

1. Imię i Nazwisko: **Ryszard Klempka**
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.
 - a) **1990–1995, studia magisterskie na kierunku Elektrotechnika w zakresie Automatyka Urządzeń Technologicznych,
AGH-Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie**
 - b) **1995–1999, studia doktoranckie, doktor nauk technicznych w dyscyplinie elektrotechnika „Sterowanie obiektem elektromechanicznym z wykorzystaniem Algorytmów Genetycznych przy kilku kryteriach jakości”
Promotor: prof. dr hab. inż. Ryszard Koziół
Recenzenci: prof. dr hab. inż. Józef Korbicz
dr hab. inż. Adam Kowalewski
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, 25.02.1999 r.**
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:
 - a) **Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii
od 01.10.1998 r. – aktualne**
 - b) **Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie
Wydział Politechniczny
Katedra Elektrotechniki
od 01.10.1998 r. – aktualne**
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).
 - a) tytuł osiągnięcia naukowego

Nowoczesne metody optymalizacji oraz ocena analityczna skuteczności filtracyjnej na potrzeby poprawy jakości energii elektrycznej
 - b) wykaz prac naukowych dokumentujących osiągnięcie naukowe, stanowiące podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego,
 1. Ryszard Klempka, Poprawa jakości dostawy energii elektrycznej z użyciem algorytmów genetycznych, Wydawnictwa AGH, Kraków 2013, 137 s.,
Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Stanisław Mitkowski – Akademia Górniczo-Hutnicza
Prof. dr hab. inż. Marian Pasko – Politechnika Śląska
 2. Ryszard Klempka, Skuteczność filtracji grupy filtrów jednogąździowych oraz filtru podwójnie nastrojonego, Wydawnictwo Naukowe AGH, 2021, (wydanie drugie poprawione i uzupełnione), 150 s.,
Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Stanisław Mitkowski – PWSZ w Tarnowie
Prof. dr hab. inż. Yuriy Varetsky – Akademia Górniczo-Hutnicza
 - c) omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników, wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Energia elektryczna stała się towarem, który podlega zasadom rynkowym. Stąd też zwraca się uwagę na jej parametry jakościowe. Rozbudowa sieci energetycznych oraz dołączanie różnych źródeł energii jak i różnych odbiorów powoduje, że parametry dostarczanej energii się zmieniają. Jakość energii elektrycznej podlega standaryzacji opisanej między innymi w normie PN-EN 50160.

W swoich badaniach autor zajmował się jakością energii elektrycznej poprzez redukcję amplitud harmonicznych, redukcję wskaźnika zawartości harmonicznych (THD) oraz kompensację mocy biernej. Najstarszym jak i najprostszym sposobem redukcji negatywnego oddziaływania harmonicznych oraz mocy biernej jest zastosowanie filtrów pasywnych. Alternatywą jest stosowanie energoelektronicznych filtrów aktywnych. Poza ich niewątpliwymi zaletami, posiadają jednak wady jak np. duże koszty inwestycyjne, wyższe koszty konserwacji i napraw, niższa niezawodność. Z tych powodów zastosowanie filtrów pasywnych jest i będzie jedną z głównych metod redukcji mocy biernej oraz harmonicznych.

Moc bierna i wyższe harmoniczne powodują przepływ zwiększonego prądu przez sieć dystrybucyjną, co zmniejsza przepustowość prądową sieci. Powodują także skutki cieplne. Zmiana napięcia zasilania w PWP oraz jego odkształcenie skutkuje zmianami warunków zasilania odbiorów.

Istnieją różne struktury filtrów pasywnych. Zależności pozwalające obliczyć parametry tych filtrów powstały przy zastosowaniu wielu uproszczeń:

- odbiornik modelowany jest jako idealne źródło wyższych harmonicznych,
- sieć zasilająca jest modelowana jako idealne źródło napięciowe podstawowej harmonicznej,
- pomija się rezystancje zastępcze dławików i kondensatorów.

Oznacza to, że wzory projektowe filtrów są uproszczone i uwzględniają konieczną moc bierną do skompensowania oraz rzędy harmonicznych, które mają redukować, natomiast nie uwzględniają impedancji zastępczej sieci zasilającej, odstroięcia filtrów od redukowanych harmonicznych oraz wzajemnego wpływu innych filtrów obecnych w systemie. A od tych aspektów w dużym stopniu zależy skuteczność filtracyjna. Bez tych parametrów uwzględnionych we wzorach projektowych nie można zaprojektować filtru optymalnego pod względem skuteczności filtracyjnej. Dodatkowo dochodzi problem uwzględnienia rezystancji dławików i kondensatorów, które znacząco komplikują możliwość analizy układów filtrujących. Ujęcie w sposób analityczny otoczenia (urządzeń w najbliższym otoczeniu), w którym filtr będzie pracował jest już zagadnieniem bardzo złożonym.

Monografia wydana w 2013 roku jest zbiorem zagadnień związanych z poprawą jakości energii elektrycznej z wykorzystaniem algorytmów genetycznych (AG) jako inteligentnej metody optymalizacyjnej. Drugi rozdział monografii poświęcono opisowi stosowanego przez autora narzędzia optymalizacyjnego. Opisano zasadę działania poszczególnych elementów AG, zaawansowane operatory genetyczne oraz zamieszczono opis napisanego w Matlabie toolboxu.

Monografia z roku 2013 zawiera związany tematycznie dorobek autora do roku 2014. Druga monografia ogranicza się do analizy skuteczności filtracyjnej grupy filtrów jednofazowych oraz filtra podwójnie nastrojonego. Dla pełności opisu zagadnienia, druga monografia zawiera część dotyczącą tych dwóch struktur filtracyjnych opisaną w pierwszej monografii oraz część znacząco rozwiniętą po roku 2014.

Poniżej przedstawiono zagadnienia kompensacji mocy biernej i redukcji harmonicznych, którymi zajmował się autor.

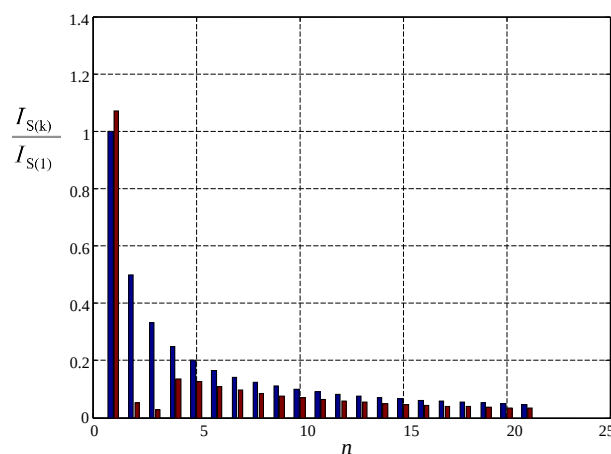
Filtr typu C

Główną wadą większości stosowanych struktur filtracyjno-kompensujących jest zła filtracja wysokich częstotliwości. W celu poprawy tego stanu, stosuje się układy filtrów szerokopasmowych (tłumionych). Filtry szerokopasmowe mają jeszcze jedną zaletę bardzo istotną ze względu na ich współpracę z układami przekształtnikowymi. Są bardziej efektywne niż filtry jednofazowe w tłumieniu zaburzeń łączeniowych np. załamań komutacyjnych układów energoelektronicznych (szersze pasmo filtracji). W filtrze szerokopasmowym typu C uzyskuje się dodatkowo redukcję strat mocy czynnej. Schemat filtru typu C pokazano na rys. 1.

Do optymalizacji użyto algorytmu genetycznego o parametrach:

- zakres zmienności zmiennych decyzyjnych: $C_1 = (10^{-6} - 10^{-4})$, $n = (1 - 20)$, $R_T = (1 - 10^4)$,
- parametry C_1 oraz n kodowane są w ciągu 8-bitowy, a parametr R_T w ciąg 12-bitowy,
- liczebność populacji 200 osobników,
- prawdopodobieństwo krzyżowania $p_k = 0.8$,
- prawdopodobieństwo mutacji $p_m = 0.01$,
- warunek zakończenia pracy algorytmu genetycznego - 30 pokoleń,
- zastosowano ranking o współczynnikach $C_{\min} = 0$, $C_{\max} = 2$,
- zastosowano odwrotne porządkowanie dla rankingu w celu minimalizacji funkcji celu,
- metoda selekcji SUS,
- krzyżowanie przez tasowanie.

Na rysunku 3 pokazano widmo harmonicznych prądu sieci przed i po dołączeniu zaprojektowanego filtra typu C oraz filtrów trzeciej harmonicznej.



Rys. 3. Widmo prądu sieci przed podłączeniem i po podłączeniu zespołu filtrów

Z rysunku 3 widać, że zaprojektowany filtr spełnił oczekiwania. Zminimalizowany został wskaźnik THDi, którego wartość spadła z 77,3% do wartości 29,7%. Głównie stało się to poprzez redukcję drugiej harmonicznej (harmoniczna 3. jest redukowana przez dołączone filtry 3. harmonicznej).

Użycie numerycznych metod optymalizacyjnych jest wygodne ze względu na możliwość ograniczenia liczby dokonywanych uproszczeń, uwzględnienie otoczenia sieciowego, w którym filtr ma pracować oraz możliwość kreatywnego formułowania kryterium optymalizacyjnego, w którym można uwzględnić różne czynniki np. straty mocy, koszty inwestycyjne, umiejscowienie w systemie energetycznym, struktury filtracyjne i wiele innych czynników trudnych do uwzględnienia w sposób analityczny.

Inteligentne metody optymalizacji numerycznej mają duży potencjał możliwości. Jednak należy pamiętać, że są to metody przybliżone, nie zawsze dają optymalne wyniki, czas uzyskania wyniku też jest duży oraz trzeba umieć z tych metod korzystać. Jeżeli jest możliwość wyznaczenia rozwiązania analitycznego, to należy z niego skorzystać.

W projektowaniu filtrów pasywnych ważnym elementem jest uwzględnienie skuteczności filtracji a to wymaga uwzględnienia impedancji zastępczej sieci zasilającej. Przy założeniu zerowych rezystancji zastępczych dławików i kondensatorów, możliwe jest przeprowadzenie analizy skuteczności filtracji filtra typu C co autor wykonał. Uwzględniono reaktancję zastępczą sieci zasilającej od której głównie zależy skuteczność filtracyjna. Od projektanta wymagane jest założenie poziomu redukcji k wskazanej harmonicznej n . Przy tak postawionym zadaniu, można wyznaczyć parametry filtra typu C stosując wzory (2), wyprowadzone przez autora.

$$C_1 = -\frac{Q_F}{\omega_1 \cdot U^2}; \quad C_2 = C_1(n^2 - 1); \quad L_2 = \frac{1}{C_2 \cdot \omega_1^2}; \quad k = \frac{I_S(n)}{I_F(n)} \quad (2)$$

$$R_T = \frac{U^2}{\omega_1 \cdot L_S \cdot k \cdot n^3 \cdot Q_F^2} \sqrt{U^4 - \omega_1^2 \cdot L_S^2 \cdot k^2 \cdot n^4 \cdot Q_F^2}$$

gdzie:

n - rząd harmonicznej dostrojenia filtru,

k - zakładany rozptył redukowanej harmonicznej pomiędzy filtr i sieć,

L_S - indukcyjność zastępcza sieci,

Q_F - moc bierna pojemnościowa filtru,

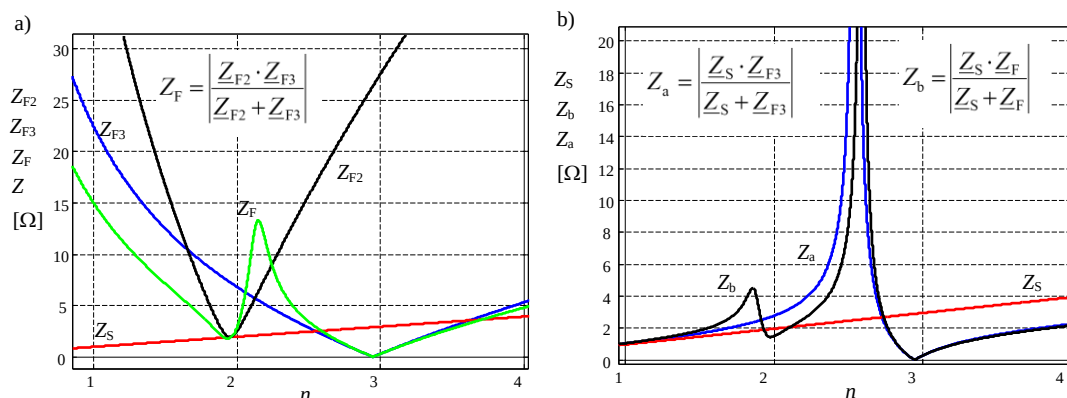
U - napięcie pracy filtra,

$I_S(n)$ - część redukowanej harmonicznej płynąca do sieci,

$I_F(n)$ - część redukowanej harmonicznej płynąca przez filtr.

W odróżnieniu od przybliżonych wzorów projektowych filtru typu C istniejących w literaturze, zależności wyprowadzone przez autora (2) uwzględniają impedancję zastępczą sieci zasilającej, która w decydujący sposób wpływa na skuteczność filtracji.

Zaprojektowane filtry typu C zarówno analitycznie jak i za pomocą AG dały zbliżone wyniki. Dla potwierdzenia skuteczności obu metod dokonano poprzez przeprowadzenie pomiarów w rzeczywistym systemie elektroenergetycznym zasilającym piec łukowy – rys. 2. Na rysunku 4a pokazano charakterystyki impedancyjne elementów systemu oraz charakterystyki impedancyjne widziane od strony odbiornika przed i po dołączeniu filtra typu C (rys. 4b) obliczone na podstawie rzeczywistych parametrów systemu. Wyniki pomiarów wybranych parametrów jakości energii elektrycznej przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 4. Charakterystyki: a) zaprojektowanego filtra wraz z charakterystyką sieci zasilającej 30 kV, z filtrami 3. harmonicznej oraz charakterystyką wypadkową zespołu filtrów, b) impedancja od strony odbiornika przed przyłączeniem (Z_a) i po przyłączeniu (Z_b) filtra typu C

Tabela 1. Wyniki pomiarów zrealizowanych w układzie z rys. 2.

Measurement point	P ₁ piec	P ₁ piec	P ₂ Filtr C	P ₃ Filtr 3. harm.	P ₄ Filtr 3. harm	P ₅ 110 kV	P ₅ 110 kV
Piec i filtry działają	Nie	Tak					Nie
U_{RMS} [kV]	18.29	17.59					65.04
I_{RMS} [A]	-	2383	391	398	385	602	86.5
P [MW]	-	93.75	0.083	0.234	0.198	105	12.14
Q [Mvar]	-	71.19	19.55	19.84	19.68	28.2	6.52
S [MV·A]	-	125.7	20.65	21.0	20.34	117.5	17.25
PF	-	0.744	0.0043	0.011	0.001	0.89	0.57
THD_U [%]	1.56	2.45					1.92
THD_I [%]	-	6.44	8.04	12.04	10.62	4.64	6.61
$I_{(1)RMS}$ [A]	-	2357	387	376	373	594	85.46
$U_{(1)RMS}$ [kV]	18.29	17.57					65.0
$U_{(2)RMS}$ [%]	0.06	0.73					0.42

Załącznik 3: Autoreferat

Measurement point	P ₁ piec	P ₁ piec	P ₂ Filtr C	P ₃ Filtr 3. harm.	P ₄ Filtr 3. harm	P ₅ 110 kV	P ₅ 110 kV
$U_{(3)RMS}$ [%]	0.57			0.61		0.43	0.43
$U_{(4)RMS}$ [%]	0.04			0.34		0.19	0.04
$U_{(5)RMS}$ [%]	1.15			1.51		1.22	1.25
$I_{(2)RMS}$ [A]	-	58.7	29	10.8	9.8	15	2.21
$I_{(3)RMS}$ [A]	-	97.3	3.8	44.3	38.8	9	4.8
$I_{(4)RMS}$ [A]	-	23.1	1.5	5.1	4.5	3.7	0.6
$I_{(5)RMS}$ [A]	-	71.2	3.7	11.9	11.2	12.5	3.5
P_{st} [%]	1			16.66		9.17	1.02

Pozornie może się wydawać, że najkorzystniejsze jest zwiększenie rezystancji filtra R_T , aby jak największa część zredukowanej harmonicznej płynęła przez filtr, a nie przez linię zasilającą. Jednak zwiększenie rezystancji spowoduje pogorszenie skuteczności filtracji wyższych harmonicznych. Rezystor R_T należy dobierać jak najmniejszy, aby tylko zapewnić dozwolony poziom zredukowanej harmonicznej co zapewni dużą skuteczność filtracji wyższych harmonicznych.

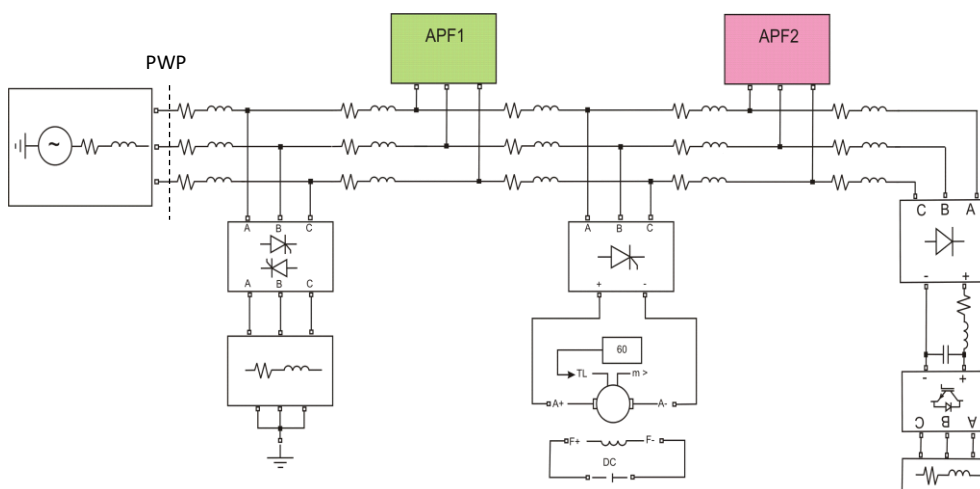
Dane w tabeli potwierdzają, że zaprojektowane filtry typu C analitycznie oraz na podstawie modelu systemu odzwierciedlają rzeczywisty układ.

Rozproszony system poprawy jakości energii elektrycznej

W układzie elektroenergetycznym istnieje wiele różnych rozproszonych odbiorców wywołujących degradację wskaźników jakości energii elektrycznej. W tym samym układzie włączonych jest wiele odbiorów czułych na zaburzenia elektromagnetyczne. W układzie istnieją także różne sterowane urządzenia przeznaczone do poprawy jakości zasilania, tj. regulowane źródła mocy biernej, stabilizatory napięcia, filtry aktywne oraz rozproszone źródła energii. Istnieją także układy pełniące różne funkcje użytkowe, które odpowiednio zaprojektowane mogą dodatkowo odgrywać rolę kompensatorów mocy biernej podstawowej harmonicznej, stabilizatorów napięcia oraz równoległych aktywnych filtrów wyższych harmonicznych. Szczególną rolę w tym systemie mogą odgrywać sterowane napędy prądu przemiennego, które w wielu instalacjach przemysłowych występują w dużej liczbie. W wielu przypadkach układy napędowe wyposażone są w przekształtniki wejściowe VSI gwarantujące sinusoidalny kształt prądu wejściowego w każdym stanie pracy silnika oraz mające możliwość wytwarzania dodatkowej - względem sinusoidalnego prądu wejściowego niezbędnej do dostarczenia do silnika mocy czynnej wynikającej z obciążenia mechanicznego – składowej prądu zgodnie z przebiegiem referencyjnym wypracowanym przez nadrzędny (centralny) układ sterowania przeznaczony do kompensacji innych równoległych odbiorników zaburzających.

Zgodnie z zaproponowaną koncepcją celem jest opracowanie centralnego (nadrzędnego) układu sterowania, który na podstawie zbioru sygnałów wejściowych (napięć i prądów mierzonych w wybranych punktach systemu elektroenergetycznego) wypracuje sygnały referencyjne prądów dla poszczególnych sterowanych, rozproszonych urządzeń, które będą łącznie wykorzystywane do poprawy jakości zasilania.

W celu ilustracji prezentowanej koncepcji analizowano przykładowy układ elektroenergetyczny zawierający trzy nieliniowe odbiory pobierające moc bierną oraz generujące wyższe harmoniczne prądu – rys. 5. W wybranych węzłach systemu zostały przyłączone źródła prądu – równoległe filtry aktywne – których celem działania jest redukcja poziomu odkształcenia napięcia (przez redukcję harmonicznych prądu) w punkcie wspólnego przyłączenia (PWP) oraz kontrola współczynnika mocy instalacji. W praktycznych sytuacjach przemysłowych rolę filtrów aktywnych mogą odgrywać regulowane napędy elektryczne z pośrednimi przemiennikami częstotliwości, które, jeżeli są zasilane przez aktywne przekształtniki, mogą pełnić także funkcję równoległych aktywnych kompensatorów.



Rys. 5. Przykładowy system elektroenergetyczny

Do rozwiązania zadania optymalizacji wielokryterialnej zgodnie z przedstawioną koncepcją wykorzystano algorytmy genetyczne. Optymalizacje były uruchamiane wielokrotnie przy zachowaniu informacji o znalezionym rozwiązaniu w poprzedniej optymalizacji. Każda kolejna optymalizacja rozpoczynała poszukiwania korygującego (ulepszającego) znalezione rozwiązanie z poprzedniej optymalizacji.

Funkcja celu w zależności od eksperymentu kolejno uwzględniała:

- redukcję kąta przesunięcia fazowego pomiędzy podstawowymi harmonicznymi prądu i napięcia w PWP,
- redukcję strat mocy,
- minimalizację kosztów pracy filtrów aktywnych,
- ograniczenie mocy pierwszego filtra aktywnego (np. ze względu na wydolność prądową).

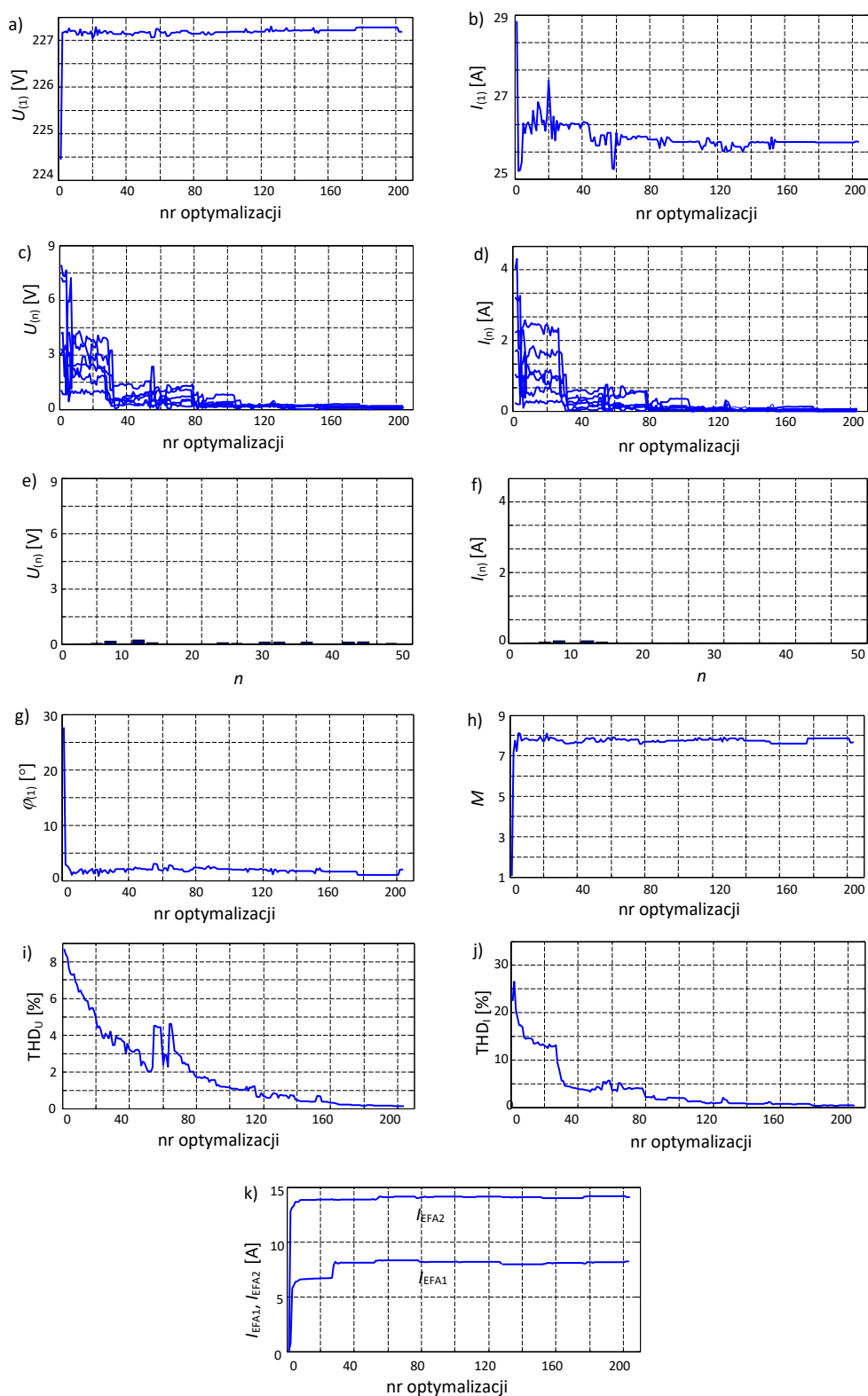
Powyższe cztery funkcje celu były kolejno uwzględniane w trzech przypadkach:

- dokonywano tylko kompensacji mocy biernej w PWP,
- dokonywano kompensacji mocy biernej oraz redukcji pięciu kolejnych nieparzystych harmonicznymi w PWP,
- dokonywano kompensacji mocy biernej oraz redukcji kolejnych nieparzystych harmonicznymi aż do 49 włącznie w PWP.

W pracy autora przedstawiono symulacyjnie skutki pracy nadrzędnego układu sterowania realizującego różne funkcje celu oddzielnie lub różne ich kombinacje, np. kompensacji mocy biernej, redukcji strat mocy w systemie, redukcji odkształcenia napięć i prądów itp.

Najbardziej skomplikowaną i czasochłonną optymalizacją była kompensacja mocy biernej podstawowej harmonicznymi wraz z redukcją nieparzystych harmonicznymi aż do 49 włącznie przy uwzględnieniu strat mocy, kosztów pracy filtrów aktywnych i ograniczeniu maksymalnego prądu filtra pierwszego.

Wynik symulacji przy powyższych założeniach przedstawiono na rys. 6. Optymalizacje spowodowały kompensację mocy biernej w systemie. Po uwzględnieniu ograniczenia prądu maksymalnego pierwszego filtra zwiększył się udział drugiego filtra (bardziej oddalonego od PWP) w realizacji zadania poprawy warunków dostawy energii, co spowodowało zwiększenie kosztów pracy filtrów oraz zwiększenie strat w systemie. W trakcie optymalizacji wartości harmonicznymi ulegają dużym zmianom. Optymalizacja jednej harmonicznymi powoduje zmiany wartości pozostałych harmonicznymi, również tych, które zostały już zoptymalizowane.



Rys. 6. Wyniki optymalizacji: wartość podstawowej harmonicznej napięcia (a) i prądu (b); wartości wyższych harmonicznych napięcia (c) i prądu (d); widmo napięcia (e) i prądu (f); przesunięcie fazowe podstawowych harmonicznych (g); wskaźnik M (h); współczynnik zawartości harmonicznych napięcia THD_U (i) oraz prądu THD_I (j); prądy filtrów aktywnych (k)

Na podstawie wykonanych symulacji można stwierdzić, że algorytm genetyczny jest skutecznym narzędziem do optymalizacji sterowania rozproszonego systemu poprawy jakości energii elektrycznej, czyli jest możliwe zaprojektowanie sterowania filtrami aktywnymi tak, aby spowodować kompensację mocy biernej w systemie, jak również redukcję wybranych harmoniczných aż do 49.

Pamiętać jednak należy, że efektem wzrostu liczby uwzględnianych harmoniczných jest wydłużenie czasu optymalizacji ze względu na liczbę czasochłonných symulacji dokonywanych przez algorytm genetyczny.

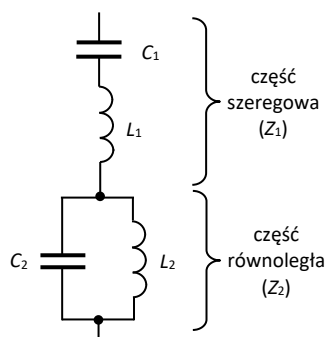
Można sformułować następujące wnioski:

- 1) W trakcie optymalizacji podstawowa harmoniczna napięcia rośnie, a prądu maleje.
- 2) Przesunięcie fazowe pomiędzy podstawowymi harmonicznymi napięcia i prądu jest redukowane do wartości oczekiwanej.
- 3) Wartość wskaźnika reprezentującego straty mocy w wybranych punktach systemu ma decydujący wpływ na rozkład prądów poszczególných filtrów.
- 4) Uwzględnienie kosztów pracy filtrów aktywných oraz ich prądów maksymalnych powoduje pogorszenie wartości wskaźnika reprezentującego straty mocy. (Filtr aktywny, którego praca była tańsza oraz o większej mocy był dalej umiejscowiony od PWP).
- 5) W prezentowanym przykładzie większy wpływ ma pierwszy filtr aktywny, zarówno na kompensację mocy biernej, jak również na minimalizację wyższych harmoniczných w systemie.
- 6) Drugi filtr aktywny zwiększa swoje znaczenie w układzie po uwzględnieniu kosztów pracy filtrów oraz ograniczeniu prądu maksymalnego filtru pierwszego.
- 7) Przykładowe optymalizacje symulacje pokazują, że cel został osiągnięty, tzn. wypracowano sygnały referencyjne w nadrzędnym sterowniku dla rozproszonych filtrów aktywných przy uwzględnieniu różnych kryteriów jakości.
- 8) Czas optymalizacji silnie zależy od liczby optymalizowanych harmoniczných.
- 9) Optymalizacja wybranej harmonicznej powoduje zmiany wartości harmoniczných sąsiednich, których wartość może wzrosnąć powyżej wartości początkowej.

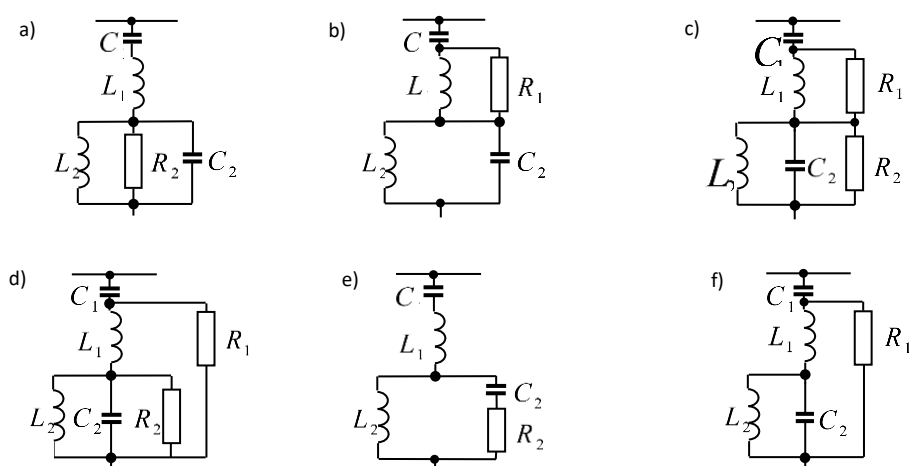
Filtr podwójnie nastrojony

Drugim filtrem pasywnym, którym autor się zajmował był filtr podwójnie nastrojony. Jego podstawową strukturę pokazano na rys. 7, a alternatywne struktury z dodatkowymi rezystorami pokazano na rys. 8. Filtr podwójnie nastrojony jest stosowany głównie w instalacjach dużych i bardzo dużych mocy. Jedną z jego zalet jest jednoczesna redukcja dwóch wybranych harmoniczných.

Celem optymalizacji za pomocą AG było uzyskanie właściwego kształtu charakterystyki impedancyjnej samego filtru. Oprócz podstawowej struktury tego filtru (rys. 7) uwzględniono jego alternatywne wersje z dodatkowymi rezystorami ograniczającymi napięcia lub prądy na elementach filtru (rys. 8). W prezentowanym przykładzie uwzględniono rezystancje zastępcze dławików i kondensatorów.



Rys. 7. Struktura filtru podwójnie nastrojonego



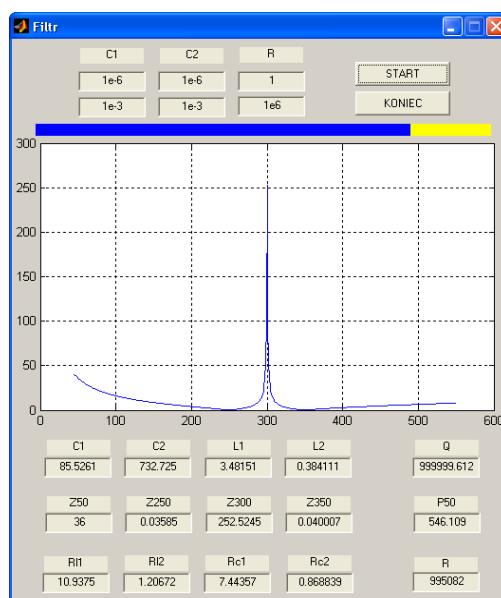
Rys. 8. Alternatywne struktury filtra podwójnie nastrojonego

Zadaniem było znalezienie wartości pojemności C_1 , C_2 oraz rezystorów dodatkowych R_1 i R_2 , aby zminimalizować impedancje filtra dla redukowanych harmonicznych oraz zmaksymalizować impedancje dla wybranej częstotliwości pomiędzy redukowanymi harmonicznymi przy ograniczonej wartości kompensowanej mocy biernej (3).

$$f = 500 \cdot (|Z_F(\omega_5)| + |Z_F(\omega_7)|) + \frac{100000}{|Z_F(\omega_6)|}$$

$$F_{\text{celu}} = \min \begin{cases} f^{\frac{10^6}{Q_F}} & \text{dla } Q_F < 1\text{Mvar} \\ f & \text{dla } Q_F = 1\text{Mvar} \\ f^{\frac{Q_F}{10^5}} & \text{dla } Q_F > 1\text{Mvar} \end{cases} \quad (3)$$

W środowisku Matlab opracowano aplikacje umożliwiające dobór parametrów LC dla każdej struktury filtra podwójnie nastrojonego. Na rysunku 9 pokazano okno programu dla filtra z rysunku 8f.



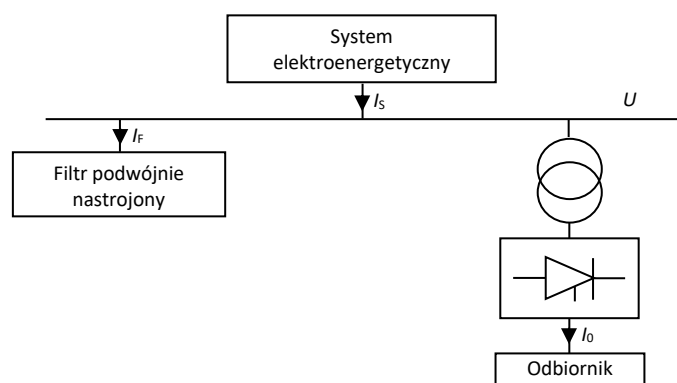
Rys. 9. Przykładowe okno programu do wyznaczania parametrów filtra podwójnie nastrojonego z rysunku 8f

W programie zadawany był zakres zmienności zmiennych decyzyjnych (górna część okna) a następnie za pomocą algorytmu genetycznego wyznaczano parametry filtra minimalizującego kryterium (3). Parametry algorytmu genetycznego:

- zakres zmienności $C_1 = (10^{-6} - 10^{-3})$, $C_2 = (10^{-6} - 10^{-3})$,
- każdy parametr kodowany w ciąg 15-bitowy, czyli chromosom ma długość 30 bitów,
- liczebność populacji 1000 osobników,
- prawdopodobieństwo krzyżowania $p_k = 0.8$,
- prawdopodobieństwo mutacji $p_m = 0.01$,
- warunek zakończenia pracy algorytmu genetycznego 100 pokoleń,
- zastosowano ranking o współczynnikach $C_{\min} = 0$, $C_{\max} = 2$,
- zastosowano odwrotne porządkowanie dla rankingu w celu minimalizacji funkcji celu,
- metoda selekcji SUS,
- krzyżowanie przez tasowanie.

Przeprowadzone symulacje pokazały, że ze względu na efektywność redukcji wybranych harmonicznych filtru, wpływ dodatkowych rezystancji jest minimalizowany, gdyż ją pogarszają. Rezystor z rysunku 8e jest minimalizowany, a w pozostałych układach rezystory są maksymalizowane. Jednak akceptując fakt pogorszenia własności filtracyjnych filtru, dodatkowe rezystancje są użyteczne ze względu na ograniczenie prądów płynących przez elementy LC oraz polepszają redukcję harmonicznych powyżej harmonicznych do których filtr został dostrojony.

Kształtowanie charakterystyki impedancyjnej filtru opisane powyżej nie uwzględniło impedancji zastępczej sieci zasilającej oraz odstrojenia filtru od redukowanych harmonicznych. Te parametry zostały uwzględnione w przypadku zamodelowania fragmentu sieci zasilającej czyli otoczenia sieciowego w którym projektowany filtr ma pracować – rys. 10.



Rys. 10. Schemat ideowy układu elektroenergetycznego

W tym przypadku celem optymalizacji było zaprojektować filtr podwójnie nastrojony, który zminimalizuje sumę 5. i 7. harmonicznej prądu płynącego w sieci (4).

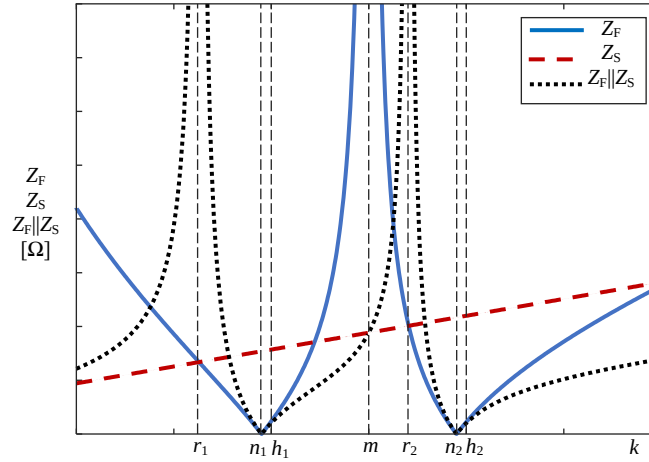
$$F_{\text{celu}} = \begin{cases} (I_{S(5)} + I_{S(7)}) \cdot 10^5 & \text{dla } \varphi_{(1)} < 1^\circ \\ I_{S(5)} + I_{S(7)} & \text{dla } \varphi_{(1)} \geq 1^\circ \end{cases} \quad (4)$$

Do optymalizacji użyto algorytmu genetycznego o parametrach:

- zakres zmienności $C_1 = (10^{-6} - 10^{-3})$, $C_2 = (10^{-6} - 10^{-3})$, $R_1 = (0 - 10^6)$, $R_2 = (0 - 10^6)$,
- parametry pojemnościowe kodowane w ciągi 15-bitowe
- parametry rezystancyjne kodowane w ciągi 25-bitowe
- liczebność populacji 1000 osobników,
- prawdopodobieństwo krzyżowania $p_k = 0.8$,
- prawdopodobieństwo mutacji $p_m = 0.01$,
- warunek zakończenia pracy algorytmu genetycznego 100 pokoleń,
- zastosowano ranking o współczynnikach $C_{\min} = 0$, $C_{\max} = 2$,
- zastosowano odwrotne porządkowanie dla rankingu w celu minimalizacji funkcji celu,
- metoda selekcji SUS,
- krzyżowanie przez tasowanie.

Powyższe parametry AG użyto w optymalizacjach projektując filtry podwójnie nastrojone we wszystkich konfiguracjach z rysunków 7 i 8.

Na rysunku 11 pokazano charakterystyki impedancyjne filtra, impedancji zastępczej sieci oraz połączenia równoległego impedancji filtra i sieci.



Rys. 11. Charakterystyki impedancyjne filtra, sieci oraz połączenia równoległego impedancji sieci i filtra

Autor wykonał także ocenę analityczną skuteczności filtracyjnej filtra podwójnie nastrojonego. Impedancję filtra określa zależność wyprowadzona przez autora (5).

$$\underline{Z}_F(k) = j \frac{(k^2 - n_1^2)(k^2 - n_2^2)(1 - m^2) \cdot U^2}{k \cdot (k^2 - m^2)(1 - n_1^2)(1 - n_2^2) \cdot Q_F} \quad (5)$$

gdzie:

n_1, n_2 – rzędy częstotliwości dostrojenia filtrów,

k – dowolny rząd częstotliwości dla której liczona jest impedancja,

m – rząd częstotliwości maksimum charakterystyki impedancyjnej,

U – napięcie pracy,

Q_F – moc bierna pojemnościowa filtra.

Projektowanie filtra podwójnie nastrojonego, według literatury, sprowadza się do arbitralnego wskazania położenia maksimum charakterystyki impedancyjnej, bez uwzględniania impedancji zastępczej sieci zasilającej oraz odstojenia filtra od zredukowanych harmonicznych. A właśnie od tych parametrów zależy skuteczność filtra. Zależności wyprowadzone przez autora eliminują te wady. Wskaźnik redukcji harmonicznych jest silnie zależny od impedancji zastępczej sieci zasilającej (6).

$$\underline{E}(k) = \frac{\underline{Z}_F(k)}{\underline{Z}_F(k) + \underline{Z}_S(k)} = \frac{U^2}{U^2 + \omega_1 \cdot k^2 \cdot L_S \cdot Q_F \frac{(k^2 - m^2)(1 - n_1^2)(1 - n_2^2)}{(k^2 - n_1^2)(k^2 - n_2^2)(1 - m^2)}} \quad (6)$$

Skuteczność filtracyjna filtra, ze względu, że redukuje dwie harmoniczne jest równa liczbie 2 pomniejszoną o sumę wskaźników redukcji wskazanych harmonicznych (7).

$$\varepsilon = 2 - (E(h_1) + E(h_2)) \quad (7)$$

Aby wyznaczyć parametry optymalnego ze względu na (7) filtra podwójnie nastrojonego, konieczne jest wyznaczenie pochodnej wyrażenia (7) względem parametru m . Dzięki tej operacji, optymalne położenie maksimum charakterystyki impedancyjnej filtra określa zależność (8).

$$m = \sqrt{\frac{U^2 \cdot A + B \cdot (P_1 \cdot h_2^3 + P_1 \cdot h_1^3)}{U^2 \cdot A + B \cdot (P_1 \cdot h_2 + P_1 \cdot h_1)}} \quad (8)$$

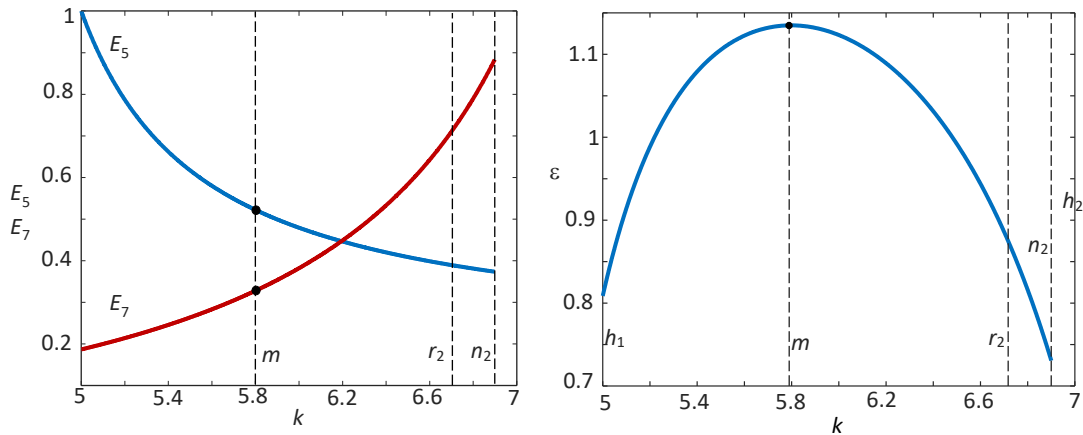
gdzie:

$$\begin{aligned} P_1 &= \sqrt{-(h_1^2 - 1)(h_1^2 - n_1^2)(h_1^2 - n_2^2)} \\ P_2 &= \sqrt{(h_2^2 - 1)(h_2^2 - n_1^2)(h_2^2 - n_2^2)} \\ A &= h_1 \cdot P_1 \cdot (h_2^2 - n_1^2)(h_2^2 - n_2^2) + h_2 \cdot P_2 \cdot (h_1^2 - n_1^2)(h_1^2 - n_2^2) \\ B &= L_S \cdot Q_F \cdot \omega_1 \cdot h_1 \cdot h_2 \cdot (n_1^2 - 1)(n_2^2 - 1) \end{aligned}$$

Wyznaczenie optymalnej wartości m umożliwia wyznaczenie parametrów filtra podwójnie nastrojonego (9).

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{(1 - n_1^2)(1 - n_2^2)m^2}{\omega_1 \cdot n_1^2 \cdot n_2^2 \cdot (1 - m^2)} \cdot \frac{Q_F}{U^2} \\ C_2 &= C_1 \frac{n_1^2 \cdot n_2^2}{m^2(n_1^2 + n_2^2 - m^2) - n_1^2 \cdot n_2^2} \\ L_2 &= \frac{1}{\omega_1^2 \cdot m^2 \cdot C_2} \\ L_1 &= \frac{m^2}{\omega_1^2 \cdot n_1^2 \cdot n_2^2 \cdot C_1} \end{aligned} \quad (9)$$

Przykładowe wykresy wskaźników redukcji harmonicznych i skuteczności filtracyjnej pokazano na rysunku 12.



Rys. 12. Przykładowe charakterystyki wskaźników redukcji harmonicznych oraz wskaźnika skuteczności filtracyjnej

Wzór (6) pozwala także na wyznaczenie parametru m przy założonym stopniu redukcji jednej z harmonicznych. Przeprowadzona przez autora analiza pozwala projektować optymalny filtr podwójnie nastrojonny pod względem skuteczności filtracyjnej jak również filtr o założonym stopniu redukcji jednej z harmonicznych. Wzory uwzględniają impedancję sieci zasilającej oraz założone odstrojenie filtra od redukowanych harmonicznych.

Uwzględnienie rezystancji elementów filtra oraz rezystancji sieci zasilającej znacznie komplikuje analizę układu ze względu na złożoność wzorów opisujących impedancję filtra. Z tego też powodu użyto algorytm świetlika do optymalizacji (maksymalizacji) wskaźnika skuteczności filtracji ε .

W monografii z 2021 roku poświęcono rozdział do opisu zasady działania algorytmu świetlika (FA) należącego do grupy metod inteligentnych. Zaproponowano także modyfikację tego algorytmu w celu

przyśpieszenia odnajdywania optimum funkcji celu, jak również zwiększenia dokładności znajdowanego rozwiązania.

W postawionym zadaniu optymalizacyjnym poszukiwana była wartość m , dla której skuteczność filtracyjna będzie największa.

Parametry użytego algorytmu świetlika były następujące:

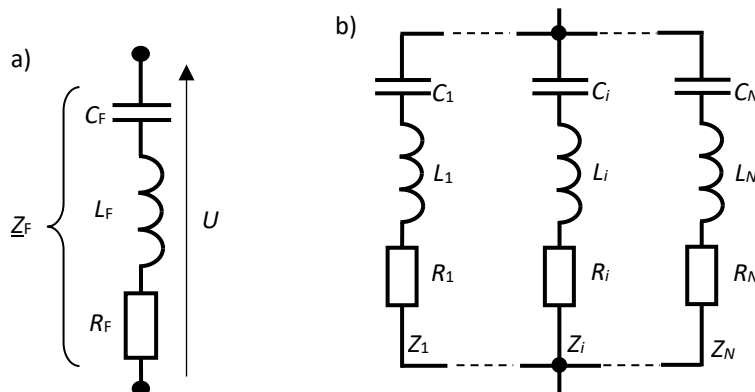
- Zakres zmienności zmiennej decyzyjnej: $5 < m < 6,9$,
- Liczba świetlików: $N = 40$,
- Liczba iteracji: $L_{\text{gen}} = 100$,
- Współczynnik atrakcyjności: $\beta_0 = 2$,
- Współczynnik absorpcji światła $\gamma = 1$,
- Wykładnik odległości: $m = 1$,
- Współczynnik mutacji: $\alpha = 0,9$,
- Współczynnik redukcji mutacji: $\alpha_{\text{damp}} = 0,8$.

Uzyskane wyniki pozwalają wnioskować, że:

- do prawidłowego projektowania filtra podwójnie nastrojonego konieczne jest uwzględnienie impedancji zastępczej sieci zasilającej oraz odstrojenia filtra od redukowanych harmoniczných,
- dobór położenia maksimum charakterystyki impedancyjnej filtra jest kluczowa dla skuteczności filtracyjnej,
- przy uwzględnieniu impedancji sieci oraz odstrojenia filtra od redukowanych harmoniczných, rezystancje zastępcze elementów LC mają znikomy wpływ na skuteczność filtracyjną.

Grupa filtrów prostych

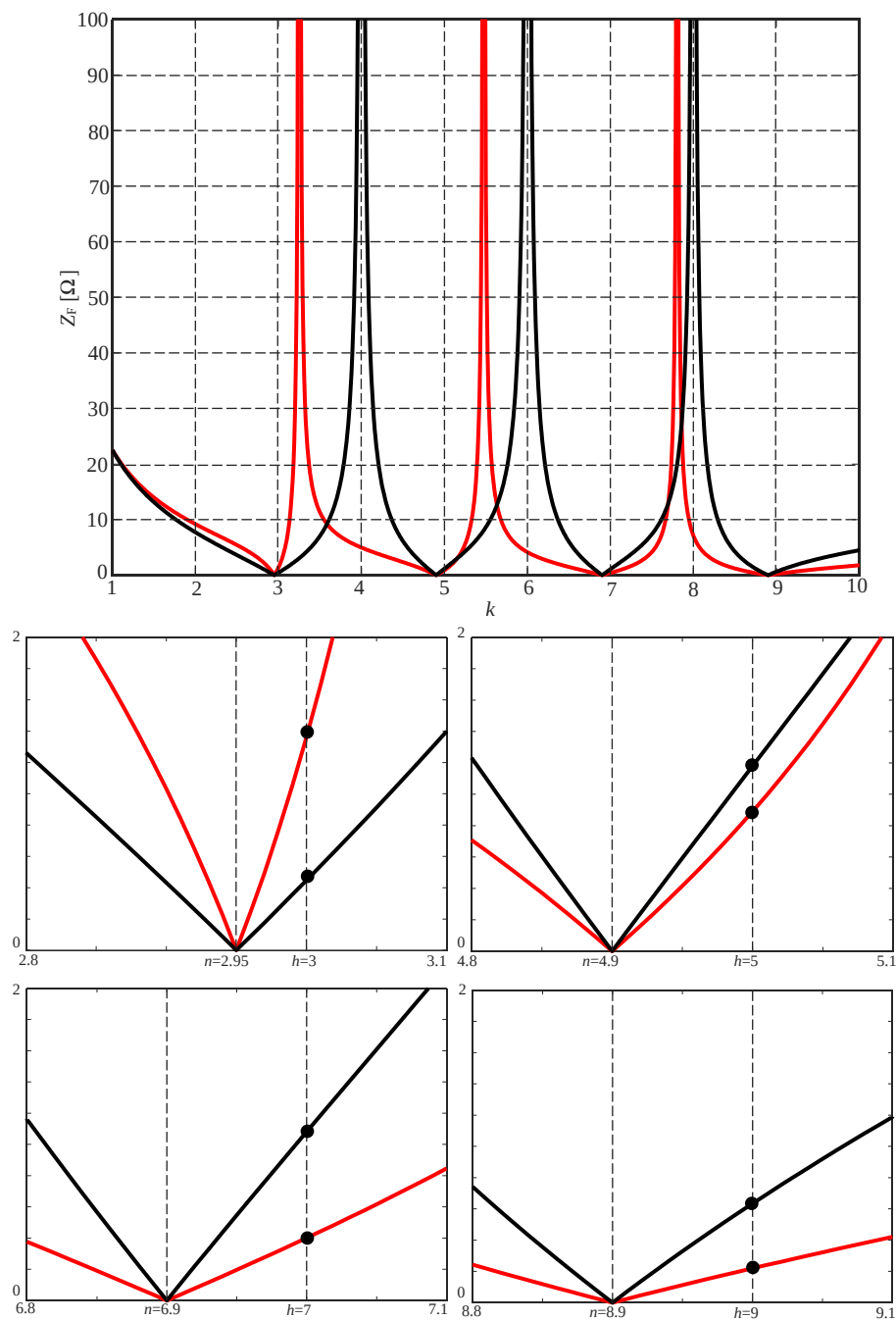
Podstawową strukturą filtracyjną i najczęściej stosowaną w praktyce jest filtr prosty jednogłęziowy – rys. 13a. Często się zdarza konieczność filtracji kilku harmoniczných, wtedy stosuje się grupę filtrów prostych – rys. 13b.



Rys. 13. Struktura filtra jednogłęziowego (a) oraz grupy filtrów prostych (b)

W układzie grupy filtrów, każda gałąź grupy wpływa na zdolność filtracyjną poszczególnych harmoniczných. Ten wzajemny wpływ należy uwzględnić w fazie projektowania. Problemem jest moc bierna podstawowej harmoniczných, którą cała grupa ma skompensować. Konieczna jest decyzja jaką część sumarycznej mocy biernej każda z gałęzi będzie kompensować. W literaturze istnieją różne wytyczne dotyczące podziału mocy biernej, np. równy podział mocy biernej pomiędzy pracujące równoległe filtry, moce filtrów odwrotnie proporcjonalnie do rzędu redukowanej harmoniczných, moce filtrów odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu rzędu redukowanej harmoniczných, moce filtrów wyznaczone w oparciu o zasadę równości wartości indukcyjności w gałęziach filtrów lub inny. W wyniku wyboru metody rozdziału mocy biernej uzyskuje się różne charakterystyki częstotliwościowe całej grupy – np. rys. 14. Główne różnice charakterystyk wynikają z różnych rozmieszczeń maksimów tych charakterystyk.

Można jednak postawić zadanie projektowe odwrotnie. Można wybrać miejsca maksimów charakterystyki impedancyjnej grupy czego skutkiem będzie podział mocy biernej pomiędzy gałęzie. Opisywana metoda projektowa została wyprowadzona i nazwana przez autora metodą macierzową. Opiera się ona na układzie równań opisujących część urojoną odwrotności impedancji grupy dla pulsacji podstawowej oraz pulsacji, dla których wskazano maksima charakterystyki (10).



Rys. 14. Przykładowe charakterystyki impedancyjne grupy 4 filtrów jednogłęziowych zaprojektowanych przy różnych założeniach o podziale mocy biernej pomiędzy gałęzie grupy

$$\begin{cases} \operatorname{Im} \left\{ \frac{1}{Z_F(\omega_{m1})} \right\} = -\frac{Q_F}{U^2} \\ \operatorname{Im} \left\{ \frac{1}{Z_F(\omega_{m2})} \right\} = 0 \\ \vdots \\ \operatorname{Im} \left\{ \frac{1}{Z_F(\omega_{mN})} \right\} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

gdzie:

Q_F – moc bierna pojemnościowa filtru,

U – napięcie pracy,

Z_F – impedancja zespolona filtru,

ω_{mi} – pulsacja podstawowej harmonicznej (ω_{m1}) oraz maksimów charakterystyki impedancyjnej,

N – liczba gałęzi grupy

Z równania (10) wynika ostateczne równanie projektowe (11)

$$\begin{bmatrix} \frac{n_1^2 \cdot m_1}{n_1^2 - m_1^2} & \frac{n_2^2 \cdot m_1}{n_2^2 - m_1^2} & \dots & \frac{n_N^2 \cdot m_1}{n_N^2 - m_1^2} \\ \frac{n_1^2 \cdot m_2}{n_1^2 - m_2^2} & \frac{n_2^2 \cdot m_2}{n_2^2 - m_2^2} & \dots & \frac{n_N^2 \cdot m_2}{n_N^2 - m_2^2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{n_1^2 \cdot m_N}{n_1^2 - m_N^2} & \frac{n_2^2 \cdot m_N}{n_2^2 - m_N^2} & \dots & \frac{n_N^2 \cdot m_N}{n_N^2 - m_N^2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{Q_F}{\omega_{m1} \cdot U^2} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

gdzie:

n_i – rząd częstotliwości dostrojenia i -tej gałęzi grupy,

m_i – rząd częstotliwości podstawowej harmonicznej ($m_1 = 1$) oraz położenia maksimów charakterystyki,

C_i – pojemność w i -tej gałęzi grupy,

$1 = m_1 < n_1 < m_2 < n_2 < \dots < m_N < n_N$

Rozwiązując powyższe równanie macierzowe wyznacza się pojemności poszczególnych gałęzi, które pozwolą uzyskać wymagany kształt charakterystyki impedancyjnej grupy.

Poprawność proponowanej metody projektowej pokazano rozwiązując równanie (11) stosując regułę Cramera (12). Liczba składników ujemnych w liczniku i mianowniku jest taka sama, więc wartości C_i mają zawsze wartości dodatnie.

$$C_i = \frac{-Q_F}{\omega_1 \cdot U^2} \cdot \frac{\prod_{j=1}^N (n_j^2 - 1)}{\prod_{j=2}^N (m_j^2 - 1)} \cdot \frac{\prod_{j=2}^N (n_i^2 - m_j^2)}{n_i^2 \cdot \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (n_i^2 - n_j^2)} \quad (12)$$

Metoda macierzowa umożliwia świadome kształtowanie charakterystyki impedancyjnej grupy filtrów. Metody istniejące w literaturze zakładają podział mocy biernej, której skutkiem jest położenie maksimów charakterystyki. Istnienie kilku różnych metod podziału mocy biernej wskazuje istnienie kilku różnych rozwiązań, ale które jest skuteczniejsze pod względem filtracji? Autor zebrał najbardziej powszechne metody podziału mocy biernej wraz z opisaną powyżej metodą macierzową i opisał je wspólnymi zależnościami matematycznymi. Następnie przeanalizował skuteczność filtracyjną ze względu na zmienność indukcyjności zastępczej sieci zasilającej. Uwzględnił także odstojenie filtrów od zredukowanych harmonicznych oraz rezystancje dławików i kondensatorów.

Odpowiedź na postawione pytanie jest jeszcze trudniejsza, gdy uwzględni się odstrojenie filtrów od redukowanych harmoniczných, rezystancje elementów LC oraz impedancję zastępczą sieci zasilającej. Wszystkie metody podziału mocy biernej pomiędzy gałęzie grupy określają jaka część sumarycznej mocy biernej przypadać będzie na poszczególne gałęzie (13)

$$M_i = \frac{Q_i}{Q_F} \quad (13)$$

A. Równy podział

$$M_i = \frac{1}{N} \quad (14)$$

B. Odwrotnie proporcjonalny do rzędu redukowanej harmonicznej

$$M_i = \frac{1}{n_i \cdot \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{n_j} \right)} \quad (15)$$

C. Odwrotnie proporcjonalny do kwadratu rzędu redukowanej harmonicznej

$$M_i = \frac{1}{n_i^2 \cdot \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{n_j^2} \right)} \quad (16)$$

D. Równość indukcyjności w gałęziach filtrów

$$M_i = \frac{1}{(1 - n_i^2) \cdot \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{1 - n_j^2} \right)} \quad (17)$$

E. Metoda macierzowa

$$M_i = \frac{1}{(n_i^2 - 1)} \cdot \frac{\prod_{j=1}^N (n_j^2 - 1)}{\prod_{j=2}^N (m_j^2 - 1)} \cdot \frac{\prod_{j=2}^N (n_i^2 - m_j^2)}{n_i^2 \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^N (n_i^2 - n_j^2)} \quad (18)$$

Wyznaczenie wskaźników M_i pozwala obliczyć pojemności i indukcyjności w gałęziach (19)-(20).

$$L_i = \frac{B}{M_i \cdot (1 - n_i^2)} \quad (19)$$

$$C_i = \frac{M_i \cdot (1 - n_i^2)}{B \cdot n_i^2 \cdot \omega_1^2} \quad (20)$$

Gdzie:

$$B = \frac{U^2}{\omega_1 \cdot Q_F} \quad (21)$$

Impedancja pojedynczego filtra wynosi (22) a całej grupy filtrów (23)

$$\underline{Z}_i(k) = j \frac{B \cdot \omega_1 \cdot (k^2 - n_i^2)}{M_i \cdot (1 - n_i^2) \cdot k} \quad (22)$$

$$\underline{Z}_F(k) = j \frac{B \cdot \omega_1}{k \cdot \sum_{i=1}^N \frac{M_i \cdot (1 - n_i^2)}{k^2 - n_i^2}} \quad (23)$$

Maksima charakterystyki impedancyjnej (m_i) określają pierwiastki równania (24).

$$0 = \sum_{i=1}^N \frac{M_i \cdot (1 - n_i^2)}{m^2 - n_i^2} \quad (24)$$

Dobroć dławików i kondensatorów umożliwi uwzględnienie rezystancji elementów LC (25).

$$q_L = \frac{\omega_1 \cdot L_i}{R_{Li}}; \quad q_C = \frac{1}{\omega_1 \cdot C_i \cdot R_{Ci}} \quad (25)$$

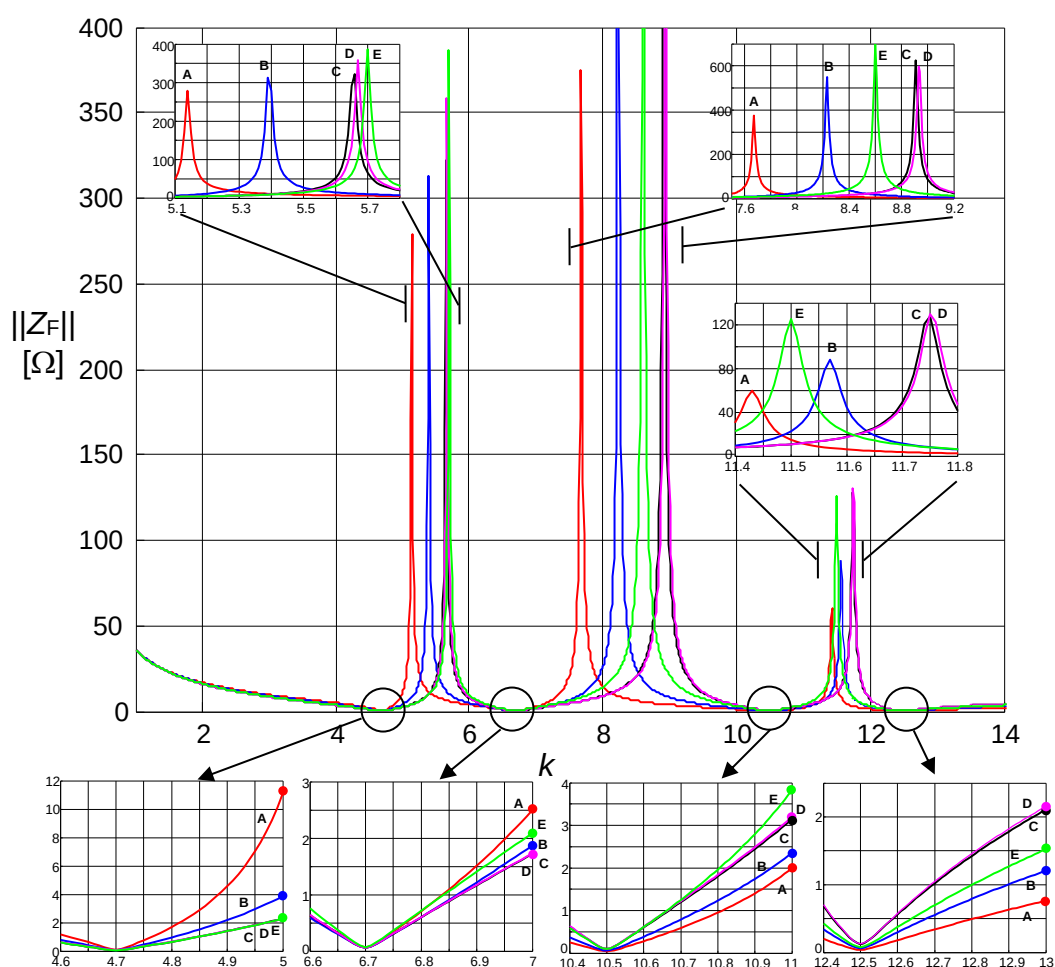
Rezystancja gałęzi grupy określa zależność (26)

$$R_i = \frac{B \cdot \omega_1 \cdot (q_C + q_L \cdot n_i^2)}{M_i \cdot (1 - n_i^2) \cdot q_L \cdot q_C} \quad (26)$$

Impedancja grupy filtrów po uwzględnieniu rezystancji wynosi (27)

$$\underline{Z}_F(k) = \frac{B \cdot \omega_1}{q_L \cdot q_C \cdot k \cdot \sum_{i=1}^N \frac{M_i \cdot (1 - n_i^2)}{k \cdot (q_C + q_L \cdot n_i^2) + j \cdot (k^2 - n_i^2) \cdot q_L \cdot q_C}} \quad (27)$$

Na rysunku 15 przedstawiono przykładowe charakterystyki impedancyjne grup czterech filtrów zaprojektowanych metodami A, B, C, D i E. Jak widać charakterystyki są różne zwłaszcza w umiejscowieniu maksimów charakterystyk, a co za tym idzie również w redukcji wybranych harmoniczných.



Rys. 15. Przykładowe charakterystyki impedancyjne grupy 4 filtrów jednogięziowych zaprojektowanych różnymi metodami

Najważniejszym czynnikiem wpływającym na skuteczność filtracji jest impedancja zastępcza sieci zasilającej (28).

$$\underline{Z}_S(k) = R_S + j \cdot \omega_1 \cdot k \cdot L_S \quad (28)$$

Wskaźnik redukcji harmonicznego rzędu k wyznacza wzór (29). Wskaźnik ten określa jaką część harmonicznego rzędu k popłynie przez sieć.

$$E(k) = \left\| \frac{\underline{Z}_F(k)}{\underline{Z}_F(k) + \underline{Z}_S(k)} \right\| \quad (29)$$

Ze względu na fakt, że grupa filtrów prostych projektowana jest do redukcji kilku wybranych harmoniczych, wskaźnikiem skuteczności filtracji będzie liczba N pomniejszona o sumę wskaźników redukcji tych właśnie harmoniczych (30).

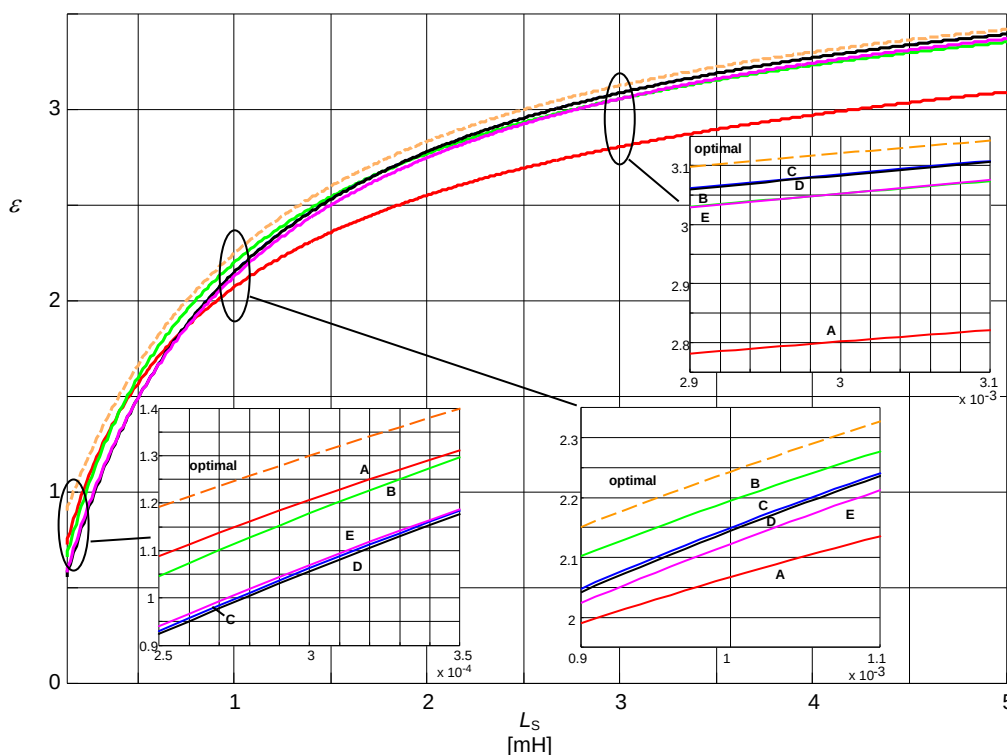
$$\varepsilon = N - \sum_{i=1}^N E(h_i) \quad (30)$$

gdzie:

h_i – rząd i -tej redukowanej harmonicznego

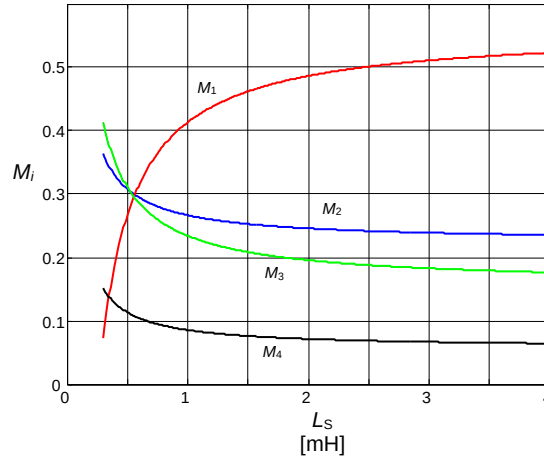
Po podstawieniu wzorów (27) – (29) do zależności (30) określono kryterium optymalizacyjne, które pozwala zmaksymalizować składowe harmoniczne płynące przez grupę filtrów. Jest to zależność złożona, którą trudno jest optymalizować analitycznie. Z tego względu wykorzystano numeryczną metodę optymalizacji Nelder-Meada.

Wskazaną metodą dokonano wielokrotnej optymalizacji maksymalizując wskaźnik ε dla różnych wartości indukcyjności zastępczej sieci zasilającej L_S . Wykres skuteczności filtracyjnych w funkcji indukcyjności zastępczej sieci zasilającej dla różnych metod projektowych oraz w przypadku optymalizacji numerycznej (rys. 16) wskazuje, że żadna z metod nie jest optymalna. Co więcej, nie można wskazać najlepszej metody, gdyż ich skuteczność zależy od indukcyjności zastępczej sieci zasilającej.



Rys. 16. Wykresy skuteczności filtracyjnych ε dla różnych metod projektowych w funkcji indukcyjności zastępczej sieci zasilającej

Optymalne wartości współczynników M_i podziału mocy biernej pomiędzy gałęzie grupy także zależą od indukcyjności zastępczej. Wykres tych wartości w funkcji indukcyjności zastępczej pokazano na rys. 17.



Rys. 17. Wykresy współczynników podziału mocy biernej pomiędzy gałęzie grupy w funkcji indukcyjności zastępczej sieci

Skuteczność filtracyjna grupy filtrów silnie zależy od impedancji zastępczej sieci zasilającej i żadna z metod klasycznych podziału mocy biernej pomiędzy gałęzie grupy nie jest optymalna. Nie można także wskazać lepszej metody spośród omawianych, gdyż w zależności od wartości indukcyjności zastępczej sieci zasilającej różne metody dają lepsze rezultaty. Stąd też powstała potrzeba wyznaczenia rozwiązania optymalnego, którą autor opracował.

Przy założeniu upraszczającym, pomijającym rezystancje elementów filtru oraz sieci zasilającej, impedancję grupy określa wzór (23). Wskaźnik redukcji harmoniczných dla j . harmoniczných określa wzór (31) a skuteczność filtracyjną (32) jest liczbą gałęzi filtrów pomniejszoną o sumę wskaźników redukcji harmoniczných dla redukowaných harmoniczných.

$$E(h_j) = \left(1 + \omega_1 \cdot h_j^2 \cdot L_s \frac{Q_F}{U^2} \cdot \sum_{i=1}^N \left(\frac{M_i \cdot (1 - n_i^2)}{h_j^2 - n_i^2} \right) \right)^{-1} \quad (31)$$

$$\varepsilon = N - \sum_{j=1}^N \left(1 + \omega_1 \cdot h_j^2 \cdot L_s \frac{Q_F}{U^2} \cdot \sum_{i=1}^N \left(\frac{M_i \cdot (1 - n_i^2)}{h_j^2 - n_i^2} \right) \right)^{-1} \quad (32)$$

Korzystając z faktu, że suma współczynników M_i musi się sumować do jedności, ostatecznie wskaźnik skuteczności filtracyjnej uzyskuje postać (33).

$$\varepsilon = N - \sum_{j=1}^N \left(1 + \omega_1 \cdot h_j^2 \cdot L_s \frac{Q_F}{U^2} \cdot \left(\sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{M_i \cdot (1 - n_i^2)}{h_j^2 - n_i^2} \right) + \frac{(1 - \sum_{i=1}^{N-1} M_i) \cdot (1 - n_N^2)}{h_j^2 - n_N^2} \right) \right)^{-1} \quad (33)$$

Zmiennymi decyzyjnymi w powyższym równaniu są współczynniki M_i podziału mocy biernej pomiędzy gałęzie grupy. Obliczenie pochodnych cząstkowych wzoru (33) względem wszystkich współczynników M_i i przyrównanie ich do zera umożliwi wyznaczenie optymalnego podziału mocy biernej. Ostatecznie, po uproszczeniu wzorów i zapisaniu ich w postaci równania macierzowego uzyskano równanie (34).

$$\begin{bmatrix} D_{1,1} & D_{1,2} & \cdots & D_{1,N-1} & 0 \\ D_{2,1} & D_{2,2} & \cdots & D_{2,N-1} & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ D_{N-1,1} & D_{N-1,2} & \cdots & D_{N-1,N-1} & 0 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_{N-1} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (34)$$

gdzie:

$$D_{i,j} = (n_j^2 - n_i^2) \left(\frac{B_i}{(h_{i+1}^2 - n_j^2)(h_{i+1}^2 - n_N^2)} - \frac{A_i}{(h_1^2 - n_j^2)(h_1^2 - n_N^2)} \right)$$

$$W_i = \frac{U^2}{\omega_1 \cdot L_S \cdot Q_F} \left(\frac{B_i}{h_{i+1}^2(h_{i+1}^2 - 1)} - \frac{A_i}{h_1^2(h_1^2 - 1)} \right) - (n_N^2 - 1) \left(\frac{B_i}{(h_{i+1}^2 - 1)(h_{i+1}^2 - n_N^2)} - \frac{A_i}{(h_1^2 - 1)(h_1^2 - n_N^2)} \right)$$

$$A_i = \sqrt{(-1) \frac{h_1^2(h_1^2 - 1)(\prod_{z=1}^N (h_1^2 - n_z^2))}{1 \cdot \prod_{\substack{z=2, \\ z \neq i+1}}^N (h_1^2 - h_z^2)}}$$

$$B_i = \sqrt{\frac{h_{i+1}^2(h_{i+1}^2 - 1)(\prod_{z=1}^N (h_{i+1}^2 - n_z^2))}{1 \cdot \prod_{\substack{z=2, \\ z \neq i+1}}^N (h_{i+1}^2 - h_z^2)}}$$

Wzór (34) pozwala zaprojektować optymalną grupę filtrów jednogąźziowych. Wiedza o tym jak podzielić moc bierną pomiędzy gałęzie grupy, aby suma wskaźników redukcji była maksymalna jest kluczowa. Pozwala projektantowi podjąć decyzję o akceptacji założeń projektowych (np. liczba gałęzi) lub o konieczności zmiany tych założeń. Istnieje także możliwość podjęcia decyzji o odejściu od optymalnego podziału mocy biernej na rzecz zwiększenia stopnia redukcji wybranej harmonicznej. Można to wykonać zastępując jeden z wierszy równania (34) równaniem (31) przy wskazaniu wartości oczekiwanej redukcji wskazanej harmonicznej.

Za pomocą równania (24) możliwe jest obliczenie położenia maksimów charakterystyki impedancyjnej grupy filtrów jednogąźziowych.

Uwzględnienie rezystancji w impedancji grupy (na podstawie dobroci elementów) oraz w impedancji sieci zasilającej znacząco komplikuje zapis wzorów. Wskaźniki redukcji harmonicznych są wówczas liczbami zespolonymi. Konieczne jest operowanie modułami tych liczb. Skuteczność filtracji grupy opisuje wtedy zależność (35).

$$\varepsilon = N - \sum_{y=1}^N \left\| 1 + (R_S + j \cdot \omega_1 \cdot h_y \cdot L_S) q_L \cdot q_C \right. \\ \left. \cdot h_y \frac{Q_F}{U^2} \sum_{i=1}^N \left(\frac{M_i \cdot (1 - n_i^2)}{(q_C + q_L \cdot n_i^2) h_y + j \cdot q_L \cdot q_C (h_y^2 - n_i^2)} \right) \right\|^{-1} \quad (35)$$

Po uwzględnieniu rezystancji elementów filtra przeprowadzono optymalizację numeryczną za pomocą algorytmu świetlika pokazującą że wpływ rezystancji na stopień redukcji harmonicznych, a co za tym idzie na skuteczność filtracyjną grupy jest pomijalna ze względu na uwzględnienie odstrojenia filtrów od redukowanych harmonicznych. Oznacza to, że projektowanie grupy filtrów pod względem skuteczności filtracyjnej bez uwzględnienia rezystancji jest właściwe. Zaprezentowane zależności pozwalają zaprojektować optymalną grupę filtrów lub grupę filtrów z założonym stopniem redukcji wybranych harmonicznych. Pozwalają także wyznaczyć umiejscowienia maksimów charakterystyki impedancyjnej.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

a) Praca w PWSZ w Tarnowie w latach 1998-2021

Artykuły afiliowane przeze mnie w AGH ze względu na decyzję Rektora AGH o zasadach starania się o uzyskanie zgody na dodatkowe zatrudnienia w drugiej Uczelni

- Klempka R., Filipowicz B., Comparison of using the genetic algorithm and cuckoo search for multicriteria optimisation with limitation, Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 2017 vol. 25 iss. 2, s. 1300–1310
- Klempka R., Filipowicz B., Optimization of a DC motor drive using a firefly algorithm, LIV International Symposium on Electrical Machines, Andrychów, Poland, 10–13 June 2018

b) Organizacja wraz z Politechniką Łódzką międzynarodowych konferencji EPQU w latach 1999, 2001, 2003, 2005, 2009, 2013.

Współredaktor monografii konferencyjnych:

- Pawełek R., Klempka R., EPQU'01 Electrical Power Quality and Utilisation, 6th international conference, September 19–21, 2001, Cracow, Poland, Proceedings, editors: Ryszard Pawełek, Ryszard Klempka - Łódź, Kraków, 2001, 522 s.
- Pawełek R., Klempka R., EPQU'03 7th international conference on Electrical Power Quality and Utilisation, September 17–19, 2003, Cracow, Poland, editors: Pawełek R., Klempka R., Proceedings 712 s., Łódź, Kraków

c) Współpraca z Polskim i Europejskim Centrum Promocji Miedzi (European Copper Alliance)

Organizacja i przeprowadzenie eksperymentu dydaktycznego.

- Hanzelka Z., Klempka R., Targosz R., Ramczykowski M., Power Quality – an educational experiment, EPQU'03 7th international conference on Electrical Power Quality and Utilisation, September 17-19, 2003, Cracow, Power quality and education, ISBN 83-88309-16-1, Leonardo Power Quality Initiative, s. 5-13.
- EPQU'03 Power Quality and Utilisation, 7th international conference Power Quality and education, Leonardo Power Quality Initiative, ed. board: Hanzelka Z., Klempka R., Ramczykowski M., Targosz R., Kraków 17-19 listopada 2003, ISBN 83-88309-16-1, Kraków, 98 s.,

d) Grant we współpracy Uniwersytetem Morskim w Gdyni

„Rozproszony system poprawy jakości energii elektrycznej”, Grant 3T10A00529, 2006-2007.

Hartman M., Hashad M., Mindykowski J., Hanzelka Z., Klempka R., A new concept of the electrical distributed system for power quality improvement, CPE 2005, 4th international workshop – Compatibility in Power Electronics, 1-3 June 2005, Gdynia, s. 1-3

e) „Grid inverter ancillary services”, w: Network of DER laboratories and pre-standarisation: project deliverable 2.8: DER inverter white book: contract no. SES6–CT–518299, NoE DERlab: international white book on the Grid integration of static converters revision 0, 2009-09-15 / ed. Philipp Strauss. 2009, s. 6–29

Network of Excellence co-funded by the European Commission under the 6th Framework Programme within the thematic programme "Sustainable Energy Systems".

Amezua Aitor (Hiszpania), Benysek Grzegorz (Polska), Braun Martin (Niemcy), Finney Stephen (Wielka Brytania), Hanzelka Zbigniew (Polska), Klempka Ryszard (Polska), Loix Tom (Belgia), Mutale Joseph (Wielka Brytania), Pawełek Ryszard (Polska), Rodriguez Jose Emilio (Hiszpania), Superti Furga Gabrio (Włochy), Van Tichelen Paul (Belgia), Wasiak Irena (Polska), Zabala Eduardo (Hiszpania)

- f) Współpraca z Uniwersytetem Gdańskim,
Garbacz-Klempka A., Rzadkosz S., Klempka R., Ossowski W. Metallographic and corrosion research of copper from archaeological sites, *Metalurgija*, 2015 vol. 54 no. 1, s. 217–220
- g) Współpraca z Muzeum Miedzi w Legnicy
Garbacz-Klempka A., Suchy J.S., Kwak Z., Tokarski K., Klempka R., Stolarczyk T., Study of investment casting technology from Bronze Age - casting workshop in Grzybiany (southwest Poland), *Archives of Metallurgy and Materials, Polish Academy of Sciences, Committee of Metallurgy. Institute of Metallurgy and Materials Science*, 2018 vol. 63 iss. 2, s. 615–624

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

- a) Zaprojektowanie, organizacja i przeprowadzenie studiów podyplomowych „Efektywne użytkowanie energii - audyt energetyczny na potrzeby termomodernizacji oraz oceny energetycznej budynków” we współpracy: PWSZ w Tarnowie, Akademia Górniczo-Hutnicza oraz Politechnika Krakowska – trzy edycje finansowane z Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki.
- b) Zaprojektowanie, organizacja i prowadzenie studiów podyplomowych „Efektywne użytkowanie energii elektrycznej” we współpracy Akademii Górniczo-Hutniczej, Politechniki Śląskiej i Euro-Centrum w ramach projektu Śląsko-Małopolskiego Centrum Kompetencji Zarządzania Energią.
- c) Zaprojektowanie, organizacja i przeprowadzenie eksperymentu dydaktycznego (Hanzelka Z., Klempka R., Targosz R., Ramczykowski M.) „Jakość Energii Elektrycznej – eksperyment dydaktyczny” we współpracy z Polskim Centrum Promocji Miedzi w czasie trwania 7 Międzynarodowej Konferencji EPQU’03 w Krakowie w ramach projektu Leonardo Power Quality Initiative.
- d) Zaprojektowanie sylabusów i prowadzenie zajęć:
 - Informatyka I (wykład, laboratorium)
 - Informatyka II (wykład, laboratorium)
 - Teoria sterowania i technika regulacji (wykład, ćwiczenia, laboratorium)
 - Jakość energii elektrycznej (wykład, laboratorium, projekt)
 - Jakość i użytkowanie energii elektrycznej (laboratorium)
 - Control System Optimisation (wykład, laboratorium) – zajęcia w języku angielskim
 - Modelowanie układów dynamicznych (laboratorium)
 - Metody matematyczne w systemach dynamicznych (wykład, laboratorium)

Metody numeryczne (wykład, laboratorium)
Zaawansowane układy energoelektroniczne (laboratorium)
Nowoczesne metody sterowania z elementami sztucznej inteligencji (wykład, laboratorium)
Elektronika i podstawy automatyki (wykład, laboratorium)
Modelowanie systemów dynamicznych (laboratorium)
Matematyka dyskretna i metody numeryczne (laboratorium)

e) Współautor podręczników:

- [1] Klempka R., Stankiewicz A., Charakterystyki dynamiczne podstawowych członów, ćwiczenie 1, Teoria sterowania i technika regulacji, laboratorium, pod redakcją Stanisław Potrawka, Kraków UWND AGH 2001, Skrypt Uczelniany, SU 1638, s.9-27,
- [2] Klempka R., Stankiewicz A., Programowanie z przykładami w językach Pascal i Matlab, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków UWND AGH, 2002, książka 144 s., KU 0071, ISBN 83-88408-14-3
- [3] Klempka R., Stankiewicz A., Modelowanie i symulacja układów dynamicznych, wybrane zagadnienia z przykładami w Matlabie, UWND AGH 2004, Kraków, książka 185 s., KU 0129, ISBN 83-89388-03-0
- [4] Klempka R., Stankiewicz A. Programowanie z przykładami w językach Pascal i Matlab, Wydanie drugie, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, wznowienie książki 144 s., KU 0155, Kraków 2005, ISBN 83-89388-69-3,
- [5] Klempka R., Stankiewicz A., Modelowanie i symulacja układów dynamicznych, wybrane zagadnienia z przykładami w Matlabie, UWND AGH 2006, wydanie drugie, Kraków, wznowienie książki 185 s., KU 0207, ISBN 83-7464-060-X
- [6] Klempka R., Sikora-Iliew R., Stankiewicz A., Świątek B., Modelowanie i symulacja układów elektrycznych w Matlabie, przykłady, UWND AGH 2007, Kraków, książka 206 s., KU 0245, ISBN 978-83-7464-112-8
- [7] Klempka R., Świątek B., Garbacz-Klempka A., Programowanie, algorytmy numeryczne i modelowanie w Matlabie, Wydawnictwa AGH 2017, Kraków, KU 0684, 389 s.,

f) Nagroda Imienia Profesora Władysława Taklińskiego (zespołowa) za rozpowszechnianie wiedzy dot. „Jakości dostawy energii elektrycznej (JDEE)”.

g) Opieka nad czterdziestoma studentami w ramach realizacji prac dyplomowych (inżynierskich i magisterskich)

h) promotor pomocniczy doktoratów

- Michał Gajdzica,
Procesy przejściowe w systemach zasilania niekonwencjonalnych odbiorników przemysłowych,
data otwarcia przewodu doktorskiego 25 kwietnia 2013 r.,
data obrony 20. października 2016 r.
- Chamberlin Stéphane Azebaze Mboving,
Methods for reducing voltage and current distortion caused by power electronic converters in power systems,
data otwarcia przewodu doktorskiego 24 września 2015 r.
data obrony 19.01.2021r.

- f) członek Komitetów Organizacyjnych międzynarodowych konferencji EPQU,
- EPQU'99 5th international conference Electrical Power Quality and Utilisation, September 15–17, 1999, Cracow,
 - EPQU'01 6th international conference Electrical Power Quality and Utilisation, September 19–21, 2001, Cracow,
 - EPQU'03 7th international conference Electrical Power Quality and Utilisation, September 17–19, 2003, Cracow, Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego ze strony AGH
 - EPQU'05 8th international conference Electrical Power Quality and Utilisation, September 21–23, 2005, Cracow,
 - EPQU'09 10th international conference Electrical Power Quality and Utilisation, September 15–17, 2009, Łódź,
 - EPQU'13 12th international conference Electrical Power Quality and Utilisation, September 18–20, 2013, Cracow, Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego ze strony AGH
- g) Redakcja materiałów konferencyjnych:
- EPQU'01 6th international conference Electrical Power Quality and Utilisation, September 19–21, 2001, Cracow, Poland, Proceedings, editors: Ryszard Pawełek, Ryszard Klempka, 522 s.,
 - EPQU'03 7th international conference on Electrical Power Quality and Utilisation, September 17–19, 2003, Cracow, Poland, Proceedings, editors Ryszard Pawełek, Ryszard Klempka 712 s.,
 - EPQU'03 Power Quality and Utilisation, 7th international conference Power Quality and education, Leonardo Power Quality Initiative, ed. board: Hanzelka Z., Klempka R., Ramczykowski M., Targosz R., Kraków 17-19 listopada 2003, ISBN 83-88309-16-1, Kraków, 98 s.,
 - Energia odnawialna – wykorzystanie biomasy, symposium, 19 listopada 2003 r., ed. Ryszard Klempka, Centrum Targowe Chemobudowa Kraków S. A., 110 s.,
 - Niezawodność zasilania urządzeń elektrycznych, seminarium z cyklu „Polskie Partnerstwo Jakości Zasilania” zorganizowane w ramach Europejskiego Programu Leonardo da Vinci jako forma projektu „Edukacyjny Program Jakości Zasilania Leonardo”, Leonardo Power Quality Initiative, VIII Targi elektrotechniki, elektroniki i elektroenergetyki, Kraków, 20 listopada 2003, ed. Ryszard Klempka, 96 s.,
 - Jakość i efektywne użytkowanie energii elektrycznej, seminarium z cyklu „Polskie Partnerstwo Jakości Zasilania” zorganizowane w ramach Europejskiego Programu Leonardo da Vinci jako forma projektu „Edukacyjny Program Jakości Zasilania Leonardo”, 17-18 listopada 2004, — ISBN 83-88309-21-8, 202 s.,
- h) Udział w komisjach oraz inne funkcje
- członek Rady Wydziału EAIiE 2005-2008
 - członek Rady Wydziału EAIiB 2012-2016
 - członek Rady Wydziału EAIiB 2016-2020
 - członek Rady Dyscypliny AEE 2020-
 - członek Kolegium Wydziału EAIiB 2020-
 - członek Uczelnianego Kolegium Elektorów w wyborach Rektora AGH 2012-2016
 - członek Wydziałowego Kolegium Elektor w wyborach Dziekana 2005-2008

- członek Wydziałowego Kolegium Elektor w wyborach Dziekana 2008-2012
- członek Wydziałowego Kolegium Elektor w wyborach Dziekana 2012-2016
- z-ca sekretarza Stowarzyszenia Wychowanków AGH 2004-2008
- skarbnik Stowarzyszenia Wychowanków AGH 2008-2012
- skarbnik Stowarzyszenia Wychowanków AGH 2012-2016
- skarbnik Stowarzyszenia Wychowanków AGH 2016-2021
- z-ca dyrektora Instytutu Politechnicznego PWSZ w Tarnowie 2003
- z-ca dyrektora Instytutu Politechnicznego PWSZ w Tarnowie 2003-2007
- z-ca dyrektora Instytutu Politechnicznego PWSZ w Tarnowie 2007-2011
- z-ca dyrektora Instytutu Politechnicznego PWSZ w Tarnowie 2011-2014
- sekretarz Uczelnianej Komisji Wyborczej PWSZ w Tarnowie 2003-2007
- członek Uczelnianej Komisji Wyborczej PWSZ w Tarnowie 2007-2011
- członek Uczelnianej Komisji Wyborczej PWSZ w Tarnowie 2011-2015
- corocznie członek Instytutowej Komisji Rekrutacyjnej PWSZ w Tarnowie 2002 – 2013 pełniąc funkcje członka, sekretarza lub przewodniczącego
- Rzecznik dyscyplinarny ds. studenckich PWSZ w Tarnowie – 2002-2003
- przewodniczący Instytutowej Komisji Stypendialnej PWSZ 2003-2007
- przewodniczący Instytutowej Komisji Stypendialnej PWSZ 2007-2011
- Wiceprzewodniczący Uczelnianej Komisji Stypendialnej PWSZ 2007-2011
- członek senackiej komisji ds. Regulaminu Studiów PWSZ w Tarnowie 2007-2011
- członek senackiej komisji ds. Toku studiów PWSZ 2007-2011
- członek senackiej komisji ds. Toku studiów PWSZ 2011-2015
- członek zespołu przygotowującego raport samooceny na potrzeby akredytacji kierunku Informatyka w PWSZ w Tarnowie w 2004 r.
- członek zespołu przygotowującego raport samooceny na potrzeby akredytacji kierunku Elektrotechnika w PWSZ w Tarnowie w 2006 r.
- członek zespołu przygotowującego raport samooceny na potrzeby akredytacji kierunku Elektrotechnika w PWSZ w Tarnowie w 2013 r.
- członek zespołu przygotowującego raport samooceny na potrzeby akredytacji kierunku Elektrotechnika w PWSZ w Tarnowie w 2019 r.
- Pełnomocnik Dziekana ds. Jakości Kształcenia, Przewodniczący Wydziałowego Zespołu ds. Jakości Kształcenia (AGH) 2018 – 2020
- Przewodniczący Rady ds. Kształcenia w dyscyplinach Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika oraz Inżynieria Biomedyczna od 2020
- Członek zespołu przygotowującego raport samooceny na potrzeby akredytacji KAUT kierunku Elektrotechnika w AGH 2021

7. Inne ważne informacje dotyczące kariery zawodowej.

Nagrody i wyróżnienia:

1. Rektorska Nagroda Dydaktyczna (AGH) - zespołowa I stopnia 2002 r.
2. Rektorska Nagroda Dydaktyczna (AGH) - zespołowa III stopnia 2003 r.
3. Rektorska Nagroda Dydaktyczna (AGH) - zespołowa I stopnia 2005 r.
4. Brązowy Krzyż Zasługi – 2006 r.
5. Medal 10-lecia PWSZ w Tarnowie – 2008 r.
6. Brązowy medal za długoletnią służbę – 2010 r.
7. Medal Komisji Edukacji Narodowej – 2011 r.

8. Medal 15-lecia PWSZ w Tarnowie – 2013 r.
9. Rektorska Nagroda Naukowa (AGH) – zespołowa II stopnia - 2014 r.
10. Rektorska Nagroda Naukowa (AGH) – zespołowa II stopnia - 2015 r.
11. Nagroda Imienia Profesora Władysława Taklińskiego – zespołowa 2016 r.
12. Rektorska Nagroda Dydaktyczna (AGH) - zespołowa II stopnia 2018 r.
13. Rektorska Nagroda Organizacyjna (AGH) – zespołowa I stopnia 2021 r.
14. Rektorska Nagroda za osiągnięcia dydaktyczne i organizacyjne (PWSZ w Tarnowie) - 2001, 2003, 2011



.....
(podpis wnioskodawcy)