



## OPTYMALIZACJA PARAMETRÓW PRZEKSZTAŁTNIKÓW

# Ćwiczenie 1p

## Wejściowe filtry przeciwzakłócenio- we Pomiar przewodzonych zaburzeń elektromagnetycznych

Ramowy plan pracy

15'	30'	45'	1 <sup>h</sup>	1 <sup>h</sup> 15'	1 <sup>h</sup> 30'	po zajęciach

Opracowanie ćwiczenia i instrukcji:  
Bartosz Pękosławski, Łukasz Starzak, Artur Krzywoszonek

Łódź 2013

wer. 1.0.1. 7.04.2013



## Spis treści

<b>B Wprowadzenie do ćwiczenia.....</b>	<b>5</b>
1. Cel i przebieg ćwiczenia.....	5
2. Podstawy teoretyczne [1].....	7
2.1. Wprowadzenie .....	7
2.2. Zaburzenia elektromagnetyczne .....	7
2.2.a. Zaburzenia przewodzone .....	8
2.2.b. Poziomy zaburzeń elektromagnetycznych .....	9
2.2.c. Tłumienie zaburzeń elektromagnetycznych .....	11
<b>C Doświadczenie.....</b>	<b>13</b>
3. Pomiary.....	13
3.1. Układ pomiarowy .....	13
3.2. Wykonanie pomiarów.....	14
<b>D Wyniki.....</b>	<b>15</b>
4. Opracowanie i analiza wyników.....	15
<b>E Informacje.....</b>	<b>17</b>
5. Literatura .....	17



## Wprowadzenie do ćwiczenia

---

### 1. Cel i przebieg ćwiczenia

---

Celem ćwiczenia jest poznanie zasady pomiaru przewodzonych zakłóceń elektromagnetycznych oraz metod redukcji ich poziomu za pomocą filtrów przeciwzakłóceńowych. Ćwiczenie bazuje na układzie aktywnego korektora współczynnika mocy jako przykładowym przekształtniku.



## 2. Podstawy teoretyczne [1]

---

### 2.1. Wprowadzenie

Obserwowany w ostatnich latach postęp w technologii przyrządów półprzewodnikowych mocy pozwolił na wprowadzenie zaawansowanych układów przekształtnikowych, opartych między innymi na tranzystorach MOSFET i IGBT. Układy te, pracujące z częstotliwościami komutacyjnymi wielokrotnie większymi od częstotliwości źródła zasilania ( $f = 50 \text{ Hz}$ ), poprawiają właściwości dynamiczne i sprawność działania. Jednak częstotliwość przełączania, a także wyższe częstotliwości związane z dużymi stromościami prądowymi i napięciowymi, stały się przyczyną pojawienia się w tych układach zaburzeń elektromagnetycznych. Są one niekorzystne zarówno dla samego źródła zasilania, jak i dla innych urządzeń do niego przyłączonych.

### 2.2. Zaburzenia elektromagnetyczne

Sygnaly elektromagnetyczne powstają wszędzie tam, gdzie urządzenie jest zasilane energią elektryczną. Sygnałem niepożądanym nazywa się każdy sygnał elektryczny występujący w układzie, inny niż użyteczny. Zaburzenia natomiast stanowią te sygnały niepożądane, które są przyczyną nieprawidłowej pracy danego układu, urządzenia czy systemu elektronicznego. Sygnaly niepożądane występują równocześnie z sygnałem użytecznym i nie można ich w pełni wyeliminować, a jedynie można obniżyć ich poziom, aby nie powodowały zakłóceń.

Przyczyną występowania zaburzeń mogą być naturalne zjawiska występujące w przyrodzie (zakłócenia atmosferyczne, szumy własne elementów), jak i efekty spowodowane działalnością człowieka (tzw. zaburzenia przemysłowe).

Źródła zaburzeń są wszechobecne bez względu na środowisko. Ich rodzaj i intensywność zależy od wielu czynników. Zaburzenia można podzielić według różnych kryteriów, między innymi ze względu na:

- zakres częstotliwości:
  - o zaburzenia małej częstotliwości (m.cz. do ok. 1 MHz)
  - o zaburzenia wielkiej częstotliwości (w.cz. powyżej 1 MHz)
- czas trwania:
  - o zaburzenia trwałe lub podtrzymywane
  - o zaburzenia przejściowe (chwilowe)
- sposób przenikania (klasyczny podział rodzajów sprzężeń):
  - o przez przewodzenie
  - o przez indukcję

- o przez promieniowanie

Mechanizm przenikania zaburzeń elektromagnetycznych do obwodów układu elektronicznego nazywa się sprzężeniem. Można dokonać bardziej precyzyjnego podziału sprzężeń elektromagnetycznych:

- sprzężenie przez wspólną impedancję
- sprzężenie pojemnościowe płytki układu elektronicznego z obudową
- sprzężenie przez przesłuch indukcyjny
- sprzężenie przez przesłuch pojemnościowy
- sprzężenie pola z przewodem
- sprzężenie pola z pętlą

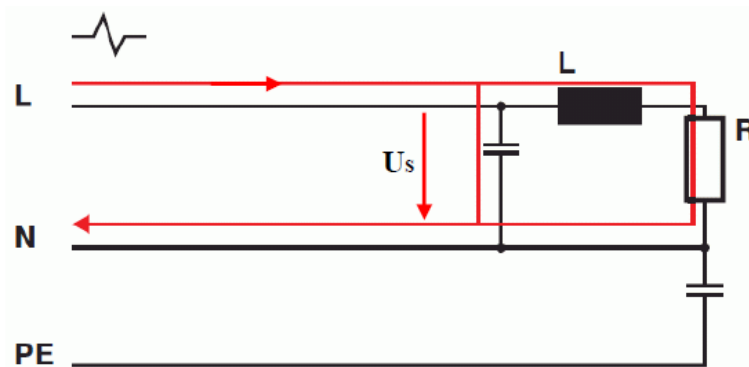
Przy małych częstotliwościach występuje sprzężenie przez wspólną impedancję. W zakresie wysokich częstotliwości mogą wystąpić wszystkie rodzaje sprzężeń.

Kluczowym parametrem zaburzeń elektromagnetycznych jest częstotliwość. W zakresie częstotliwości powyżej 30 MHz zaburzenia rozprzestrzeniają się głównie poprzez promieniowanie. Powstają wówczas pola elektromagnetyczne, które przenikają do obwodów elektrycznych urządzenia indukując w nim sygnały zakłócające. W zakresie częstotliwości mniejszych – poniżej 30 MHz – zaburzenia przedostają się do urządzeń elektronicznych głównie poprzez bezpośrednie sprzężenia. Mówimy wtedy, że zaburzenia przenoszone są drogą przewodową (zaburzenia przewodzone). Normy przyjmują, że zaburzenia przewodzone występują w zakresie częstotliwości pomiędzy 150 kHz a 30 MHz.

### 2.2.a. Zaburzenia przewodzone

W urządzeniach, w których połączenia funkcjonalne realizowane są dwoma przewodami, sygnały elektryczne (użyteczne lub pasożytnicze) mogą przenosić się dwoma sposobami, jako:

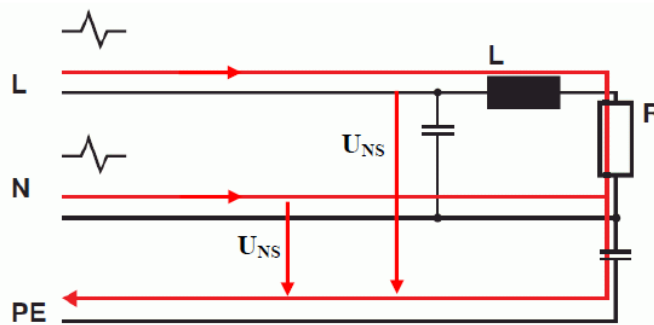
- sygnały symetryczne lub inaczej różnicowe (DM – ang. Differential Mode) – występują pomiędzy dwoma przewodami obwodu. W układach jednofazowych występują pomiędzy przewodem fazowym L i przewodem neutralnym N. W układach trójfazowych występują pomiędzy dwoma fazami, np.: L1 i L2. W układach stałoprądowych sygnały te przenoszą się od zacisku plusa do minusa.



Rys. 1. Zaburzenia symetryczne (różnicowe)

- sygnały asymetryczne lub inaczej wspólne (CM – ang. Common Mode) – występują pomiędzy jednym z przewodów fazowych a ziemią. Główną cechą tych sygnałów jest sposób rozchodzenia się w układzie elektronicznym: sygnał propaguje się we wszystkich liniach w tym samym kierunku i kieruje się do ziemi.





Rys. 2. Zaburzenia asymetryczne (wspólne)

Zaburzenia różnicowe wytwarzane w układach przekształtnikowych mogą mieć znaczne poziomy już przy bardzo niskich częstotliwościach (rzędu kilku kiloherców), gdzie ich występowanie spowodowane jest nieliniowością procesu przekształcania energii elektrycznej. W zakresie większych częstotliwości, zaburzenia te związane są z procesem przełączania kluczy półprzewodnikowych. Parametry obwodu zaburzeń symetrycznych w małym stopniu zależą od warunków panujących w miejscu instalacji, dlatego można je względnie łatwo eliminować za pomocą filtrów przeciwzakłóceńowych.

Zaburzenia asymetryczne rozchodzą się w układach przekształtnikowych w wyniku sprzężeń pojemnościowych, sprzężenia przez wspólną impedancję, sprzężenia pomiędzy płytką a obudową oraz pomiędzy elementami półprzewodnikowymi a radiatorem, do którego są przymocowane. Dlatego najbardziej znaczące składowe ich widma występują w zakresie wyższych częstotliwości. Ponieważ zaburzenia wspólne rozprzestrzeniają się w obwodzie, którego częścią jest uziemienie ochronne, może to powodować sprzęganie zaburzeń do innych urządzeń poprzez wspólną impedancję uziemienia. Przenikanie zaburzeń asymetrycznych może być także związane ze składową magnetyczną pola elektromagnetycznego, gdyż obwody zaburzeń wspólnych często tworzą pętle o dużych powierzchniach.

### 2.2.b. Poziomy zaburzeń elektromagnetycznych

Zjawiska elektromagnetyczne i ich skutki dla działania sprzętu elektronicznego spowodowały, że w wielu krajach producenci urządzeń są zobowiązani do przeprowadzania pomiarów zaburzeń elektromagnetycznych. Aby urządzenie zostało dopuszczone do powszechnego użytku musi spełniać odpowiednie wymagania, które są zawarte w normach. Wszystkie normy są ustalane na różnych poziomach: światowym, europejskim i krajowym. Normalizacją na poziomie światowym w dziedzinie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC – Electromagnetic Compatibility) zajmuje się Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (IEC - International Electrotechnical Commission). Normy europejskie są tworzone i publikowane przez organizację CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization), natomiast normami polskimi zajmuje się Polska Komisja Normalizacyjna (PKN). Poza tym ważną organizacją, która została utworzona dla zabezpieczenia emisji radiowych i telewizyjnych jest międzynarodowa organizacja CISPR (fr. Comité International Spécial de Perturbations Radio – Électriques), będąca pod nadzorem IEC.

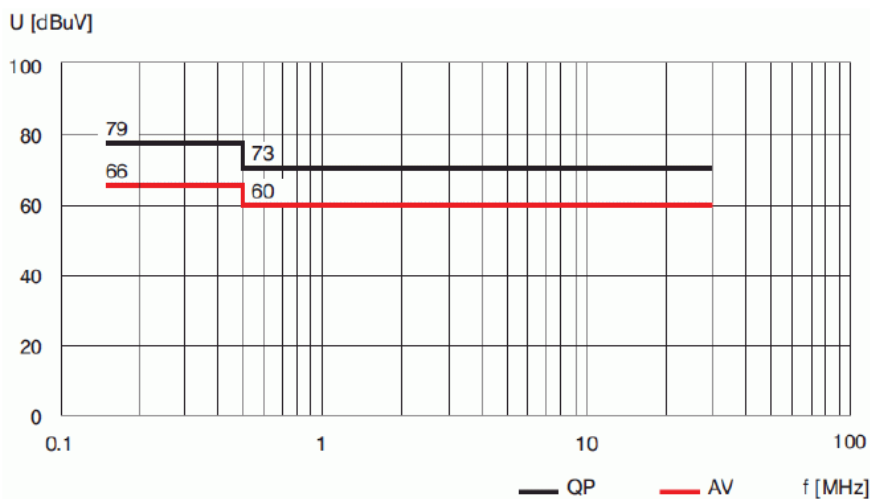
Poziomy zaburzeń należy mierzyć w ściśle określonych warunkach. W dokumentach normalizacyjnych podawane są dopuszczalne poziomy zaburzeń w formie wykresów lub tablic, wskazujących w jakich pasmach częstotliwości obowiązują jakie dopuszczalne poziomy. Różne normy wprowadziły dopuszczalne poziomy dla zaburzeń przewodzonych i emisji promieniowanej. Limity podawane są w dB $\mu$ V dla napięcia przewodzonego i w dB $\mu$ V/m dla pola promieniowanego.

Do najczęściej stosowanych norm dotyczących bezpieczeństwa i kompatybilności elektromagnetycznej należą:

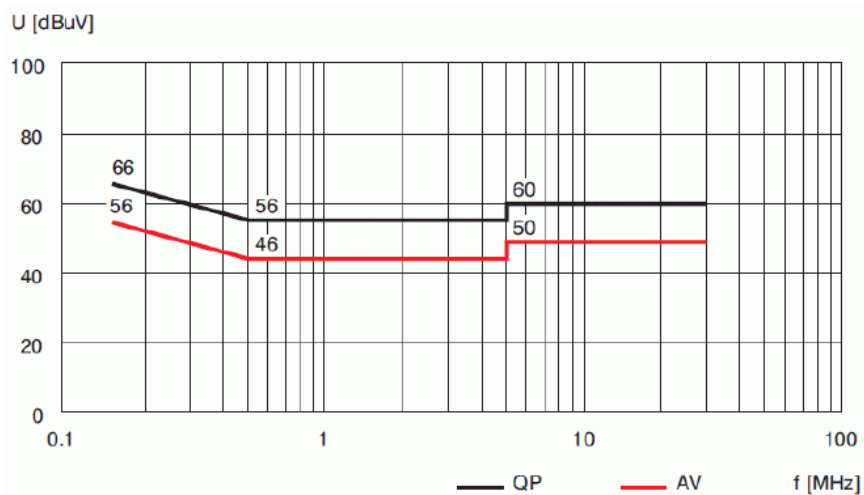
- bezpieczeństwo użytkownika: PN – EN 60950
- emisja zaburzeń elektromagnetycznych:
  - zaburzenia przewodzone i promieniowane: PN – EN 55011, PN – EN 55022
  - kształt prądu pobieranego z sieci energetycznej: PN – EN 61000 – 3 – 2
  - migotanie światła (flicker): PN – EN 61000 – 3 – 3
  - odporność na wyładowania elektrostatyczne (ESD): PN – EN 61000 – 4 – 2
  - odporność na wpływ zewnętrznego pola elektromagnetycznego: PN – EN 61000 – 4 – 8

Ćwiczenie dotyczy zagadnień związanych z emisją zaburzeń elektromagnetycznych przewodzonych w paśmie: 150 kHz – 30 MHz. Zazwyczaj dopuszczalne limity poziomów zaburzeń są definiowane oddzielnie dla dwóch grup urządzeń pracujących w:

- środowisku przemysłowym (klasa A) – urządzenia podłączone do wydzielonego transformatora
- środowisku domowym i lekko uprzemysłowionym (klasa B)



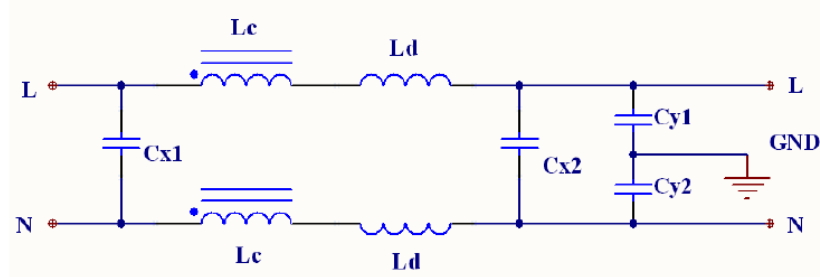
Rys. 3. Dopuszczalne poziomy zaburzeń przewodzonych dla klasy A (PN – EN 55011/22)



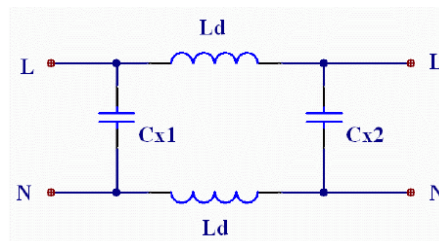
Rys. 4. Dopuszczalne poziomy zaburzeń przewodzonych dla klasy B (PN – EN 55011/22)

### 2.2.c. Tłumienie zaburzeń elektromagnetycznych

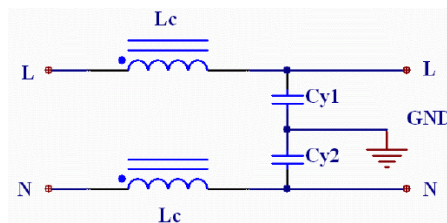
Podczas analizy problemu związanego z zapewnieniem kompatybilności elektromagnetycznej zwykle wyróżnia się zaburzenia, które rozprzestrzeniają się w obwodach prądów roboczych oraz takie, których obwody zamykają się poprzez instalację uziemienia ochronnego. Znając przyczyny występowania zaburzeń oraz wyniki pomiarów układu, można przystąpić do projektowania filtra. Wejściowy filtr EMI składa się z dwóch filtrów: filtra DM do tłumienia zaburzeń różnicowych, oraz filtra CM, który tłumia zaburzenia wspólne. Schemat elektryczny kompletnego filtra pokazano na rysunku 5. Natomiast rysunki 6 oraz 7 pokazują schematy elektryczne filtrów odpowiednio DM i CM.



Rys. 5. Schemat elektryczny filtra EMI

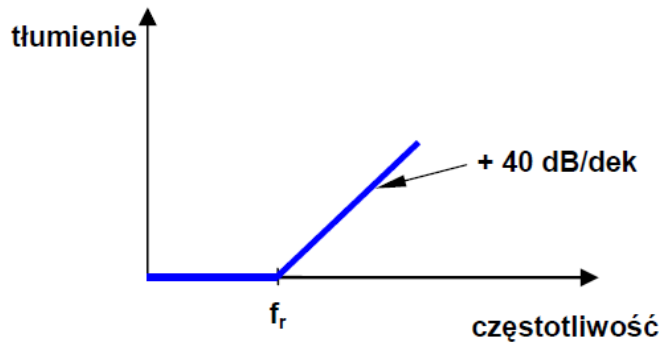


Rys. 6. Połączenie elementów filtra z rysunku 5 tworzących filtr DM



Rys. 7. Połączenie elementów filtra z rysunku 5 tworzących filtr CM

Aby zaprojektować filtr CM należy określić wymagane tłumienie oraz określić wymaganą częstotliwość rezonansową filtra. Filtr CM (rysunek 7) jako LC jest filtrem drugiego rzędu o charakterystyce tłumienia pokazanej na rysunku 8.

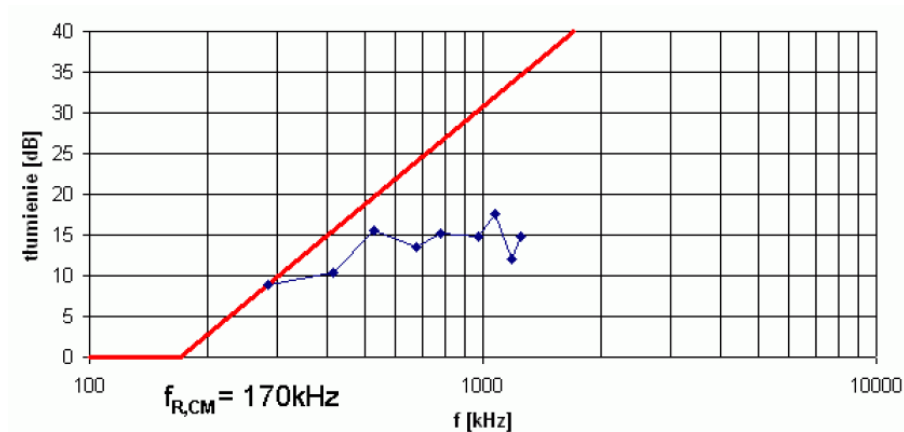


Rys. 8. Charakterystyka tłumienia filtru LC drugiego rzędu

Na podstawie wyników pomiaru zaburzeń można wyznaczyć charakterystykę przedstawiającą wymagane tłumienie filtru pokazaną na rysunku 9. Kolejne punkty charakterystyki przedstawiającej wymagane tłumienie filtru można określić według wzoru:

$$U_{wymagane} = U_{zmierzone} - U_{norm} \quad (1)$$

gdzie:  $U_{zmierzone}$  to lokalne maksima zaburzeń, natomiast  $U_{norm}$  to poziom normy EMC.



Rys. 9. Wymagane tłumienie (linia niebieska) oraz charakterystyki tłumienia filtru (linia czerwona)

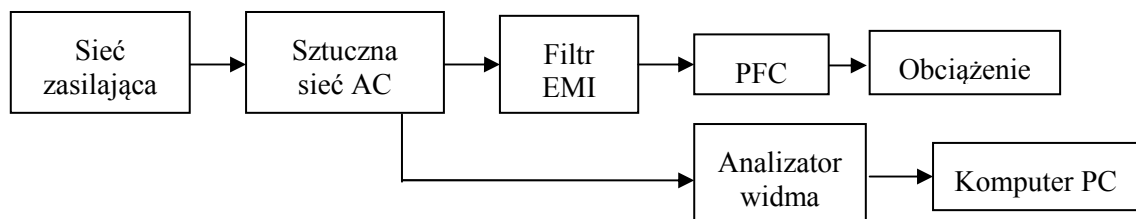
Częstotliwość rezonansową wybieramy maksymalnie taką, że wszystkie punkty wyznaczone wg wzoru (1) znajdują się pod charakterystyką tłumienia (rysunek 9). W ten sposób możliwe jest określenie ile powinna wynosić częstotliwość rezonansowa filtru CM ( $f_{R,CM}$ ). Znając częstotliwość rezonansową  $f_{R,CM}$  można wyznaczyć wartości elementów filtru.

Aby zminimalizować zaburzenia różnicowe należy zaprojektować odpowiedni filtr, którego częstotliwość rezonansowa będzie kilkukrotnie mniejsza od częstotliwości przełączania klucza półprzewodnikowego ( $f_s$ ).

### 3. Pomiary

#### 3.1. Układ pomiarowy

Układ pomiarowy, którego schemat jest pokazany poniżej, składa się z sztucznej sieci AC Hameg HM6050-2, analizatora widma Hameg HM 5014-2, komputera PC, filtru EMI CM-DM, układu PFC i obciążenia w postaci dwóch szeregowo połączonych żarówek 60W, 230V.



Rys. 10. Schemat układu pomiarowego

Układ PFC jest oparty na rozwiązaniu opisanym w ćwiczeniu 2p (układ L6561). Ze względu na długość trwania pomiaru w paśmie 30 MHz ograniczona została wartość kroku z 9 kHz do 120 kHz lub pasmo jest ograniczone do 3 MHz przy kroku 9 kHz. Należy zaznaczyć, że pomiary przy kroku 120 kHz nie

### 3.2. Wykonanie pomiarów

1. Połączyć układ pomiarowy z pominięciem filtra EMI (układ PFC podłączony bezpośrednio do wyjścia sztucznej sieci). Sztuczną sieć i analizator podłączyć do przedłużacza bez uziemienia (bolca ochronnego). Podłączyć zewnętrzne uziemienie sieci (przewód biegnący do kaloryfera). Nie włączać zasilania. Poprosić prowadzącego o sprawdzenie połączeń.
2. Uruchomić program do zbierania danych z analizatora widma (AS100E).
3. Zestawić połączenie komputera z analizatorem (Settings, Configuration, COM4, 115kbaud)
4. Wybrać tryb EMC. W zakładce ustawień (Settings-EMC) wybrać:
  - a) *50081-1 Conducted 150 kHz – 30 MHz*
  - b) Workplace configuration: *Two-Line-V-Network HAMEG 9kHz – 30MHz*
  - c) Limit: *Peak/Quasipeak Active, EN50081-1 QP*
  - d) Step settings: *1 sec, 9 kHz*
  - e) Signal-Window: *Average, QPeak*
  - f) Start frequency: *0,15 MHz*
  - g) Stop frequency: **3 MHz**
  - h) Detector: *Quasipeak, Average*
  - i) Bandwidth: *9kHz*
  - j) Attenuator: *30 dB*
  - k) Mode: *Sweep+Step, -15 dB, 10 sec*
  - l) Polarisation: *Horizontal/L*
5. Rozpocząć pomiar zaburzeń. Po zakończeniu pomiaru zapisać otrzymane widmo i wydrukować do pliku .xps.
6. Powtórzyć pomiar po zmianie częstotliwości granicznej (Stop frequency) na 30 MHz i kroku na 120 kHz. Zapisać i wydrukować widmo do pliku.
7. Odłączyć zasilanie układu PFC (**wyjąć obydwa przewody z gniazda sztucznej sieci nie dotykając ich za metalowe końcówki - grozi to porażeniem!**).
8. Przełączyć przełącznik suwakowy w przeciwną pozycję (deaktywacja funkcji PFC).
9. Włączyć zasilanie układu PFC.
10. Powtórzyć punkty 4 ÷ 7.
11. Odłączyć zasilanie układu PFC.
12. Podłączyć filtr EMC na wejściu układu PFC. Nie włączać zasilania. Poprosić prowadzącego o sprawdzenie połączeń.
13. Włączyć zasilanie układu PFC.
14. Powtórzyć punkty 4 ÷ 7.
15. Odłączyć zasilanie układu PFC.
16. Przełączyć przełącznik suwakowy w przeciwną pozycję (aktywacja funkcji PFC).
17. Włączyć zasilanie układu PFC.
18. Powtórzyć punkty 4 ÷ 7.
19. Wyłączyć zasilanie.
20. Rozłączyć układ.

### 4. Opracowanie i analiza wyników

---

1. Na podstawie zarejestrowanego widma w paśmie do 3 MHz dla układu PFC określić dominujące harmoniczne i sformułować wnioski powołując się na informacje o zasadzie działania badanego układu.
2. Porównać widma dla włączonej i wyłączanej funkcji PFC. Sformułować wniosek dotyczący wpływu układu na sieć w obu przypadkach.
3. Na podstawie zarejestrowanych widm określić skuteczność eliminacji zaburzeń przez zastosowany filtr. Przy ocenie odwołać się do stosownej normy.





### 5. Literatura

---

- [1] Krzywoszonek A., *Wejściowe filtry EMI i ich wpływ na stabilność przekształtników elektronicznych*, praca dyplomowa, Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych, Politechnika Łódzka, Łódź 2009.