

07.03.2015 r.

dr hab. inż. Ryszard Skliński, prof. nzw. PB
Katedra Zarządzania Produkcją
Wydział Zarządzania
Politechnika Białostocka
ul. Ojca Tarasiuka 2
16-001 Białystok

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. Juliana Wosika pt.: „Aktywna kompensacja mocy biernej w dołowych sieciach kopalnianych”

1. Podstawa opracowania

Recenzję rozprawy doktorskiej mgra inż. Juliana Wosika pt. „Aktywna kompensacja mocy biernej w dołowych sieciach kopalnianych” opracowano na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej prof. dr hab. inż. Waldemara Rebizanta, zgodnie z Uchwałą Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej z dnia 24 listopada 2014r.

2. Temat rozprawy i jego uzasadnienie

Praca doktorska mgra inż. Juliana Wosika pt. „Aktywna kompensacja mocy biernej w dołowych sieciach kopalnianych” dotyczy aktualnych zagadnień naukowych i technicznych w zakresie kompensacji mocy biernej i analizy standardów jakości energii elektrycznej, wpisuje się w wykonywane od kilkadziesiąt lat prace badawcze i aplikacyjne w sieciach rozdzielczych i odbiorczych, zlokalizowanych w podziemnych wyrobiskach górniczych. W sieciach tych występują specyficzne uwarunkowania. Układy zasilania zakładów górniczych obejmują napowietrzne sieci o napięciu znamionowym 110kV, w tym transformatory sieciowe 110/6 kV instalowane na powierzchni. Napięcie średnie 6 kV wykorzystywane jest do zasilania głównych odbiorów powierzchniowych (napędy maszyn wyciągowych, sprężarek powietrza i wentylatorów głównego przewietrzania) oraz urządzeń elektroenergetycznych przesyłu i rozdziału energii elektrycznej w podziemiach zakładów górniczych (ZG). Pod ziemią napędy urządzeń urabiających i transportowych zasilane są z sieci kablowych o napięciu znamionowym 3,3

kV. Są to sieci trójfazowe, trójprzewodowe o izolowanym punkcie neutralnym (sieci typu IT). Sieci kablowe 6 kV mogą osiągać znaczne długości (do ok. 10 km), a sieci niskiego napięcia – do kilkuset metrów. Powoduje to znaczne spadki napięć, szczególnie podczas rozruchów bezpośrednich dużych silników asynchronicznych. W sieciach kopalnianych od kilkudziesięciu lat (od lat 90 ubiegłego stulecia) znacząco wzrosła liczba przekształtników.

W tak wybranym poligonie badawczym występują wszystkie problemy eksploatacyjne trapiące użytkowników sieci elektroenergetycznej – w tym przepływ, w tych sieciach, prądów odkształconych względem prądów przemiennych sinusoidalnych. Obecność w podziemiach kopalni coraz większej liczby urządzeń wrażliwych na odkształcenia napięcia (spowodowane odkształconymi prądami) takich jak urządzenia automatyki, zabezpieczeń i teletechniki powoduje, iż występowanie odkształconego napięcia traktuje się jako zjawisko bardzo niepożądane. W takim środowisku stało się konieczne nie tylko ograniczenia mocy biernej, ale również wyeliminowanie innych niekorzystnych skutków związanych z przepływami prądów odkształconych, które ściśle związane są z parametrami i standardami jakości energii elektrycznej.

Taka złożoność zjawisk w obwodach o odkształconych niesinusoidalnych przebiegach prądów i napięć oczekuje przez długi już okres czasu na uporządkowane ustalenie naukowych podstaw teoretycznych do aktywnej kompensacji – tak jak to ma miejsce w odniesieniu do obwodów o przebiegach okresowych i sinusoidalnych.

Autor niniejszej rozprawy doktorskiej przeprowadził analizę literaturową istniejących opracowań naukowych z zagadnień teorii mocy w celu zaadoptowania najbardziej przydatnej pod względem opisów matematycznych, zachodzących zjawisk fizycznych oraz przydatności algorytmów opisujących te zjawiska do celów aplikacyjnych.

Analiza literaturowa badania i powyższych zjawisk w obwodach prądów odkształconych oraz ich analiza umożliwiły autorowi sformułowanie tematu niniejszej pracy doktorskiej, a następnie sprecyzowanie celu pracy, ustalenie jej tezy i określenie zakresu pracy.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Wydana drukiem rozprawa doktorska mgr inż. Juliana Wosika liczy 190 stron. Składa się z 8-miu rozdziałów, uwag i wniosków końcowych, podsumowania i wykazu literatury obejmującej 247 pozycji, bez podziału na pozycje książkowe, artykuły i inne publikacje w języku polskim i angielskim, tematycznie związanych z treścią rozprawy i w

większości cytowanych w tekście tej rozprawy. Po spisie treści zamieszczono wykaz ważniejszych symboli, oznaczeń i skrótów wykorzystywanych w rozprawie.

Praca wykonana jest pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Bogdana Miedzińskiego.

Można wyróżnić pięć części pracy. Część pierwsza: we wstępie (rozdział 1) autor uzasadnia sformułowania celu i zakresu pracy.

Druga część pracy (rozdział 2) stanowi „przeгляд wybranych teorii mocy. Autor udowadnia, że występują istotne różnice w konkluzjach tych teorii w przedstawionych algorytmach wielkości – zdaniem Autora rozprawy - „trudno porównywalnych”, co prowadziło do nieporozumień oraz różnej interpretacji zjawisk fizycznych. Stąd, zdaniem autora, pojawia się „konieczność zapewnienia poprawności matematycznej i poprawnego wyjaśniania zjawisk fizycznych, towarzyszących przepływowi energii oraz właściwego zinterpretowania technicznego sensu” analizowanych teorii związanych z definicją mocy biernej i czynnej - dla różnych obwodów elektrycznych w tym z okresowymi przebiegami napięcia i prądu opisanymi w postaci szeregów Fouriera. Autor rozważa i analizuje kilkanaście (15) teorii mocy. Analiza ta kończy się posumowaniem, uwagami krytycznymi oraz konkluzją iż, zdaniem autora najbardziej spójną teorią mocy pozwalającą wyjaśnić i zinterpretować zjawiska energetyczne zachodzące w obwodach z niesinusoidalnymi przebiegami prądów i napięć oraz w obwodach niezrównoważonych jest teoria mocy składowych fizycznych prądu (CPC) opracowana przez L.S. Czarneckiego. Teoria ta umożliwia wyodrębnienie w ogólnym przypadku, z prądu obciążenia, pięciu prądów składowych, co z kolei umożliwia praktyczną realizację poprawy parametrów jakościowych.

Autor do realizacji pracy wykorzystał teorię składowych fizycznych prądu (TSFP-CPC) Czarneckiego (strona 72 rozprawy).

Część trzecia pracy obejmuje analizę pracy odbiorników nieliniowych w elektroenergetycznych sieciach kopalnianych – poświęcony jest temu rozdział 4-ty.

Część czwarta to wybór teoretycznych podstaw kompensacji i opracowanie algorytmu sterowania aktywnym filtrem mocy (APF) – rozdział 5-ty.

W celu zweryfikowania poprawności przyjętej koncepcji rozwiązania aktywnego filtra mocy do realizacji modelu fizycznego (w oparciu o opracowany algorytm własny autora zgodnie z teorią CPC) opracowano odpowiednie modele i przeprowadzono badania oraz analizy symulacyjne na specjalnie do tego celu opracowanych modelach układów w Matlabie-Simulink'u, wraz a aktywnym filtrem mocy. Badania przeprowadzono dla sinusoidalnego symetrycznego źródła zasilania w bardzo szerokim zakresie zmian parametrów odbiornika, zarówno symetrycznego jak i niesymetrycznego (zmianom podlegał charakter odbiornika (R,

L, RL) jak i wartości parametrów. W przypadku odbioru niesymetrycznego badania przeprowadzono dla odbiorników o różnym stopniu asymetrii. W przypadku odbioru nieliniowego w postaci mostka tyrystorowego 6-cio pulsowego, badania prowadzone były dla różnych kątów opóźnienia przewodzenia (0° , 30° , 60°) oraz dla różnego charakteru obciążenia obwodu wyjściowego tego mostka (R, L, RL). Autor w pracy zamieścił wybrane wyniki badań symulacyjnych dla typowych obciążeń zdefiniowanych w pracy – rozdział 6-ty rozprawy.

Czwarta część obejmuje zaprojektowanie i wykonanie fizycznego laboratoryjnego modelu aktywnego filtra mocy. Strukturę opracowanego modelu przedstawiono na schemacie blokowym (rys.7.1) w rozdziale 7.

Piąta część pracy obejmuje badania laboratoryjne efektywności pracy (opracowanego przez Autora rozprawy) aktywnego układu kompensacji mocy biernej (kompensatora). Badania przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym – wykonanym przez Autora – rozdział 8 pracy. W rozdziale tym przedstawione są wyniki badań efektywności kompensacji aktywnej: w stanach ustalonych pracy odbiornika nieliniowego i niesymetrycznego. Zamieszczone są również wyniki badań laboratoryjnych efektywności kompensacji w stanach przejściowych.

Uwagi i wnioski zawarto w rozdziale 9-tym a podsumowanie w rozdziale 10-tym.

Literaturę zestawiono w rozdziale 11-tym. W przedstawionych 247 pozycjach zawarto: 7 pozycji referatów, w których autor niniejszej rozprawy jest współautorem. Pięć z tych referatów jest opracowanych w języku angielskim, jedna praca nie jest publikowana.

Zamieszczone referaty podlegały recenzjom.

4. Cel i teza pracy i jej uzasadnienie

Celem pracy było: „opracowanie podstaw do praktycznej realizacji efektywnej, aktywnej kompensacji mocy biernej w dołowych sieciach kopalnianych, zasilających odbiory nieliniowe”. Autor sformułował tezę pracy doktorskiej, w której stwierdza, że: „poprzez dobór wartości prądu referencyjnego aktywnego filtra mocy możliwa jest realizacja elektrycznej kompensacji mocy biernej w układach zasilających o odkształconych przebiegach prądów i napięć”.

Oryginalność postawionej tezy zawiera się w nowym, kompleksowym ujęciu zagadnień związanych z szeroko zakrojoną i przekonywującą analizą literaturową oraz na wynikach własnych badań symulacyjnych. Autor wybrał najbardziej przydatną obecnie do realizacji aktywnej kompensacji metodę opartą na teorii TFSP (CPP) z analizą sygnałów napięcia i

prądu w dziedzinie częstotliwości. Dzięki temu i w oparciu o własny model fizyczny aktywnego kompensatora Autor przeprowadził badania symulacyjne na specjalnie sporządzonym stanowisku laboratoryjnym, dla sprawdzenia głównej tezy pracy.

5. Wykaz najważniejszych osiągnięć Autora

Za oryginalne osiągnięcia autora rozprawy można uznać:

- wyodrębnienie i wykorzystanie do realizacji pracy doktorskiej najbardziej spójnej teorii mocy umożliwiającą wyjaśnienie i interpretację zjawisk energetycznych zachodzących w obwodach z niesinusoidalnymi przebiegami napięć i prądów. Jest to teoria mocy składowych fizycznych prądu (CPC) opracowana przez L.S. Czarneckiego. Wyodrębnienie – w ogólnym przypadku – z prądu obciążenia pięciu prądów, umożliwiło pracę nad praktyczną realizacją poprawy parametrów jakościowych. Wylimitowanie: prądu przesunięcia fazowego (i_r) związanego z przepływem mocy biernej; prądu rozrzutu (i_s) występującego w obciążeniu źródła o napięciu odkształconym; prądu niezrównoważenia (i_u) oraz; prądów wyższych harmonicznych (i_B), generowanych przez odbiornik nieliniowy – sprawia, że źródło jest obciążone prądem aktywnym (i_a) związanym z energią czynną, pobieraną ze źródła przez odbiornik,
- wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych oraz ich analizę, która umożliwia wykorzystanie określonych przebiegów prądów i napięć do sterowania kompensacją mocy biernej,
- projekt własny i wykonanie modelu fizycznego układu aktywnego fizycznego kompensatora mocy biernej, przeznaczonego do pracy w obwodach z odbiornikami nieliniowymi,
- wykonanie badań laboratoryjnych efektywności pracy kompensatora i sformułowanie wniosków oraz wytycznych dotyczących pracy układów aktywnej kompensacji mocy biernej odbiorników nieliniowych.

6. Uwagi szczegółowe

Usterki redakcyjne i niekonsekwencje opisów:

1. Str. 7, 4 wiersz od góry I_1 - powinna być I_n .
2. Str 7, 5 i 6 wiersz od góry: jest K_i a na str. 136 zał. (7.3) jest K_l ; K_{pc} , K_{ic} - a na str. 137 zał. (7.6) jest K_{pc} oraz K_{ic}

3. Str. 7, wiersz 25 od góry literówki jest „napięciuach” zamiast napięciach. Str. 7 wiersz 15 od góry: łączenie napisano „...zmianachwilowej”.
4. Str. 8, wzór THD- opis: napisano „współczynnik odkształcenia z indeksem k harmonicznym” a we wzorze jest h.
5. Str. 9, 9 wiersz od góry napisano: „...odbiorom” a w „wykazie” (str.6) napisano: odbiornik – często w pracy słowa te występują zamiennie.
6. Str. 9, napisano: „Fakt ten przyczynił się do umocnienia pozycji prądu przemiennego w elektroenergetyce”. Słowo: „pozycja prądu” wydaje się niezręczną redakcją.
7. Str.9, 12 wiersz od góry: napisano: „charakter czynno-indukcyjny (RL)”, powinno być raczej charakter rezystancyjno-indukcyjny (RL).
8. Str. 9, 9 wiersz od dołu, jest: „Podczas przepływu mocy czynnej, mniejszej od pozornej „potencjał” urządzeń przesyłowych nie jest w pełni wykorzystany”. To prawda, jednak chyba byłoby dobrze nie używać terminów w cudzysłowie, które nie oddają istoty problemu w elektrotechnice.
9. Str. 10, opis wielkości wykorzystywanych w zależności (1.4): drugi opis $I_{(t)}$; powinno być $i_{(t)}$, gdyż wzór dotyczy wielkości chwilowej prądu.
10. Str. 10, 7 wiersz od dołu jest: „... oraz dosyłu i rozdziału energii elektrycznej” – powinno być przesyłu.
11. Str. 12, rys. 1.1.: kropka na końcu opisu pod rysunkiem – tak jest prawie we wszystkich rysunkach – a nie powinno. Ponadto w podpisie pod rysunkiem pojawił się znowu opis w cudzysłowie: „odbioru ścianowe”.
12. Str. 13, 7 wiersz od góry, jest: z izolowanym punktem zerowym...” – powinno być z izolowanym punktem neutralnym, a następnie też na tej samej stronie, 4 wiersz od dołu jest: „rozszerzników lekkich” – powinno być rozruchów lekkich.
13. Str. 13, 25 zależność (1.6), (2.15), (2.16) i kilka następnych – autor nie podaje źródeł literaturowych, z których zaczerpnięto te zależności.
14. Str. 17, rys.1.2: w opisie brakuje informacji o kompensatorze kluczującym, nie jest też opisana wielkość impedancji Z_L .
15. Str. 73. p.4: tekstu pomiędzy punktem 4 a podpunktem 4.1. być nie powinno. Ten tekst powinien być we wstępie, a ostatni akapit, w którym przedstawia się urządzenia elektroenergetyczne do badań, powinien być wyeksponowany jako oddzielny podpunkt.
16. Str. 73, rys. 4.33 w schemacie jednoliniowym pokazano liczbę przewodów w obwodzie silnika i transformatora T1 – a nie pokazano na szynach zbiorczych.

17. Str. 96, 4 wiersz od dołu, jest „Dla niezerowej zatem impedancji wewnętrznej źródła napięcia zasilającego, zgodnie z rys. 2.9..” – a na rys. 2.9 jest: Z_S - impedancja zastępcza sieci zasilającej, a w tabeli (str.7) jest: Z_s – impedancja wewnętrzna źródła zasilania.
18. Str. 102 i 103: opisy na rys. 6.2 i 6.3 nie są czytelne, to samo rys. 6.5 na str. 107.
19. Str. 119, rys. 6.9: zły symbol indukcyjności.
20. Str.130: literówki w punktach a) oraz b).
21. Str. 133 i str. 135 – są dwa różne rysunki pod wspólną numeracją rys. 7.1.
22. Str. 135, 4 wiersz od góry – przywołano rys. 7.2c – nie ma w tej pracy takiego rysunku, jest 7.1 C.
23. Str. 148 tab. 81: Tytuł, „główne parametry stanowiska laboratoryjnego” powinno być: główne parametry urządzeń stanowiska laboratoryjnego.
24. Str. 153. – rysunku 8.7 w tej formie nie powinno się zamieszczać – odbicie lampy błyskowej niemal w centralnym miejscu - można było np. zamieścić bitmapę z komputera.
25. Str. 161; 6 wiersz od dołu: „.....Rezystancję R włączono pomiędzy fazy L1 i L3 Jak ilustruje rys. 8.6” – a na rys. 8.6 jest R_1 .

7. Uwagi merytoryczne i polemiczne

1. Wstęp do pracy jest zbyt długi (9 stron).
2. Brakuje w pracy przeglądu istniejących na rynku filtrów aktywnych oraz ich analizy porównawczej pod kątem skuteczności kompensacji mocy oraz stosowanych obecnie sposobów (metod) i algorytmów sterowania.
3. Brakuje w pracy wykazania różnic w metodach/algorytmach sterowania oraz wykazania ewentualnej przewagi zaproponowanego filtra w stosunku do istniejących na rynku – czym różni się zaproponowany filtr od innych, które przecież pracują od wielu lat i to raczej dobrze spełniają swoją rolę.
4. W podsumowaniu rozdziału 2-go (punkt 2.16) zestawiono i porównano tylko 5 teorii mocy, natomiast wcześniej przedstawiono ich 15-cie. Dlaczego nie zostały wzięte pod uwagę pozostałe teorie. Stąd analiza porównawcza teorii mocy pod kątem ich przydatności do projektowania filtrów do kompensacji mocy biernej i odkształceń wydaje się być niekompletna. Czy na pewno żadne inne teorie nie nadają się do sterowania filtrów?

5. Na jakiej podstawie stwierdzono, że kompensacja była efektywna, jaki był wskaźnik efektywności kompensacji i co oznacza że kompensacja była efektywna lub nie?
6. Jak można ocenić efektywność kompensacji przy pomocy zaproponowanego filtra względem istniejących obecnie konkurencyjnych na rynku i czy rzeczywiście można całkowicie zdyskredytować tradycyjne metody kompensacji wykorzystujące baterie kondensatorów i filtry pasywne – istniejące na rynku i wykorzystywane w praktyce, przy równoczesnym uwzględnieniu ceny urządzenia.
7. W rozprawie odczuwa się brak odniesienia do problemu pomiaru. Autor rozprawy prezentuje metody badań laboratoryjnych i poligonowych, wyciąga na ich podstawie wnioski nie precyzując z jaką dokładnością oszacowane zostały wartości z pomiarów (ew. modelowe).
8. Str. 95 zabrakło ogólnego posumowania badań terenowych. Omówienia wykresów lub zamieszczenia tabeli w celu wykazania w poszczególnych badaniach podobieństwa lub różnic.
9. Str. 132, 1 wiersz od góry. Stwierdzono, że „odkształcenia napięć są stosunkowo małe (THD<3%)” w przeprowadzonej analizie „przebiegów napięć i prądów elektroenergetycznych układach kopalnianych” (stwierdzenie na str. 131 wiersz 2-gi od dołu). Znane są sieci kopalniane (powierzchniowe i dołowe) o wartościach THD (w napięciu) na poziomie kilkunastu %.

Uwagi dotyczące aparatury

10. Str. 75, podpunkt 4.1.:” FLUKE 196c” to oscyloskop a nie analizator jak napisano w tekście. Firma FLUKE ma w ofercie analizatory ale 196C nim nie jest.
11. Str. 85- dotyczy rysunków 4.15 do 4.20: Rysunki te pochodzą z FLUKE 196C, a w opisie podano, że z analizatora DRANETZ – przy tym źle opisując jego nazwę jako „DRENTZ”.

8. Ogólna opinia o rozprawie

Przedstawione wyżej uwagi krytyczne, usterki redakcyjne i niekonsekwencje zapisów nie umniejszają mojej wysokiej oceny opiniowanej pracy. Na szczególne podkreślenie zasługuje wielowątkowość tej pracy pod względem teoretycznym jak też aplikacyjnym z podkreśleniem: opracowania, zaprojektowania i uruchomienia stanowiska laboratoryjnego, umożliwiającego weryfikację laboratoryjną efektywności pracy, opracowanego przez Autora niniejszej rozprawy, aktywnego układu kompensacji mocy biernej.

W recenzowanej rozprawie doktorskiej zawarte są uporządkowane, szczegółowe rezultaty rozważań teoretycznych i badań laboratoryjnych ilustrujące, wymienione w niniejszej recenzji, dokonania Doktoranta.

Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością problemów teoretycznych i praktycznych występujących w nowoczesnych aktywnych układach kompensacji mocy biernej. Wykazał się także umiejętnością prowadzenia badań laboratoryjnych i znajomością literatury dotyczącej podjętej problematyki badawczej. Realizacja rozprawy wymagała także od jej Autora dużego nakładu pracy, zarówno przy formułowaniu podstaw teoretycznych do opracowania modeli i prowadzenia badań symulacyjnych efektywności mocy biernej przy wykorzystaniu aktywnego filtra mocy a następnie zaprojektowaniu i wykonaniu fizycznego modelu laboratoryjnego aktywnego filtra mocy. Prace te były poprzedzone badaniami i analizą przebiegów napięć i prądów w wybranych kopalnianych sieciach elektroenergetycznych. Dokonany na początku rozprawy przegląd wybranych teorii mocy i jego podsumowanie oraz trafny wybór teorii mocy składowych fizycznych prądu (CPC) opracowanej przez L.S. Czarneckiego, umożliwił zaadoptowanie tej teorii do realizacji celu rozprawy.

Moim zdaniem Autor rozprawy doktorskiej w pełni udowodnił zacytowaną w niniejszej recenzji tezę. Rozwinięcie tezy zostało przedstawione w sposób jasny, precyzyjny i wyczerpujący.

Na podstawie uzyskanych wyników badań eksperymentalnych oraz wyników analiz teoretycznych autor udowodnił prawidłowość rozumowania i praktyczną przydatność własnych koncepcji wykazując słuszność postawionej tezy.

9. Konkluzja oceny rozprawy doktorskiej

Opiniowana rozprawa doktoranta mgr inż. Juliana Wosika pt. „Aktywna kompensacja mocy biernej w dołowych sieciach kopalnianych” oparta o wyniki własnych analiz teoretycznych rozważań literaturowych oraz badań eksperymentalnych stanowi oryginalne rozwiązanie, przez Doktoranta, ważnego problemu naukowego z dyscypliny naukowej Elektrotechnika, dotyczącego w szczególności aktywnej kompensacji mocy biernej w elektroenergetycznych sieciach kopalnianych powietrznych i podziemnych. Znaczna część rezultatów badań zaprezentowanych w pracy doktorskiej była referowana na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych i publikowana w recenzowanych materiałach konferencyjnych oraz znaczących czasopismach naukowo-technicznych. Tym samym zostały one pozytywnie przyjęte przez szerokie grono specjalistów, reprezentujących kilka dyscyplin nauk technicznych.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgra inż. Juliana Wosika P.t. „Aktywna kompensacja mocy biernej w dołowych sieciach kopalnianych” spełnia wymagania i warunki określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, z dnia 14 marca 2003r. , z późniejszymi zmianami. Na tej podstawie stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej dyskusji i obrony.

Biorąc pod uwagę wysokiej jakości aspekt aplikacyjny opublikowanej rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Juliana Wosika pt. „Aktywna kompensacja mocy biernej w dołowych sieciach kopalnianych” stwierdzam, iż w mojej opinii, zasługuje ona na wyróżnienie.



Ryszard Skliński