

Dr hab. inż. Paweł Jabłoński, prof. PCz
Wydział Elektryczny
Politechnika Częstochowska



Częstochowa, 14.03.2018

Recenzja rozprawy doktorskiej
Pana magistra inżyniera Łukasza Putza
pt.

Badania i analiza wpływu wybranych układów sterująco-zasilających systemów elektroluminescencyjnych na parametry energii elektrycznej

Niniejszą recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej, prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego z dnia 30 stycznia 2018 roku zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej z dnia 23 stycznia 2018 roku.

1. Tematyka rozprawy

W ostatnich latach dokonał się istotny postęp w technice oświetleniowej, czego skutkiem jest powstanie ogólnodostępnych niedrogich elektroluminescencyjnych źródeł światła, zwanych popularnie LED. Najistotniejszą cechą z punktu widzenia użytkownika tego rodzaju źródeł światła jest ich względnie duża sprawność w zamianie energii elektrycznej na strumień świetlny, co pozwala na znaczące zmniejszenie zużycia energii elektrycznej. Z kolei poważną wadą takich źródeł, a właściwie ich układów zasilających, jest bardzo duże odkształcenie prądu, co w przypadku większej liczby źródeł niekorzystnie oddziałuje na inne odbiorniki energii elektrycznej. Zatem doktorant zajął się tematem bardzo istotnym i aktualnym – nie tylko przebadał wpływ rozpatrywanych źródeł na parametry energii elektrycznej (jakby to mógł sugerować tytuł rozprawy), ale także zaproponował oryginalne rozwiązanie techniczne oraz normatywne, mające na celu zmniejszenie negatywnego oddziaływania źródeł LED na jakość energii elektrycznej.

2. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa jest stosunkowo obszerna – zawiera 11 numerowanych rozdziałów i liczy 172 strony. Zawiera także streszczenie w języku polskim oraz angielskim. W dwóch początkowych rozdziałach doktorant uzasadnia wybór tematyki, formułuje cele i tezę pracy oraz określa zakres pracy. Rozdziały 3-5 stanowią przegląd znanych zagadnień teoretycznych. I tak w rozdziale trzecim doktorant charakteryzuje źródła LED wraz z wbudowanymi w nie układami zasilania, w rozdziale czwartym przytacza zagadnienia związane z wyższymi harmonicznymi w obwodach elektrycznych, a w rozdziale piątym opisuje prawne i normatywne aspekty jakości energii elektrycznej. Kluczowe zagadnienia, będące osiągnięciami własnymi Autora rozprawy, opisane są w rozdziałach 6-10, w których doktorant przedstawia kolejno: zaprojektowane i zbudowane przez siebie stanowisko do badań odkształcenia prądu i napięcia podczas zasilania źródeł światła, wyniki badań nad 10 kompaktowymi lampami LED, propozycję zasilacza dwustopniowego jako układu tłumiącego propagację wyższych harmonicznymi natężenia prądu, wyniki badań nad tymi samymi lampami z zastosowaniem zaproponowanego zasilacza dwustopniowego oraz propozycję nowelizacji Polskiej Normy dotyczącej harmonicznymi prądu w układach oświetlenia LED. Pracę kończy podsumowanie oraz obszerna bibliografia – łącznie 150 pozycji, z czego 11 dotyczy stron internetowych. Ogromna większość pozycji literaturowych pochodzi z kilku ostatnich lat. Na uwagę zasługuje duża liczba publikacji doktoranta – jest ich 27, w tym 11 samodzielnych, a wszystkie dotyczą źródeł LED. Świadczy to o dobrze zaplanowanych badaniach i realizowaniu kolejnych etapów badań przewidzianych do rozprawy doktorskiej.

3. Teza i cel rozprawy

Doktorant formułuje tezę w następującym brzmieniu:

Istnieje możliwość poprawy jakości energii elektrycznej w sieciach zasilających obwody oświetleniowe z lampami LED zawierającymi zintegrowane układy sterująco-zasilające poprzez modyfikację układu zasilania elektroluminescencyjnych źródeł światła i zastosowanie zasilaczy dwustopniowych.

Do celów pracy należą: zbadanie emisji wyższych harmoniczných prądu i napięcia przez kompaktowe lampy LED, zaprojektowanie układu tłumiącego wyższe harmoniczne prądu, zbadanie jego skuteczności oraz zaproponowanie zmian normatywnych w zakresie instalacji z lampami LED. Aby zrealizować cele rozprawy i udowodnić tezę, Autor jasno określił szczegółowy zakres pracy. Uważam, że został on zrealizowany podczas badań, których wyniki przedstawione są w rozprawie.

4. Osiągnięcia naukowe zawarte w rozprawie

Za osiągnięcia naukowe Autora rozprawy uważam:

- 1) Opracowanie i zbudowanie układu zasilacza dwustopniowego do tłumienia wyższych harmoniczných prądu w instalacjach z oświetleniem elektroluminescencyjnym;
- 2) Wykazanie, że możliwe jest obniżenie zawartości wyższych harmoniczných prądu za pomocą zaproponowanego zasilacza;
- 3) Wskazanie niejasności i braków normatywnych dotyczących jakości energii elektrycznej w instalacjach z oświetleniem typ LED;
- 4) Zaproponowanie modyfikacji Polskich Norm w zakresie jakości energii w instalacjach z oświetleniem elektroluminescencyjnym;
- 5) Zaprojektowanie i zbudowanie stanowiska do badań przebiegów prądu i napięcia w instalacjach z kompaktowymi lampami LED;
- 6) Analiza przebiegów prądu i napięcia dla odbiorników w postaci różnego rodzaju kompaktowych lamp LED;
- 7) Wykazanie, że wiele z przebadanych lamp, dostępnych obecnie na rynku, nie spełnia wymagań normatywnych co do pobieranego prądu.

5. Uwagi ogólne i szczegółowe

W dalszej części do określenia lokalizacji fragmentu tekstu stosuję notację s^g oraz s_d , mając na myśli odpowiednio g -ty wiersz licząc od góry na stronie s oraz d -ty wiersz licząc od dołu na stronie s .

- 1) Pracę czyta się z zainteresowaniem. Jest napisana poprawnym i jasnym językiem (drobne uwagi szczegółowe znajdują się dalej). Również pod względem składu nie mam zastrzeżeń. Rysunki są czytelne i odpowiednio opisane. Symbole stosowane we wzorach są objaśnione. Autor stosuje poprawną terminologię oraz właściwe jednostki wielkości fizycznych. Odwołania do literatury występują w stosownych miejscach. Autor dość szczegółowo opisuje warunki przeprowadzania pomiarów. Tytuł pracy oddaje jej treść.
- 2) Teza pracy wydaje mi się dość oczywista, tym bardziej, że w punkcie 4.5 Autor sam pisze, iż „współczesny stan wiedzy i techniki pozwala (...) całkowicie wyeliminować odkształcenia napięć i prądów” i że rozwiązania obecnie stosowane stanowią kompromis ekonomiczny. Rozumiem jednak, że nie jest z góry oczywiste, że będzie to możliwe z zastosowaniem zasilacza dwustopniowego o proponowanej konstrukcji.

- 3) Po przeczytaniu rozprawy pozostałem z pewnym niedosytem, że nie zostały w niej bardziej uwypuklone treści naukowe, że nie ma w niej trochę więcej aspektów teoretycznych, jak chociażby analizy przebiegów prądów i napięć w opracowanym zasilaczu, a praca w dużej mierze jest opisem znanych zagadnień, opisem pomiarów i opracowaniem ich wyników. Pracy broni jednak projekt zasilacza (choć na jego omówienie poświęcono w moim odczuciu zbyt mało miejsca) i jego wykonanie, poprawne zaprojektowanie pomiarów, analiza wyników pomiarów, a także analiza uwarunkowań prawnych i normatywnych i propozycja ich nowelizacji.
- 4) Autor wykazał, że zaproponowany zasilacz pozwala na istotną poprawę przebiegu prądu w sensie normatywnym, w szczególności na zmniejszenie zawartości harmonicznych prądu oraz zmniejszenie poboru mocy biernej pojemnościowej. Nasuwają mi się tutaj trzy pytania:
- a) Czy istnieją inne rozwiązania zasilaczy korygujące przebieg prądu w kompaktowych lampach LED, a jeśli tak, to co wyróżnia proponowane rozwiązanie spośród istniejących?
 - b) Proponowany zasilacz z pewnością zwiększy koszt instalacji lub lampy (gdyby wbudować go w oprawę). Autor słusznie zauważył, że wprowadza on dodatkowy pobór mocy, a jego sprawność wynosi od 69% do 82%, z możliwością zwiększenia do 88%. To tylko jeden z aspektów ekonomicznych. Czy Autor może podać szacunkowe informacje dotyczące analizy ekonomicznej, np. kosztów budowy samego zasilacza? Czy jest sens stosowania go w pojedynczej oprawie, czy też raczej tylko do oświetlenia grupowego?
 - c) Jakkolwiek proponowany zasilacz doprowadza parametry przebiegu natężenia prądu pobieranego przez lampę LED do poziomów akceptowalnych wg norm, to jednak przebiegi natężenia prądu po zastosowaniu układu korygującego wydają się bardziej „poszarpane” niż w układzie bez korekcji (np. rys. 7.4 i rys. 9.2). Pozostawia to wrażenie, że jeden problem został rozwiązany, ale w jego miejsce pojawił się inny. Czy Autor widzi możliwość „wygładzenia” prądu w układzie z proponowanym zasilaczem?
- 5) Czy dla danego rodzaju lampy LED wyniki pomiarów są powtarzalne? Z przeprowadzonej analizy statystycznej można wnosić, że badania przeprowadzono na tym samym egzemplarzu danej lampy (124²). Czy wszystkie badania prowadzono na tym samym egzemplarzu danej lampy, czy też na różnych egzemplarzach? Moim zdaniem ma to znaczenie, zwłaszcza w kontekście późniejszej analizy statystycznej.
- 6) Nie jest jasne, czy w tabelach dotyczących wyników pomiarów dla poszczególnych lamp (np. tabela 7.2, 7.4 itd.) zawarte są wyniki uśrednione z serii pomiarowych, czy też wyniki pojedynczego pomiaru; nie jest to może bardzo istotne w tej pracy, gdyż z analizy statystycznej przedstawionej w pracy wynika, że powtarzalność pomiarów była bardzo dobra, jednak do dobrej praktyki należy jasne określenie warunków, w jakich uzyskano prezentowane wyniki.
- 7) Na rynku pojawiają się coraz to nowsze kompaktowe lampy LED. Jakkolwiek wykracza to poza zakres rozprawy, to interesujące byłoby kilka słów na temat, czy te nowsze modele lamp zachowują się podobnie do tych, które są lub były standardowo stosowane w badanych lampach, czy też producenci w nowszych konstrukcjach starają się uzyskać bardziej akceptowalne przebiegi prądu?
- 8) Uwagi językowo-redakcyjne:
- a) Autor używa czasami określeń: „wysoki współczynnik mocy” (37⁹), „niska impedancja” (52¹¹), „wyższe wartości” (52¹²), „niskie wartości” (97³) itp.; użycie przymiotników „niski” i „wysoki” jest w takich sformułowaniach niepoprawne, powinno się raczej użyć „mały” lub „duży”.
 - b) Autor konsekwentnie stosuje skrót „rys.” w zwrotach typu „przedstawiono na rys. X.Y”; wg prawideł redakcyjnych w tego rodzaju sformułowaniach (tzn. gdy odwołujemy się do



rysunku w treści) należy używać pełnej formy „przedstawiono na rysunku X.Y”, natomiast skrót „rys. X.Y” stosuje się we wtrąceniach, np. w nawiasach lub po myślniku.

- c) W niektórych zdaniach (nie jest ich wiele) brakuje przecinków (np. 9⁹: brak przecinka przed „był Henry Joseph Round”; 33¹⁶: pomiędzy „termiczne” a „przebieżeniowe”; 42¹³: przed „wzór (4.2)”; z kolei niekiedy pojawia się niepotrzebny przecinek (np. 60₂: po „transformatory”).
- d) Autor stosuje na ogół poprawną notację (oznaczenia) dla wielkości fizycznych; czasami jednak nie jest konsekwentny i zmienia nagle oznaczenie (np. na oznaczenie k -tej harmonicznej stosuje niekiedy h_k , niekiedy h_k a czasami hk). Zdarza się, że cyfry w indeksach symboli napisane są pismem pochyłym, a powinny być pisane antykwą (f_1 a nie f_1 – np. s. 42). Podobnie nawiasy także zapisuje się pismem prostym a nie pochyłym (np. s. 41). Chociaż drobnych uchybień redakcyjnych tego rodzaju nie jest wiele, to jednak rzucają się one w oczy. Polecam doskonałą pracę profesora Krystyna Pawluka pt. *Jak pisać teksty techniczne poprawnie*.
- e) Niejasne lub niepoprawne sformułowania oraz informacje budzące wątpliwości:
- 10³: sformułowanie „elektrony (...) krążące po ściśle określonych orbitach” wydaje się podsuwać planetarny, a więc niezgodny z rzeczywistością, obraz atomu;
 - 10⁶⁻⁷: fragment mówiący, że elektrony poruszają się na orbitach coraz szybciej i nabierają energii jest niezgodny z obecnie przyjętą teorią kwantową;
 - 11₄₋₅: nie bardzo rozumiem sformułowania „napięcie o potencjale ujemnym” oraz „napięcie o potencjale dodatnim”;
 - 22₁₁: raczej nie dla diody, lecz modułu;
 - 28₃: nie bardzo rozumiem sformułowanie „galwaniczne odseparowanie napięć”, zapewne chodzi o odseparowanie obwodów;
 - 37₁₄: „zastosowanie pojemności” → „zastosowanie kondensatora”;
 - 55¹²: wydaje mi się, że zamiast 20% powinno być 10% – tak przynajmniej wynika z rysunku 4.8;
 - 56¹²⁻¹⁴: zdanie „Analizując przedstawione wyżej przykłady, szkody wynikające z oddziaływania (...) są z pewnością kosztowne.” jest niepoprawne stylistycznie;
 - 87¹⁵: „rejestrowane pomiary” – rejestruje się nie pomiary, lecz wyniki pomiarów;
 - 87¹⁶: „przesłane na komputer” – przesłane do (pamięci) komputera;
 - 92¹⁴: w tabeli 7.1 podano, że liczba diod LED dla lampy COB 12 W E27 wynosi 1, co wydaje mi się liczbą zbyt małą;
 - 101¹⁰: w tabeli 7.7 podano, że liczba diod LED dla lampy COG 8 W E27 wynosi 8, ale wydaje mi się, że jest to 6.
- f) Literówki:
- 9₁: „struktury” → „strukturę”;
 - 37₁₅: „mikro sterownik” → „mikrosterownik”;
 - 44₁₆: $IHD_I \rightarrow IHD_{Ik}$;
 - 69¹⁵: „zbór” → „zbiór”;
 - 87¹⁰: „wartości” → „wartościami”;
 - 152₄: „fazowego” → „fazowe”;
 - 164₁₅: „Jagielka” → „Jagieła”.

6. Ocena rozprawy

Przedstawione w punkcie 5 uwagi krytyczne i komentarze nie umniejszają osiągnięć Autora. Część uwag ma charakter dyskusyjny, część zaś dotyczy drobiazgów redakcyjno-językowych. Nie podważają one mojej pozytywnej opinii o rozprawie. Sądzę, że wszystkie uwagi zostaną wyjaśnione w trakcie publicznej obrony rozprawy. Podtrzymuję moją opinię o osiągnięciach naukowych rozprawy przedstawioną w punkcie 4.

 4

Podsumowując, stwierdzam, że uzyskane wyniki udowadniają postawioną tezę i realizują cele rozprawy oraz stanowią jednocześnie istotne poszerzenie wiedzy z zakresu elektrotechniki. Uważam, że Autor rozprawy wykazał się wiedzą z zakresu elektrotechniki, w szczególności oświetlenia LED-owego oraz umiejętnością prowadzenia badań naukowych.

7. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Łukasza Putza pt. *Badania i analiza wpływu wybranych układów sterująco-zasilających systemów elektroluminescencyjnych na parametry energii elektrycznej* stanowi oryginalny dorobek naukowy w dyscyplinie elektrotechnika i w pełni spełnia wymagania obowiązującej ustawy o stopniach i tytule naukowym, dotyczące rozpraw doktorskich. Wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.