrów widmowych zaburzeń przewodzonych w pasmie do 150 kHz" ze względu na ich wpływ na skuteczność transmisji PLC i stwierdza: "rodzaj modulacji sygnału (technologii PLC) POMIJAŁNY". Proszę określić, czy ten wniosek obejmuje także typ modulacji FSK (kluczowanie z przesuwem częstotliwości, według Tabeli 1.2 str. 27) stosowanej w systemach PLC w technologii IDIS–G1.
- 2.10. Ponieważ jednym z zastosowań systemów AMI z transmisją PLC jest kontrola jakości energii elektrycznej i ewentualne zdalne wyłączenie odbiorcy w przypadku przekroczenia wartości granicznych przyjętych w umowie, proszę wyjaśnić, czy rozwój dodatkowej funkcjonalności tego typu ma wpływ na skuteczność transmisji PLC.
- 2.11. Czy według Autora kontrola jakości energii (nawet w rozszerzonym zakresie) w pasmie do 5 kHz pomoże zwiększyć niezawodność transmisji PLC (rozdział 8)?

3. Uwagi redakcyjne

Praca przygotowana jest starannie, jednak wystąpiły w mojej ocenie pewne uchybienia redakcyjne wymienione poniżej:

- 3.1. brak spacji w tytule przed jednostką kHz;
- 3.2. Autor błędnie zastosował "nn" zamiast "nN" w opisie oznaczenia str. 10: "stąd oznaczenie SN/**nn**." i ponownie na str. 79 w tytule ppkt "3.1.2. Transformator SN/**nn**";
- 3.3. brak kropki po S w "SA" przedostatni akapit str. 15;
- 3.4. również błędne jest określenie zakresu częstotliwości 0 – 2 kHz dla badań wpływu zaburzeń harmoniczných na skuteczność transmisji PLC, należy zastosować określenie jak w ppkt „6.3.2. Wyniki badań wpływu obecności pojedynczych harmoniczných od 1 do 40” lub wielu harmoniczných rzędów od... do..., wykluczeniu ulegają wtedy



- badania wpływu interharmonicznych i zaburzeń przewodzonych o częstotliwościach niższych niż 100 Hz w tym subharmonicznych;
- 3.5. brak numeracji równań w całej pracy, np. na str. 67, str. 84 i str. 117;
 - 3.6. brak konsekwencji w zastosowanych kolorach na rys. 5.20 kolor niebieski oznacza poziom zaburzeń, natomiast na rys. 5.21 kolor niebieski oznacza poziom sygnału transmisji PLC, natomiast linią w kolorze czerwonym oznaczono poziom zaburzeń w złączu kablowym;
 - 3.7. w słowie bez brakuje "z" str. 164 akapit 1;
 - 3.8. powtórzony akapit str.177, str. 201 i str. 212;
 - 3.9. brak wcięcia akapitu str. 214;
 - 3.10. część wyników przedstawionych bezpośrednio w treści rozprawy powinna być umieszczona w jej załącznikach (np. edycja parametrów Matlab od rys. 3.2 do rys. 3.8, wyniki badań symulacyjnych od rys. 3.10 do rys. 3.17, wyniki badań terenowych od rys. 5.5 do rys. 5.12, dane liczników i zasilacza programowalnego od tab. 6.3 do tab. 6.6, wyniki badań w modelu rzeczywistym od rys. 4.2 do rys. 4.6);
 - 3.11. brak przypisów w tekście rozprawa do norm od str. 61 do str. 71 i na str. 167;
 - 3.12. niska jakość rysunków o numerach: 1.3, 1.17, 1.19, 1.32, 4.2, 4.3.
 - 3.13. błędna odmiana wyrazów pochodzenia angielskiego smart metering, repeater, blackout, np. s. 1, ppkt 1.3, s. 5, ppkt 8.2., s. 24, ppkt 1.3, s. 25 ostatni akapit trzeci podpunkt; poprawnie powinno być bez apostrofu: smart meteringu, repeaterów, blackoutuów;
 - 3.14. niekonsekwentny i często nieprawidłowy zapis wartości liczbowych i jednostek miary, np. w spisie treści s. 1, ppkt 5.1.2.: 170mb, s. 3, ppkt 6.1.4.: 1MHz, s. 101: 1.25MHz, s. 102: 200Hz co 100Hz; między wartością liczbową a literowym oznaczeniem miary zawsze stawiamy spację;
 - 3.15. niekonsekwentna pisownia przymiotników złożonych z dwóch członów równorzędnych, np. s. 5, ppkt 8.5. prawno – organizacyjne, s. 25 trzeci akapit informatyczno – telekomunikacyjnymi; w takich połączeniach stosujemy krótki myślnik bez spacji, np. prawno-organizacyjne, informatyczno-telekomunikacyjnymi;
 - 3.16. błędy interpunkcyjne, np. s. 10, szósty rząd, druga kolumna brak przecinka przed "przy pomocy której"; nieprawidłowo wstawiony przecinek, np. s. 11, trzeci rząd, druga kolumna jest: "pomiędzy przyłączem, a rozdzielnicą", a powinno być "pomiędzy przyłączem a rozdzielnicą", s. 11, siódmy rząd, druga kolumna jest: "i stacjonarnych takich, jak telewizory", a powinno być: "i stacjonarnych, takich jak telewizory", s. 12 pierwszy akapit jest: "Tematyka transmisji danych w sieciach elektroenergetycznych

niskiego napięcia, stanowi element", powinno być: "Tematyka transmisji danych w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia stanowi element";

- 3.17. błędna odmiana zaimka "ta" w bierniku, s. 24, ppkt 1.3. pierwszy akapit jest: "W odpowiedzi na tą inicjatywę", powinno być "tę inicjatywę";

4. Ocena rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska ma charakter symulacyjno-eksperymentalny i stanowi pogłębienie praktyki zagadnień z zakresu automatyki i robotyki dotyczących smart meteringu z wykorzystaniem transmisji PLC w systemach AMI oraz z zakresu elektrotechniki dotyczących sieci nN jako medium komunikacyjnego i kompatybilności elektromagnetycznej odbiorników energii elektrycznej. Istotną cechą opiniowanej pracy jest aktualność podjętej tematyki. Kandydat zaprezentował w opiniowanej rozprawie pełny cykl badawczy: przedstawienie problemu badawczego, analizę teoretyczną, opracowanie modelu i przeprowadzenie symulacji oraz weryfikacyjne badania laboratoryjne. Niezależnie od przedstawionych wcześniej uwag krytycznych i pytań, pracę Kandydata we wszystkich jej aspektach oceniam pozytywnie. Dlatego uważam, że recenzowana rozprawa wnosi istotny wkład do rozwoju zarówno dawnej dyscypliny automatyka i robotyka, w której realizowany był przewód doktorski do 30.04.2019 r., jak i tym bardziej obecnej rozszerzonej dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika ze względu na wkład także do rozwoju dawnej dyscypliny elektrotechnika. Do głównych osiągnięć Kandydata zaliczam:

- 4.1. wykonanie prac eksperymentalnych i symulacyjnych oraz przeprowadzenie analizy obszernego zbioru wyników pomiarowych;
- 4.2. wyznaczenie zakresu generowanych zaburzeń przewodzonych przez odbiorniki przyłączone do rzeczywistej sieci nN;
- 4.3. określenie wpływu tłumienności linii niskiego napięcia na poziom sygnału transmisji PLC w pasmie 2 – 150 kHz;
- 4.4. wykonanie analizy zmienności emisji w zależności od stopnia odkształcenia napięcia zasilającego wybrane odbiorniki energii elektrycznej typowo przyłączone do linii nN;
- 4.5. opracowanie propozycji modyfikacji zapisów IRiESD w zakresie zapisów dotyczących wprost lub pośrednio zagadnień eksploatacyjnych związanych z analizowanym pasmem częstotliwości 2 – 150 kHz.



5. Wniosek końcowy

Założone cele pracy zostały osiągnięte. Autor wykazał się wiedzą i umiejętnością prowadzenia badań eksperymentalnych i symulacyjnych, wykazując samodzielność w pracy naukowej w zakresie nauk technicznych. Recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika. Uznaję również, że teza rozprawy została w pełni uzasadniona. W związku z powyższym, zgodnie z obowiązującą ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

