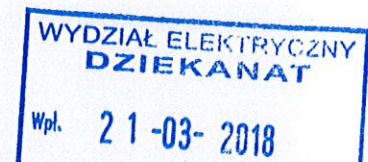


Opole, dnia 19.03.2018

dr hab. inż. Krzysztof Tomczewski
Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki
Politechniki Opolskiej



Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgra inż. Łukasza Putza
pt. „Badania i analiza wpływu wybranych układów sterująco-zasilających systemów
elektroluminescencyjnych na parametry energii elektrycznej”
prof. dr hab. inż. Zbigniew Nadolny

1. Formalna podstawa recenzji

Podstawą sporządzenia recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego DE-012/08/2018 z dnia 26 stycznia 2018r., zlecające na podstawie uchwały Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej z dnia 23 stycznia 2018 r. sporządzenie recenzji dr hab. inż. Krzysztofowi Tomczewskiemu.

Praca doktorska została zrealizowana na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Ryszard Nawrowski, a promotorem pomocniczym jest dr inż. Arkadiusz Dobrzycki.

2. Informacje ogólne

Recenzowana praca zawiera 172 strony. Na początku pracy zamieszczono streszczenia w języku polskim i angielskim, następnie spis treści, 11 rozdziałów oraz spis literatury. Rozdział pierwszy stanowi krótkie wprowadzenie w tematykę pracy. W rozdziale 2 przedstawiono cel, tezę i zakres pracy. Główną część rozprawy stanowią rozdziały 3 do 9. W rozdziale 10 przedstawiono propozycje zmian do Polskiej Normy będące wynikiem przeprowadzonych badań. Rozdział 11 stanowi podsumowanie pracy. Na końcu pracy zamieszczono bibliografię. Układ pracy uważam za prawidłowy i kompletny.

3. Ocena wyboru tematyki badawczej

Rozprawa doktorska mgra inż. Łukasza Putza pod tytułem . „Badania i analiza wpływu wybranych układów sterująco-zasilających systemów elektroluminescencyjnych na parametry energii elektrycznej” ma charakter praktyczny i obliczeniowy. Obejmuje swoim zakresem tematycznym ważne w ostatnim czasie zagadnienia związane z jakością energii elektrycznej, a dokładniej pogorszeniem jej jakości wynikającym z masowego stosowania nieliniowych odbiorników o małych mocach. Stosowane obecnie szeroko energooszczędne lampy LED są źródłem wyższych harmonicznym natężenia prądu. Choć pojedyncze odbiorniki nie stanowią zagrożenia dla sieci energetycznej, to w przypadku ich dużej ilości emisja wyższych harmonicznym prądu może prowadzić do poważnych odkształceń napięcia w sieci zasilającej, co z kolei może mieć negatywny wpływ na inne włączone do niej urządzenia.

Poziom wyższych harmonicznym natężenia prądu emitowanych przez nowoczesne źródła światła zależy w znacznym stopniu od konstrukcji lamp, co

powiązane jest z ich ceną rynkową. Polskie Normy definiują dopuszczalne poziomy emisji zakłóceń, jednak na rynku istnieje cały szereg lamp różnych producentów, o różnym sposobie działania i o różnym stopniu złożoności. Lampy LED podłączane do sieci zasilającej wymagają stosowania prostowników oraz układów dopasowania napięcia. Są to układy nieliniowe, w związku z czym wskazane jest stosowanie dodatkowych rozwiązań technicznych pozwalających ograniczać emisję wyższych harmonicznych prądu do sieci zasilającej, począwszy od filtrów biernych, aż po rozbudowane układy aktywnej korekcji mocy PFC. Powoduje to wzrost kosztów wytwarzania lamp, a dodatkowo w wielu przypadkach jest utrudnione ze względu na zbyt małe ich wymiary. Przyczyny te prowadzą do upraszczania układów, czego skutkiem może być zbyt wysoki poziom emitowanych zakłóceń. Ze względu na zastąpienie żarówek żarowych w większości przypadków lampami energooszczędnymi, w skali kraju stanowi to poważny problem. Z tego względu tematykę pracy oraz zawarte w niej wyniki badań uważam za bardzo ważne i aktualne, tym bardziej, że Doktorant podjął skuteczną próbę obniżenia poziomu emisji wyższych harmonicznych prądu do sieci energetycznej.

4. Charakterystyka zawartości pracy

Rozdział 1 stanowi krótkie wprowadzenie w tematykę nowoczesnych źródeł światła oraz zagadnienia jakości energii elektrycznej. Konkluzję tego krótkiego rozdziału stanowi określenie konieczności podjęcia badań w tym zakresie.

Rozdział 2 zawiera cele pracy, tezę oraz zakres badań. Jako podstawowe cele pracy Autor wymienia przeprowadzenie badań eksperymentalnych wpływu wybranych typów lamp LED na jakość energii elektrycznej, analizę wyników pod względem stosowanych w nich układów sterująco-zasilających, badania nowej koncepcji układu zasilania i ocenę jego wpływu na poprawę jakości energii.

W tezie pracy Autor stwierdza, że istnieje możliwość poprawy jakości energii w instalacjach oświetleniowych z elektroluminescencyjnymi źródłami światła. Możliwość taką upatruje w zastosowaniu do zasilania lamp LED zasilaczy dwustopniowych. Zakres pracy obejmuje studia literaturowe, opracowanie stanowiska pomiarowego oraz wykonanie badań jakości energii w instalacjach zasilających lampy LED przed i po zamontowaniu opracowanego układu zasilania, przedstawienie propozycji zmian norm dotyczących emisji wyższych harmonicznych napięcia i natężenia prądu przez źródła światła LED.

Rozdział 3 jest obszerny i podzielony został na cztery części. W pierwszej Autor prezentuje podstawy fizyczne działania półprzewodnikowych źródeł światła. W kolejnym podrozdziale przedstawione zostały sposoby realizacji lamp na bazie wysokowydajnych diod LED. Trzecia część tego rozdziału poświęcona została omówieniu różnych topologii układów zasilających wbudowanych w lampy LED. W końcowej części rozdziału omówiono zagrożenia wynikające ze stosowania tego typu źródeł światła.

Rozdział 4 poświęcony został w całości zagadnieniom odkształceń prądów i napięć w sieci zasilającej. W rozdziale tym przedstawiono przyczyny powstawania wyższych harmonicznych prądu i napięcia. Opisano aparat matematyczny umożliwiający ocenę odkształceń przebiegów natężenia prądu i napięcia na podstawie analizy widmowej Fouriera. W rozdziale tym podano definicje parametrów określających wielkość

odkształcenia sygnałów od przebiegów sinusoidalnych. W dalszej części omówiono mechanizm odkształcania przebiegów prądów i napięć oraz typowe źródła tych odkształceń. W ostatniej części tego rozdziału przedstawiono wybrane metody ograniczania propagacji wyższych harmonicznnych, takie jak: modyfikacje fragmentów sieci zasilających, stosowanie transformatorów, filtrów pasywnych i aktywnych.

Rozdział 5 stanowi przegląd uwarunkowań prawnych dotyczących jakości energii elektrycznej. Autor przedstawia w nim obowiązujące normy dotyczące obwodów zasilania źródeł światła. W rozdziale tym przedstawiono parametry określające jakość energii elektrycznej, zwracając uwagę na różny charakter zakłóceń występujących w sieciach zasilających, w tym zakłócenia o charakterze ciągłym i o charakterze zdarzeń występujących nieregularnie. Badania jakie przeprowadzono w pracy odnoszą się do zdarzeń o charakterze ciągłym.

W rozdziale tym podano dopuszczalne wartości parametrów energii elektrycznej, do których w dalszej części pracy odniesiono wyniki przeprowadzonych pomiarów. Przedstawiono określony przez normy sposób badania odkształceń przebiegów prądów i napięć w instalacjach oświetleniowych oraz sposoby analizy wyników z podziałem na źródła o mocach poniżej i powyżej 25 W. Autor zwrócił tu uwagę na niejednoznaczność zapisów normy, dającą możliwość przyjmowania różnych kryteriów oceny.

Rozdział 6 i kolejne stanowią wkład własny Autora. Rozdział ten opisuje opracowane przez Autora stanowisko pomiarowe do badań źródeł światła LED. Stanowisko umożliwia badanie pojedynczych źródeł światła lub wielu obwodów jednocześnie.

Wyposażone zostało w sprzęt pomiarowy firmy FLUKE. Przeprowadzone wstępne badania wykazały konieczność odseparowania stanowiska od sieci energetycznej i zastąpienie jej w układzie pomiarowym zasilaczem UPS.

Rozdział 7 zawiera wyniki pomiarów badanych lamp LED oraz ich analizę. Wyniki pomiarów przedstawiono w postaci widm prądów oraz tabel. W analizie Autor skupił się głównie na wartościach współczynnika mocy PF, $\cos \varphi$ oraz amplitudach poszczególnych harmonicznnych natężenia prądu (od 3 do 7). W rozdziale tym pokazano również zarejestrowane przebiegi prądów i napięć. Wyniki zamieszczone w tym rozdziale zostały przedstawione w sposób jednoznaczny i czytelny, umożliwiając bezpośrednie porównanie parametrów poszczególnych lamp. Rozdział kończą wnioski z analizy uzyskanych wyników. Głównym wnioskiem z przeprowadzonych badań jest fakt przekraczania dopuszczalnych parametrów przez większość z badanych źródeł światła.

Rozdział 8 to propozycja układu tłumiącego propagację wyższych harmonicznnych natężenia prądu. Autor zaproponował zastosowanie dwustopniowego zasilacza, do zasilania obwodów oświetleniowych. Zasilacz składa się z układu korekcji współczynnika mocy FPC i prostownika, akumulatora oraz przetwornicy wyjściowej z filtrem biernym i transformatorem separującym. Taka struktura układu pozwala na skuteczną filtrację wyższych harmonicznnych natężenia prądu. Jednocześnie układ korekcji współczynnika mocy obniża pojemnościowy charakter obciążenia. Opracowany układ włączono w tor zasilania lamp LED na stanowisku pomiarowym. Pewnym niedociągnięciem tego rozdziału jest brak dokładnego schematu urządzenia z podaniem wartości elementów.

Rozdział 9 zawiera wyniki pomiarów zakłóceń emitowanych przez badane lampy po zastosowaniu opracowanego układu. Pomiary wykonano dla tych samych źródeł światła, wyniki których zamieszczono w rozdziale 7. W rezultacie zastosowania opracowanego układu uzyskano w większości przypadków istotną poprawę parametrów zasilania oraz obniżenie zakłóceń do poziomu zgodnego z normą. Najmniejszy wpływ na emisję wyższych harmonicznych natężenia prądu miał zastosowany układ w przypadku lamp zawierających prawdopodobnie w oprawie układ aktywnej korekcji współczynnika mocy. Lampy te bez zastosowania badanego układu charakteryzowały się najniższymi poziomami emitowanych zakłóceń. W końcowej części rozdziału zamieszczono analizę błędów wyników pomiarów. Uzyskane wyniki charakteryzują się dobrą powtarzalnością i podobnie jak w rozdziale 7 zostały przedstawione w sposób uporządkowany i czytelny. Pewien problem stanowi porównanie ich z wynikami uzyskanymi przed zastosowaniem zasilacza dwustopniowego.

Rozdział 10 zawiera sugestie Autora w zakresie możliwości modyfikacji Polskiej Normy dotyczącej kompatybilności elektromagnetycznej w zakresie emisji harmonicznych prądu w układach oświetleniowych z lampami LED. Autor zwraca uwagę na różne wymagania norm dla lamp do i powyżej 25W. Biorąc pod uwagę fakt, że znaczna część lamp LED będących w użyciu ma moc poniżej 25W ich łączna moc w wielu przypadkach może być wyższa niż lamp o większej mocy. Z tego względu wydaje się uzasadnione wprowadzenie jednakowych wymogów dla lamp w obu zakresach mocy. Wskazane jest również jednoznaczne określenie dopuszczalnych poziomów nieparzystych harmonicznych, jednakowych dla obu grup.

Rozdział 11 stanowi podsumowanie pracy.

Pracę kończy spis literatury zawierający 150 pozycji, w tym dyrektywy i obowiązujące normy z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej oraz noty katalogowe badanych lamp. W treści pracy znajdują się odwołania do wszystkich pozycji zamieszczonych w spisie literatury.

5. Ocena metodologii badań

Autor wykonał przegląd literaturowy a następnie dokonał wstępnej oceny możliwości przeprowadzenia badań przy zasilaniu układu pomiarowego z sieci energetycznej. W związku ze zbyt dużym poziomem zakłóceń opracował stanowisko pomiarowe wyposażone we własne źródło zasilania (UPS), odseparowane od sieci zasilającej. Przeprowadzone pomiary testowe wykazały niski poziom zawartości wyższych harmonicznych napięcia w zastosowanym źródle zasilania, umożliwiając przeprowadzenie badań lamp LED. Pomiary parametrów zasilania i zawartości wyższych harmonicznych w liniach zasilających lampy LED wykonano stosując wyspecjalizowany sprzęt pomiarowy. Uzyskane wyniki przeanalizowano i porównano z obowiązującymi w tym zakresie normami. W kolejnym etapie zaproponowano własne rozwiązanie. Wykonane pomiary porównawcze wykazały skuteczność zaproponowanego rozwiązania. Na podstawie wyników badań sformułowano wnioski dotyczące potrzeby modyfikacji zapisów normy dotyczącej kompatybilności magnetycznej. Podejście takie uważam za prawidłowe.

6. Ocena uzyskanych wyników

W ramach realizowanych badań Autor opracował stanowisko pomiarowe do badania parametrów lamp LED, umożliwiające badanie pojedynczych lamp oraz grup składających się z wielu lamp. Stanowisko umożliwia włączenie w obwód zasilania układów tłumiących propagację wyższych harmonicznych natężenia prądu. Stanowisko wyposażono w precyzyjny sprzęt pomiarowy.

Pomiary wykonywano wielokrotnie w seriach, uzyskując dobrą powtarzalność, co potwierdzają wyniki oceny statystycznej. Wyniki pomiarów zamieszczono w formie elektronicznej na płycie CD.

W wyniku przeprowadzonych badań Autor stwierdził, że znaczna część badanych źródeł światła nie spełnia wymogów norm w zakresie emisji wyższych harmonicznych natężenia prądu. Badania przeprowadzono dla różnych typów lamp znajdujących się w sprzedaży. Tylko nieliczne źródła spełniały kryteria emisji zakłóceń. Wskazuje to na dużą celowość podjęcia tej tematyki.

W kolejnym etapie badań Autor zastosował opracowany układ separujący nieliniowe źródła światła od źródła zasilania. Zastosowany dwustopniowy zasilacz zawiera kilka elementów mających wpływ na ograniczenie propagacji wyższych harmonicznych natężenia prądu. Są to układ aktywnej korekcji współczynnika mocy PFC, obwód napięcia stałego w postaci akumulatora, filtr pasywny oraz transformator. Układ ten spełnia założone zadanie. Kolejne serie pomiarów wykonanych dla tych samych lamp wykazują, że po jego zastosowaniu parametry energii spełniają wymogi norm. Widoczna jest wyraźna redukcja poziomu wyższych harmonicznych natężenia prądu oraz poprawa takich parametrów jak współczynnik mocy PF. Zmniejszona została wartość mocy biernej Q. Zastosowanie zasilacza przyniosło największe efekty w przypadkach źródeł o najgorszych parametrach. W przypadku źródeł spełniających wymogi norm poprawa parametrów była relatywnie mniejsza. Lampy te prawdopodobnie zawierają zamontowany wewnątrz oprawy układ korekcji współczynnika mocy, co może wskazywać na jego duże znaczenie w procesie tłumienia wyższych harmonicznych natężenia prądu również w opracowanym zasilaczu.

7. Uwagi redakcyjne.

Praca została zredagowana starannie lecz Autor nie ustrzegł się szeregu drobnych błędów edytorskich. Poniżej przytaczam niektóre z nich.

-str. 18 wers 19 – brak słowa „od”

-str 19 wers 15 – jest „produkującą”, powinno być „produkcją”

-str 22 wers 5 – brak „w”

-str. 23 wers 1 – powtórzone słowo „są”

-Autor często stosuje używany potocznie zwrot „pin” (np. str. 30), należy raczej stosować określenia „wyprowadzenie”, „wejście”, „wyjście”.

-str 38, drugi akapit w rozdziale 3.4 – jest „to prowadzić” powinno być „doprowadzić”

-str 76 wers 8 z dołu – jest „w” powinno być „z”

-str. 114 ostatni wers – powtórzone słowo „wartości”

-Autor często używa zwrotu „przebiegi czasowe” – wystarczy „przebiegi”

-str 123 wers 6 od dołu jest „w” powinno być „z”

-str 137 wers drugi – jest „został zmieniony” powinno być raczej „zmienił się”

- szkoda, że na wykresach w rozdziale 9 nie zamieszczono do porównania przebiegów prądów w układach przed zamontowaniem zasilacza dwustopniowego,
- Podpis pod rys. 3.16 sugeruje jakoby układ ten stabilizował prądy diod. Powinno być użyte sformułowanie „ograniczania” lub „wyrównywania”, ponieważ układ ten nie stabilizuje wartości prądu.
- Na schematach układów zasilania zamieszczonych w rozdziale 3 ograniczono się do podania nazw układów scalonych. Należało przynajmniej zamieścić oznaczenia elementów (R1, C1 ...).
- Na wykresie na rysunku 3.26 jako jednostkę dla „amplitudy sygnału” podano błędnie „%”. Procenty dotyczą wypełnienia impulsów, natomiast „amplituda” dotyczy strumienia.
- Na stronie 37 podano, że układ PWM służy do regulacji częstotliwościowej. Zasada podstawowa modulacji PWM zakłada stałą amplitudę i częstotliwość. Zmiany dotyczą czasu trwania impulsów.

8. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Podczas lektury rozprawy szczególną uwagę zwróciły następujące zagadnienia:

1. Choć praca dotyczy wpływu stosowania lamp LED na sieć zasilającą i podłączone do niej odbiorniki, szkoda że Autor nie odniósł się choć ogólnie do możliwego wpływu generowanych zakłóceń na komfort, czy nawet zdrowie ludzi, choćby z powodu możliwego migotania światła, będącego wynikiem tych zakłóceń.
2. Autor podaje, że dokonał wstępnej oceny jakości źródła zasilania UPS, ale nie podał jak na zawartość wyższych harmoniczných napięcia wpływa jego obciążanie. Ograniczył się jedynie do oceny zawartości harmoniczných napięcia w rozdziałach zawierających wyniki pomiarów. Wykonanie pomiarów parametrów źródła przy różnych wartościach obciążenia o charakterze rezystancyjnym umożliwiłoby rozszerzenie badań na grupy lamp o większej mocy.
3. Na str. 85 Autor przedstawia możliwość dowolnego dobierania mocy i rodzajów źródeł światła w wykonanym stanowisku pomiarowym. W pracy ograniczono się do przedstawienia wyników dla pojedynczych źródeł światła. Interesujące jest, jak na parametry zasilania wpływa stosowanie mieszanych źródeł światła, co w praktyce jest często stosowane. Czy Autor wykonał również takie badania?
4. Zastosowany w pracy układ do tłumienia propagacji wyższych harmoniczných natężenia prądu jest rozbudowany. Oprócz zasilacza dwustopniowego z obwodem napięcia stałego zawiera nowoczesne rozwiązanie w postaci układu aktywnej korekcji współczynnika mocy PFC, filtr bierny oraz transformator separujący. Czy Autor przeprowadził badania mające na celu określenie wpływu na tłumienie wyższych harmoniczných natężenia prądu poszczególnych elementów tego układu. Czy w przypadku uproszczenia układu można ograniczyć emisję zakłóceń do poziomu zgodnego z normą? Jak ewentualne uproszczenie wpłynęłoby na sprawność układu?
5. W pracy nie podano parametrów podzespołów zastosowanych do budowy zasilacza ani jego schematu ideowego. Należało przedstawić rozwiązania szczegółowe, ponieważ jest to jednym z celów pracy.
6. Czy analizując uzyskane wyniki Autor próbował określić przyczyny tak wysokiego poziomu zakłóceń niektórych badanych lamp LED sprawdzając

budowę układów elektronicznych zamontowanych w oprawach? Interesujące jest, czy we wszystkich lampach spełniających warunki normy zastosowano układ korekcji współczynnika mocy i czy tego typu układ znajduje się wewnątrz którejs z lamp drastycznie przekraczających wartości zapisane w normie.

7. Zaprojektowany zasilacz ma moc 80W. Czy wykonano pomiary obciążając zasilacz do mocy znamionowej? Pojedyncza lampa powoduje jego obciążenie maksymalnie w kilkunastu procentach.

Przedstawione uwagi redakcyjne i merytoryczne oraz pytania noszą w większości charakter dyskusyjny, a w części dotyczą możliwości rozszerzenia zakresu badań i nie wpływają na ogólną pozytywną ocenę pracy. Wskazane byłoby odniesienie się Doktoranta do tych zagadnień w trakcie publicznej obrony.

9. Wniosek końcowy

Uwzględniając treść recenzowanej rozprawy doktorskiej, a w szczególności zastosowane narzędzia badawcze, wykonane pomiary i przedstawione wyniki wraz z ich analizą, opracowane rozwiązanie sprzętowe układu ograniczającego propagację wyższych harmonicznych prądu stwierdzam, że cel rozprawy doktorskiej **Pana mgra Łukasza Putza pt. Badania i analiza wpływu wybranych układów sterująco-zasilających systemów elektroluminescencyjnych na parametry energii elektrycznej** został osiągnięty.

Moim zdaniem przedstawiona mi do oceny praca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w Ustawie o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Tomasz