

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Doktorant: Chamberlin Stéphane Azebaze Mboving

Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Akademia Górniczo-Hutnicza (AGH), Kraków (Polska)

Niniejszy dokument stanowi recenzję rozprawy doktorskiej zatytułowanej „Methods for Reducing Voltage and Current Distortion Caused by Power Electronic Converters in Power Systems (Metody redukcji odkształcenia napięć i prądów powodowanych przez przekształtniki energoelektroniczne w sieciach elektroenergetycznych)”, której autorem jest Chamberlin Stéphane Azebaze Mboving.

Rozprawa doktorska została przygotowana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Zbigniewa Hanzelki oraz promotora pomocniczego dr inż. Ryszarda Klempki.

Niniejszą recenzję przygotował Angelo Baggini (Wydział Inżynierii, Uniwersytet Bergamo, Włochy) na zamówienie profesora Ryszarda Sroki, Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej (AGH).

Ostatecznym celem omawianej pracy doktorskiej jest zaprojektowanie połączenia pasywnego filtra harmonicznego (Passive Harmonic Filter, PAF) i aktywnego filtra harmonicznego (Active Passive Filter, APF) w formie hybrydowego energetycznego filtra aktywnego (Hybrid Active Power Filter, HAPF). W celu efektywnego zaprojektowania takiego filtra w rozprawie zaprezentowano szczegółową analizę:

- przegląd piśmiennictwa,
- symulacje numeryczne,
- badania laboratoryjne

różnych układów PHF i APF. Omówiono także inne metody stosowane do redukcji odkształcenia napięć i prądów.

Uwzględniono następujące układy PHF:

- filtry dla jednej harmonicznej,
- szeregowy układ PHF,
- filtry podwójnie nastrojone,
- filtry szerokopasmowe (pierwszego rzędu, drugiego rzędu, trzeciego rzędu i typu C),
- hybrydowe pasywne filtry harmonicznego (hybrid passive harmonic filters, HPHF).

Każdy z tych układów przeanalizowano, skupiając się na charakterystyce impedancji w zależności od częstotliwości oraz wpływie zjawiska rozstrajania i rezystancji tłumiącej na ich skuteczność. Porównano grupę dwóch filtrów dla jednej harmonicznej i filtra podwójnie nastrojonego oraz szeregowy układ PHF i hybrydowy układ PHF, a także metody rozdziału łącznej mocy biernej w grupie filtrów. Eksperymenty laboratoryjne z układem PHF potwierdzają wyniki symulacji następujących układów: filtra dla jednej harmonicznej, grupy dwóch filtrów dla jednej harmonicznej oraz filtrów pierwszego i drugiego rzędu.

Przeanalizowano układ SAPF (trójgałęziowy, trójprzewodowy). Przeprowadzono badania wpływu dławika liniowego podłączonego między wspólnym punktem przyłączenia (PCC) a siecią elektroenergetyczną i wejściem prostownika a wejściem układu SAPF oraz kondensatora DC układu SAPF na skuteczność filtra. Badania symulacyjne zostały potwierdzone przez badania laboratoryjne z wykorzystaniem układu czteroprzewodowego trójgałęziowego.

Po analizie układów PHF i SAPF przeanalizowano układy HAPF: model układu SAPF (trzy gałęzie, trzy przewody) podłączonego szeregowo z filtrem jednogalęziowym (badania symulacyjne) i model układu SAPF (trzy gałęzie, cztery przewody) podłączonego równolegle z grupą dwóch filtrów jednogalęziowych (badania laboratoryjne).

Celem układu HAPF jest kompensacja mocy biernej harmonicznej podstawowej obciążenia, harmonicznych i asymetrii przy użyciu oryginalnego algorytmu sterowania opartego na teorii $p-q$ – według propozycji autora.

W opisie opartego na teorii $p-q$ algorytmu użytego w systemie sterowania układu SAPF autor wykazał, że jeśli odkształcenie napięcia PCC nie zostanie odfiltrowane, wpływa na prąd odniesienia i występuje w prądzie sieci po kompensacji.

Analizowany układ HAPF miał topologię układu SAPF podłączonego szeregowo z układem PHF (filtrem dla jednej harmonicznej). Badanie takiej topologii miało dowiedzieć, że możliwe jest zredukowanie mocy układu SAPF (części aktywnej). Autor wykazał, że dobór częstotliwości strojenia filtra jednogalęziowego w tej topologii nie powinien zależeć tylko od charakterystycznych harmonicznych prostownika (obciążenia do kompensacji), ale także od wielkości dławika wejściowego prostownika.

Dokonany przez autora przegląd piśmiennictwa jest wyczerpujący i uporządkowany oraz przedstawia istotne treści naukowe i techniczne dotyczące doboru i projektowania filtrów harmonicznych w systemach elektroenergetycznych.

W zastosowaniach związanych z projektowaniem szczególnie interesujące są inne wnioski wyciągnięte przez autora, między innymi następujące:

- Równolegle podłączone układy PHF (filtry dla jednej harmonicznej, podwójnie nastrojone i szerokopasmowe) powinny być nastrojone na częstotliwość nieco niższą niż częstotliwość eliminowanej harmonicznej z powodu starzenia się ich elementów (LC) mogącego powodować rozstrajanie się filtra. Niewłaściwy dobór częstotliwości rezonansowej równolegle podłączonego układu PHF może spowodować wzmocnienie harmonicznych po stronie sieci elektrycznej i zacisków filtra.
- Na skutek wzrostu rezystancji filtra dla jednej harmonicznej spada jego skuteczność ograniczania eliminowanej harmonicznej po stronie sieci oraz wzrastają jego straty mocy.
- Grupa filtrów (dwa filtry dla jednej harmonicznej) w porównaniu z filtrem podwójnie nastrojonym (takie same parametry mocy biernej harmonicznej podstawowej, współczynnika jakości dławika i napięcia) charakteryzuje się wyższą wartością indukcyjności (co w praktyce zwiększa koszty) i mniejszą impedancją w przypadku harmonicznych wyższych niż harmoniczne, na które jest nastrojona.
- W porównaniu z filtrami szerokopasmowymi (takie same parametry mocy biernej harmonicznej podstawowej, współczynnika jakości dławika i częstotliwości rezonansowej) oraz niezależnie od wartości rezystancji tłumiącej filtr dla jednej harmonicznej jest skuteczniejszy w ograniczaniu (po stronie sieci) harmonicznej, której częstotliwość jest bliska jego częstotliwości rezonansowej.
- W porównaniu z filtrem dla jednej harmonicznej i innymi filtrami szerokopasmowymi (przy takich samych parametrach mocy biernej harmonicznej podstawowej, współczynnika jakości dławika i częstotliwości strojenia) oraz niezależnie od wartości rezystancji tłumiącej filtr drugiego rzędu charakteryzuje się większymi stratami mocy.

Pod względem redakcyjnym rozprawa została prawidłowo przygotowana i zaprezentowana.

Ogólna ocena i wnioski

Rozprawa doktorska, którą przygotował Chamberlin Stéphane Azebaze Mboving pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Zbigniewa Hanzelki oraz promotora pomocniczego dr inż. Ryszarda Klempki, przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i dowodzi ogólnej wiedzy teoretycznej doktoranta w dziedzinie jakości energii elektrycznej, w szczególności w dziedzinie technologii filtracji harmonicznych, a także umiejętności wykonania pracy naukowej.

Podsumowując, w opinii recenzenta opartej na przedstawionej rozprawie Chamberlin Stéphane Azebaze Mboving powinien otrzymać tytuł doktora.

Niektóre pytania dotyczące rozprawy, na które doktorant mógłby odpowiedzieć w trakcie publicznej obrony,

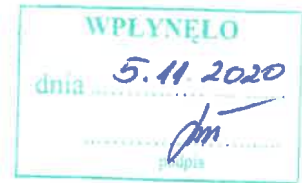
powinny być związane ze wzmocnieniem harmonicznych po stronie sieci w systemie elektroenergetycznym z odkształceniem napięć i prądów w przypadku:

- filtrów pierwszego rzędu przeznaczonych do kompensacji mocy biernej harmonicznej podstawowej,
- filtrów drugiego rzędu, trzeciego rzędu i typu C

oraz z wyważeniem redukcji strat w filtrze i narażenia jego elementów na przeciążenia.

Cannigione (OT – Włochy), sierpień 2020 r.

Angelo Baggini
/podpis nieczytelny/



REVIEW OF THE DOCTORAL DISSERTATION

of the doctoral student Chamberlin Stéphane Azebaze Mboving

Faculty of Electrical Engineering, Automatics, Computer Science and Biomedical Engineering, AGH
– University of Science and Technology, Krakow (Poland)

This document contains the review of the doctoral dissertation of Chamberlin Stéphane Azebaze Mboving titled “Methods for Reducing Voltage and Current Distortion Caused by Power Electronic Converters in Power Systems (Metody redukcji odkształcenia napięć i prądów powodowanych przez przekształtniki energoelektroniczne w sieciach elektroenergetycznych)”.

The doctoral work has been prepared under the supervision of prof. dr hab. inż. Zbigniew Hanzelka with Co-supervisor dr inż. Ryszard Klempka.

This review has been carried out by Angelo Baggini (Faculty of Engineering University of Bergamo Italy) and has been commissioned by professor Ryszard Sroka Dean of the Faculty of Electrical Engineering, Automatics, Computer Science and Biomedical Engineering, AGH – University of Science and Technology.

The final purpose of the doctoral work is to design a combination of a Passive Harmonic Filter (PAF) and an Active Passive Filter (APF) into a Hybrid Active Power Filter (HAPF). In order to effectively design such a filter, this work presents a detailed analysis:

- Literature review
- Numerical simulations
- Laboratory tests

of various PHF and APF structures. Other methods used to reduce voltage and current distortion are also discussed.

The following PHF structures are considered:

- single-tuned filters
- series PHF
- double-tuned filters
- broad-band filters (first-order, second-order, third-order and C-type filter)
- hybrid passive harmonic filters (HPHF).

Each of them is analyzed focusing on the impedance versus frequency characteristics and influence of detuning phenomenon and damping resistance on their efficiency. Group of two single-filters & double-tune filter, series PHF & hybrid PHF are compared as well as the methods of sharing the total reactive power in the filter group. The laboratory experiments of PHF confirm the simulation results of the following structures: single-tune filter, group of two single-tuned filters, first and second-order filters.

The SAPF (three legs three wire) is analyzed. The studies of the influence of the line reactor connected between the PCC and the grid, rectifier input and SAPF input as well as the SAPF DC capacitor on the filter efficiency have been carried out. The simulation studies are confirmed after the investigation in the laboratory using the four wires three legs structure.

After analysis of PHF and SAPF structures, the HAPF structures are next analyzed - model of SAPF (three legs three wires) connected in series with the single-branch filter (simulation studies) and model of SAPF (three legs four wires) connected in parallel with the group of two single-branch filters (laboratory studies).

The goal of the HAPF design is to compensate the load fundamental harmonic reactive power, harmonics, and asymmetry using the original control algorithm - based on $p-q$ theory - proposed by author.

In the description of the $p-q$ theory algorithm used in the SAPF control system, the author demonstrated that the distortion contained in the PCC voltage, if not filtered, affects the reference current and can be found in the grid current after compensation.

The analyzed HAPF was the topology of SAPF connected in series with the PHF (single-tuned filter). The goal of studying such of topology was to show that it is possible to reduce the power of SAPF (active part). The author demonstrated that the choice of the single-branch filter tuning frequency of that topology should not only depend on the rectifier (load to be compensated) characteristic harmonics but also on rectifier input reactor size.



The literature review carried out by the author, comprehensive and well ordered, represents a appreciable bulk of scientific and technological contents for power harmonic filter selection and design.

In engineering applications, specific interest is also represented by the other conclusions reached by the author like:

- the shunt PHFs (single-tuned, double-tuned and broad-band filters) should be tuned to the frequency a bit lower than the frequency of harmonic to be eliminated because of the aging of their elements (LC) which can caused the filter detuned. The bad choice of the shunt PHF resonance frequency can cause the amplification of harmonics at the electrical grid side and filter terminals
- the increase of single-tuned filter resistance reduces its efficiency on the mitigation of harmonic to be eliminated at the grid side and increases its power losses
- the filter group (two single-tuned filters) in comparison to the double-tuned filter (the same fundamental harmonic reactive power, reactor quality factor and voltage) presents higher value of inductances (in practice more expensive) and lower impedance for harmonics higher than the harmonics to which it is tuned
- the single-tuned filter compared to the broad-band filters (equal fundamental reactive power, equal reactor quality factor, and equal resonance frequency) and regardless of damping resistance value, is better on the mitigation (grid side) of harmonic which the frequency is near its resonance frequency
- the second-order filter in comparison to the single-tuned filter and other the broad-band filters (equal fundamental reactive power, equal reactor quality factor, and equal tuning frequency) and regardless of damping resistance value, present higher power losses.

From the editorial point of view, the work is properly prepared and presented.

Overall assessment and conclusions

The doctoral dissertation, prepared by Chamberlin Stéphane Azebaze Mboving under the supervision of prof. dr hab. inż. Zbigniew Hanzelka with Co-supervisor dr inż. Ryszard Klempka, provides an original solution to a scientific problem and demonstrate the candidate's general theoretical knowledge in the electrical power quality sector in general and with reference to harmonic filtering technology in particular, as well as the ability to conduct scientific work.

In conclusion in the opinion of the reviewer based on the presented dissertation Chamberlin Stéphane Azebaze Mboving should be awarded with the doctoral degree.



Some questions related to the dissertation that the doctoral student could answer during public defense should be related to harmonics amplification at the grid side in the electrical power system with distorted voltage and current in case of

- first-order filters designed for the fundamental harmonic reactive power compensation
- second-order, third-order and C-type filters

as well as the balance between losses reductions inside the filter and stresses on its components.

Cannigione (OT – Italy), August 2020


Angelo Baggini

