

---

## Power Cleaner - przeciwzakłóceńowy filtr sieciowy



### 1. Wstęp

Zagadnienia związane z jakością zasilania elektroniki audio były do tej pory nieco pomijane na łamach serwisu i forum diyaudio.pl . Przyczynę tego stanu można opisać na zasadniczo na dwóch płaszczyznach. Pierwszą z nich jest fakt absolutnej negacji zjawisk związanych z zasilaniem układów audio. Zjawisk uznawanych przez wielu użytkowników naszego i nie tylko naszego forum jako zupełnie nieistotne i niewarte zachodu, tym bardziej wydanych pieniędzy. W artykule tym nie mam zamiaru rozsądzać czy mają oni rację czy nie ani nikogo na siłę przekonywać. Powiem tylko, że patrzyenie na temat wyłącznie przez pryzmat audiofilijskich, absurdalnie drogich kabli sieciowych, jest oczywistą pomyłką.

Drugą płaszczyzną jest trudność tematu. Zjawiska związane zakłóceniami i ich filtracją są trudne w zrozumieniu, nie mówiąc o praktycznym wykorzystaniu tej wiedzy. Dostępność informacji o tej tematyce nadal nie jest szeroka, a jeżeli już coś znajdziemy to się okazuje, że nie są to materiały dla przeciętnego audio-majsterkowicza. Z praktycznym wykorzystaniem wiedzy z tej dziedziny jest chyba najgorzej. Prawda jest taka, że aby skutecznie działać w tej materii potrzebne jest duże doświadczenie, którego niestety nie da się zdobyć przez internet. Tu otwiera się szansa dla studentów kierunków elektrycznych, gdyż uczelnie zaczynają wprowadzać od paru lat do programu studiów zajęcia związane z tematyką EMC (ElektroMagnetic Compatibility – kompatybilność elektromagnetyczna), są też niezłe wyposażone laboratoria oraz pracownicy uczelni którzy chętnie

dzielą się swoją wiedzą. Nic tylko skorzystać. Całkiem niedawno ja miałem okazję dostępu do uczelnianej wiedzy i laboratorium a owocem tego jest sieciowy filtr przeciwzakłóceniaowy do zastosowań audio, którego zdjęcie w postaci gotowej listwy zasilającej widać na początku artykułu.

W założeniach filtr ten ma za zadanie skutecznie tłumić przewodzone zakłócenia różnicowe oraz wspólne w możliwie najszerszym zakresie częstotliwości z możliwie wysoką tłumiennością i wyrównanym jej pasmem (zagadnienia te zostaną omówione w dalszej części artykułu). Zwykle producenci filtrów, które możemy bez problemu nabyć w sklepach elektronicznych za kwotę kilkunastu złotych, deklarują bardzo duże wartości skuteczności tłumienia swojego filtru. Jednak po bliższym przyjrzeniu okazuje się, że uzyskiwane wyniki są dla wąskiego pasma częstotliwości. Natomiast w pozostałym paśmie filtr nie ma już tak doskonałych parametrów. Niniejszy projekt miał na celu nie tylko uzyskanie dobrej tłumienności, ale również utrzymanie jej w szerokim zakresie częstotliwości.

Nim przejdę do opisu jak to jest zrobione, chciałbym przedstawić trochę podstaw i zagadnień teoretycznych, gdyż wydaje mi się, że jest to równie ciekawe. Nie jest to wiedza wyczerpująca temat nawet w 10%, mogą się pojawić w niej pewne luki, nieścisłości lub uproszczenia za które z góry przeproszam ale samemu nie jestem i zapewne nie będę wystarczająco biegły w tej dziedzinie. Jednak chyba lepsze to niż nic, jak miało to miejsce do tej pory. Chciałbym podzielić się z innymi tym co się dowiedziałem i tym co udało mi się uzyskać w formie praktycznej. Zapraszam do lektury.

## **2. Rodzaje zakłóceń, ich wpływ i sposób przenikania do układu elektronicznego**

Nim przejdziemy do samej konstrukcji filtru i wyników badań warto poruszyć nieco zagadnień teoretycznych i zjawisk związanych z zakłóceniami. Nakreślenie podstaw zawsze się przydaje w zrozumieniu konstrukcji i działania układu.

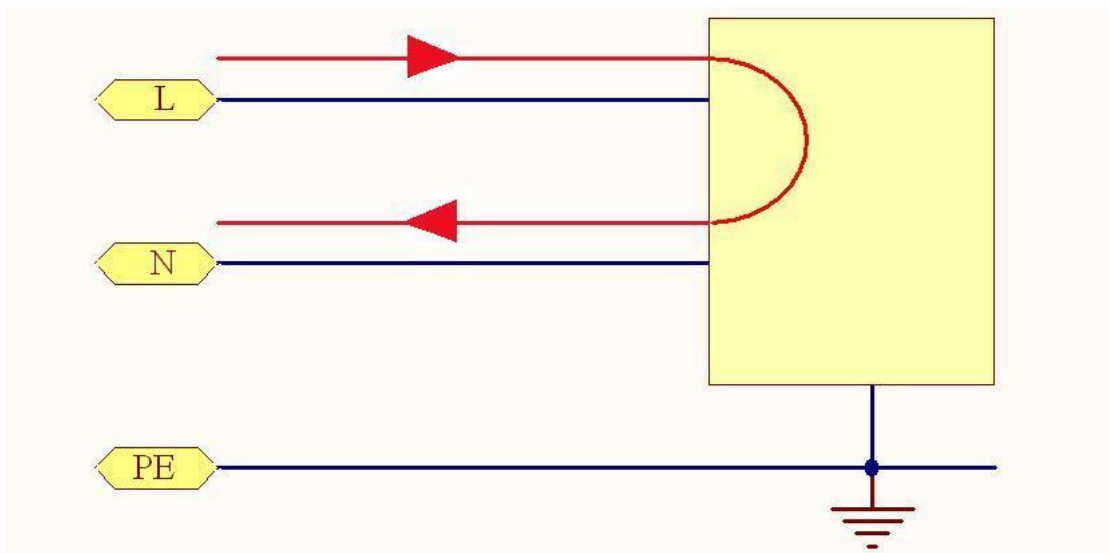
Definicyjnie zakłócenia zostały podzielone na dwa rodzaje: promieniowanie i przewodzone. Umownie dzieli się je na częstotliwości 30MHz, do tej częstotliwości mamy zakłócenia przewodzone, powyżej promieniowane. Jak wspomniałem, jest to podział umowny i wcale nie znaczy, że sygnał o częstotliwości powyżej 30MHz nie może być sygnałem przewodzonym. Podział wynika ze sposobu obserwacji i wpływu zakłóceń na otoczenie. Od pewnej częstotliwości zakłócenia przewodzone mają na tyle krótką długość fali, że należy również rozpatrywać je jako zakłócenia promieniowane.

Zakłócenia promieniowane jak nazwa sugeruje są przenoszone w postaci fali radiowej - elektromagnetycznej - ale także w postaci pól sprzężeń elektrycznych lub magnetycznych. Wszystko zależy od częstotliwości i odległości obiektu zakłócającego od zakłócanego.

Jednym z przykładów tego typu zjawisk może być prosty test telefonem komórkowym. Wystarczy wybrać jakiś numer i zbliżyć telefon do sprzętu audio, efekt jest natychmiastowy w postaci dobrze znanego dźwięku. Jest to tak powszechne, że nawet nie zwracamy uwagi na to zjawisko. Jednak pokazuje ono jak silny wpływ na działanie sprzętu może mieć zwykły telefon i zjawisko zakłóceń promieniowanych.

Drugim rodzajem są zakłócenia przewodzone, które bardziej nas interesują gdyż filtr ma za zadanie przeciwdziałać właśnie tego rodzaju zagrożeniom. Zakłócenia przewodzone dzielimy na dwa rodzaje pod względem sposobu ich przenoszenia: różnicowe i wspólne.

Zakłócenia różnicowe występują pomiędzy przewodem fazowym a neutralnym. Można je sobie wyobrazić w postaci jakiegoś dodatkowego napięcia do istniejącego napięcia sieci. Droga takiego zakłócenia przebiega przez przewód fazowy, poprzez podłączone urządzenie i powraca przewodem neutralnym, przedstawia to rysunek 1. Do przewodów L,N i PE mamy podłączony jakiś odbiornik energii elektrycznej. Czerwoną linią pokazana jest droga przepływu zakłóceń różnicowych.

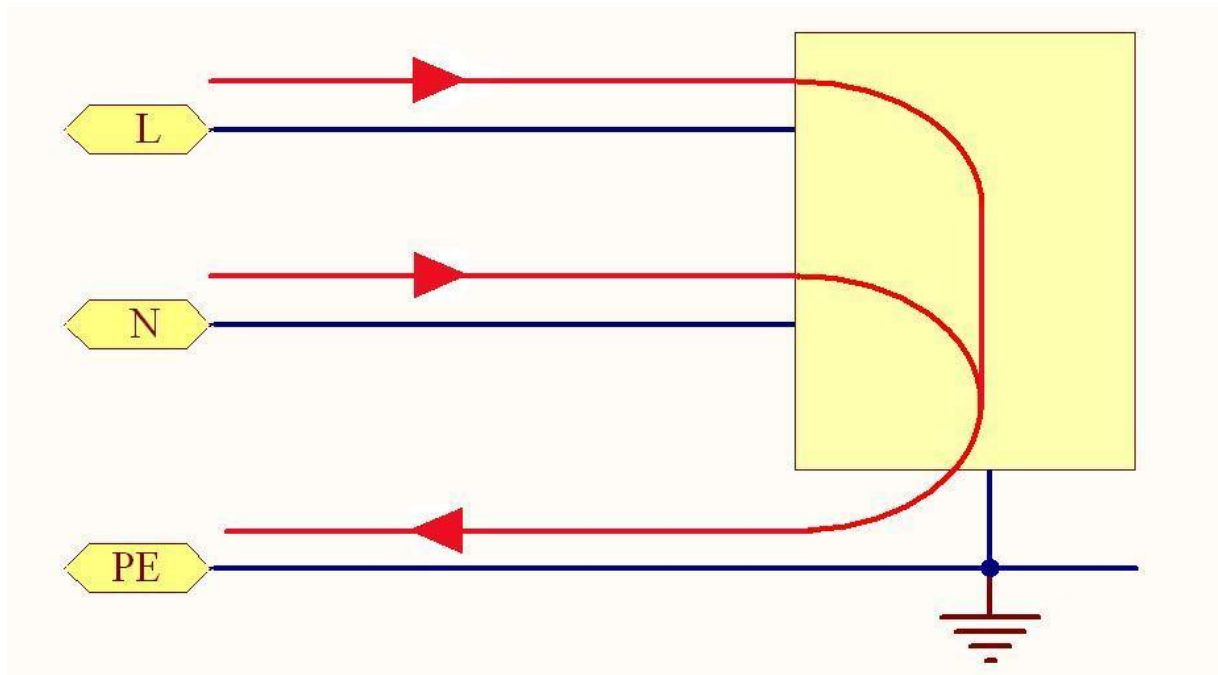


*rys1. Droga przepływu zakłóceń różnicowych*

Większość stosowanych przez elektroników środków zaradczych poprawiających jakość zasilania opiera się właśnie na redukowaniu zakłóceń różnicowych. Zwykle w tym przypadku stosowane są wszelkiego rodzaju kondensatory w obwodach zasilania np. na uzwojeniach wtórnych transformatorów, za mostkiem prostowniczym, kondensatory przy układach scalonych, szeregowo dławiki itp.

W przeciwieństwie do różnicowych, zakłócenia wspólne występują na obu liniach zasilających jednocześnie, czyli w przypadku domowej instalacji na przewodzie fazowym i neutralnym. Zakłócenia te zamykają się poprzez urządzenie do przewodu uziemiającego lub/i przez pojemność sprzęgającą do uziemienia, które stanowi otoczenie np. podłoga. Droga przepływu prądu dla zakłóceń wspólnych zwykle odbywa się przez układ elektroniczny poprzez pojemności pasożytnicze do ekranu/obudowy, które podłączone są do przewodu uziemiającego (patrz rysunek poniżej).

Jak intuicyjnie widać, typowe środki zaradcze wpięte pomiędzy fazę L a N czy pomiędzy bieguny zasilania przestają działać w przypadku, gdy sygnał zakłócający jest na obu liniach jednocześnie. Wówczas baterie kondensatorów na nic się zdają gdyż dla sygnału zakłócającego ten kondensator zwyczajnie nie stanowi żadnej przeszkody.



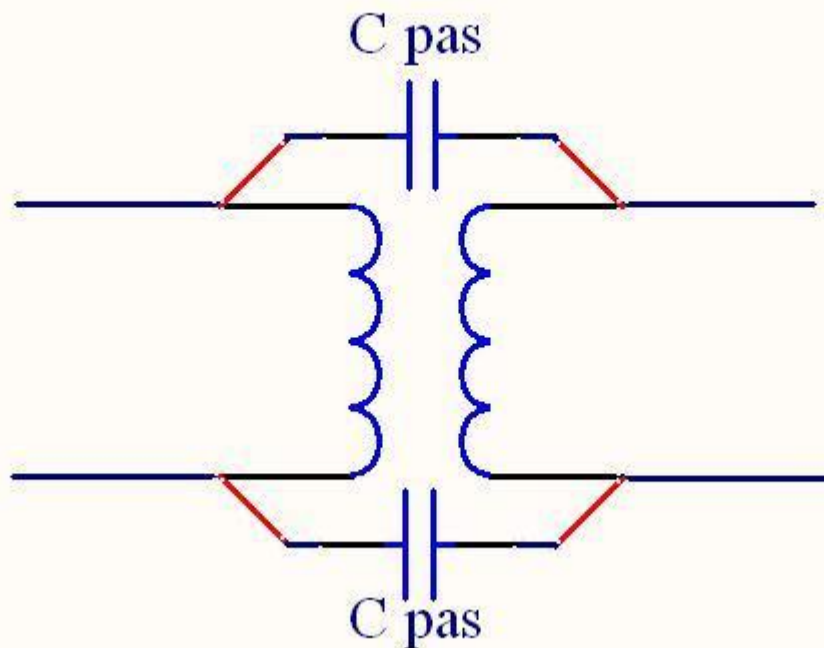
*rys 2. Droga przepływu zakłóceń wspólnych*

Kolejnym aspektem, jaki chciałbym poruszyć jest dość powszechna opinia wśród ludzi zajmujących się dziedziną audio, że nie ma sensu walczyć ze zjawiskami występującymi poza pasmem akustycznym. Argumentacja jest dość prosta, przecież ucho ludzkie odbiera sygnały na zakresie 20-20kHz, głośniki wysokiej klasy sięgają do góra 30kHz a sam sprzęt wzmacniacz nie sięga wyżej pasmem jak 150kHz nie wspominając o formacie zapisu sygnału na płycie CD, który zwyczajnie kończy się na 22kHz. Po co w takim razie zajmować się zjawiskami wykraczającymi daleko poza zakres pasma słyszalnego? Odpowiedź jest bardzo prosta. Nie tylko zakłócenia wysokiej częstotliwości są szkodliwe jako sygnały, co bardzo szkodliwa jest modulacja tych sygnałów. Sygnał wysokiej częstotliwości bardzo łatwo wnika w układ elektroniczny i niesie ze sobą wysoką energię, natomiast całe spustoszenie może się odbyć przez modulację tej energii.

Wspomniany przykład z telefonem ewidentnie obrazuje zjawisko wnikania mocnego sygnału zakłócającego wysokiej częstotliwości (900/1800MHz), którego modulację słyszymy w głośnikach.

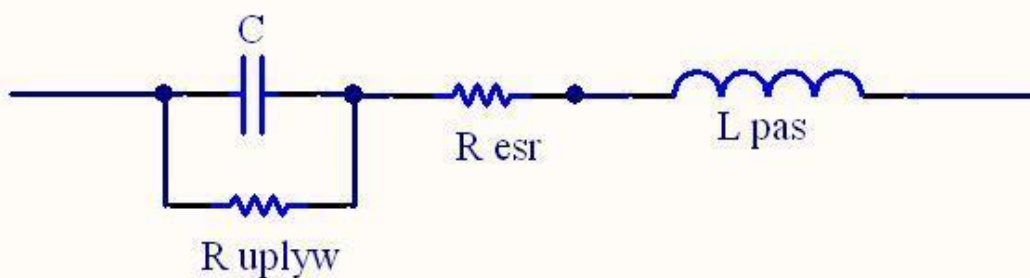
W podobny sposób sygnały przenoszone są nie tylko radiową, ale i kablową, czyli wspomniane zakłócenia przewodzone. Źródeł zakłóceń wraz z rozwojem elektroniki mamy co raz więcej, poczynając od komputerów, poprzez sprzęt domowego użytku na mocno lansowanych żarówkach energooszczędnych kończąc. Wszystkie te urządzenia posiadają układy energoelektroniczne, które mocno „sieją” w sieć składowymi o wysokiej częstotliwości. Do tego dochodzą przepięcia wywołane iskrzeniami na łączeniach np. włączników czy do niedawna mityczne wręcz problemy ze słyszalnymi efektami załączenia lodówki.

Takie śmieci o wysokiej częstotliwości z łatwością wnikają w układ audio. Elementy po drodze jak transformatory czy kondensatory w zasilaczu nie stanowią dla nich większej przeszkody. Można zadać sobie pytanie, dlaczego tak się dzieje? W końcu transformator to ogromna indukcyjność uzwojeń pierwotnego i wtórnego, więc powinien doskonale tłumić zakres wysokich częstotliwości. W niewielkim stopniu jest to prawda dopóki nie weźmiemy pod uwagę faktu istnienia pojemności pasozytniczej pomiędzy uzwojeniami pierwotnym a wtórnym. Co gorsza największą pojemność pasozytniczą wynikającą z budowy mają transformatory toroidalne, czyli najczęściej stosowane w aplikacjach audio! Pojemność taka może sięgać 1nF. Przy częstotliwościach rzędu MHz taki transformator nie stanowi żadnej przeszkody dla sygnału.



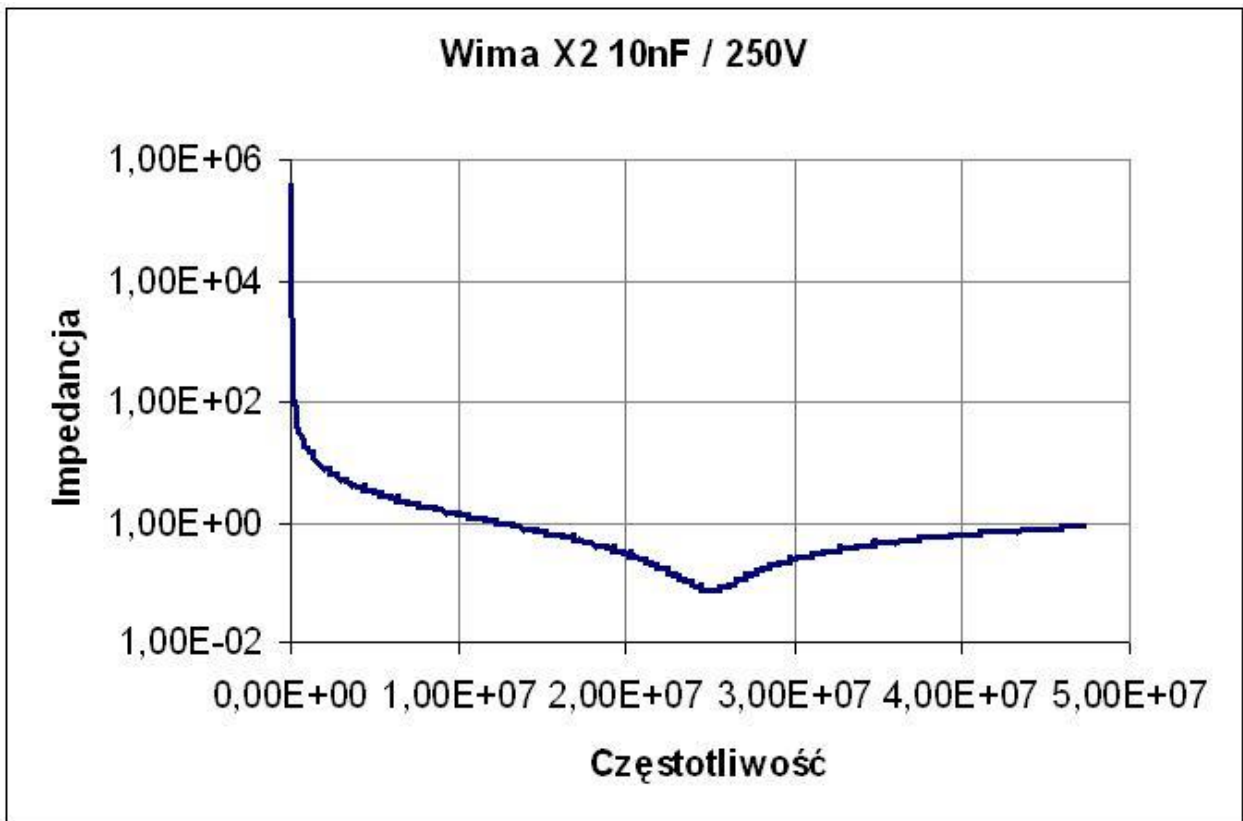
*rys 3. Schemat zastępczy transformatora w dziedzinie wysokiej częstotliwości*

Pozostałe elementy pasywne jak cewki i kondensatory stosowane w celu eliminacji niepożądanych sygnałów w dziedzinie wysokiej częstotliwości również zmieniają swój charakter. Kondensator z prostego układu przekształca się w obwód rezonansowy złożony z pojemności indukcyjności oraz rezystancji (ESR oraz upływność).



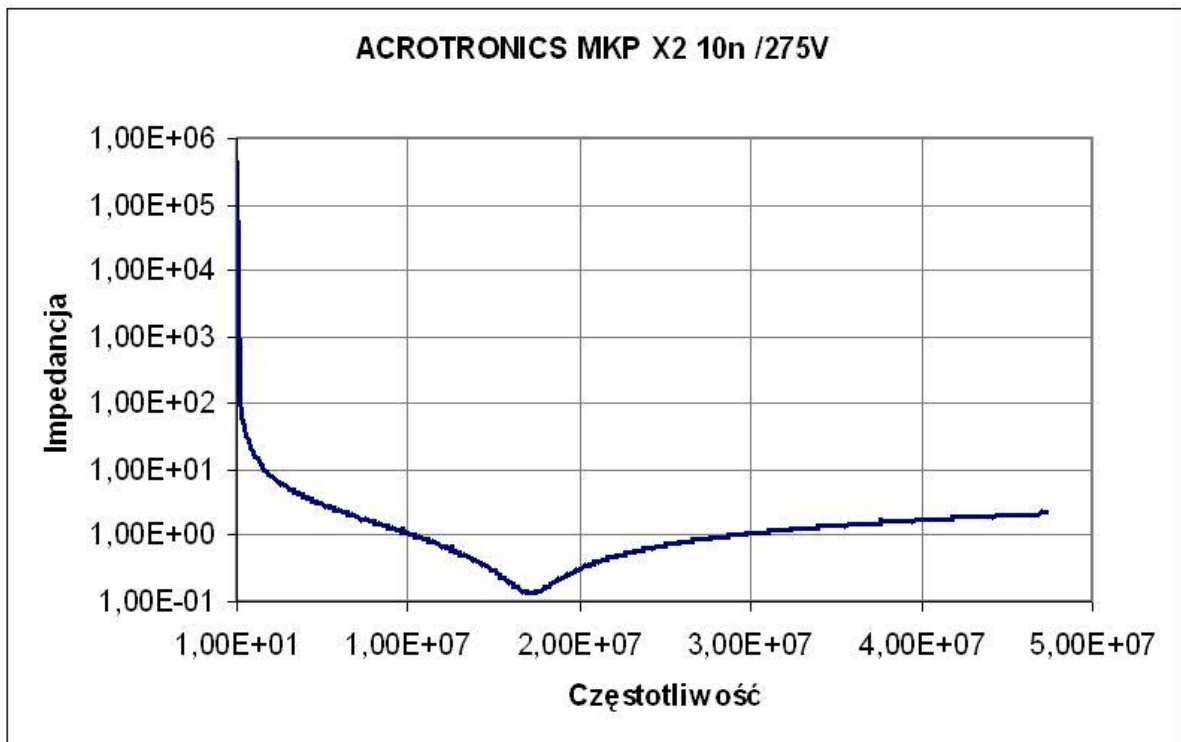
*rys 4. Schemat zastępczy kondensatora w dziedzinie wysokiej częstotliwości*

W takim układzie kondensator posiada rezonans własny na pewnej częstotliwości zależnej od budowy i pojemności kondensatora. W punkcie rezonansu posiada on impedancję równą rezystancji ESR. Powyżej tego punktu, wraz z rosnącą częstotliwością kondensator zmienia charakter na indukcyjny, czyli dominującą rolę odgrywa pasożytnicza indukcyjność okładek i doprowadzeń kondensatora. Kondensator przestaje być kondensatorem. Zjawisko to doskonale widać na pomiarze przeprowadzonym na analizatorze impedancji:



*rys 5. Pomiar modułu impedancji kondensatora WIMA 10nF*

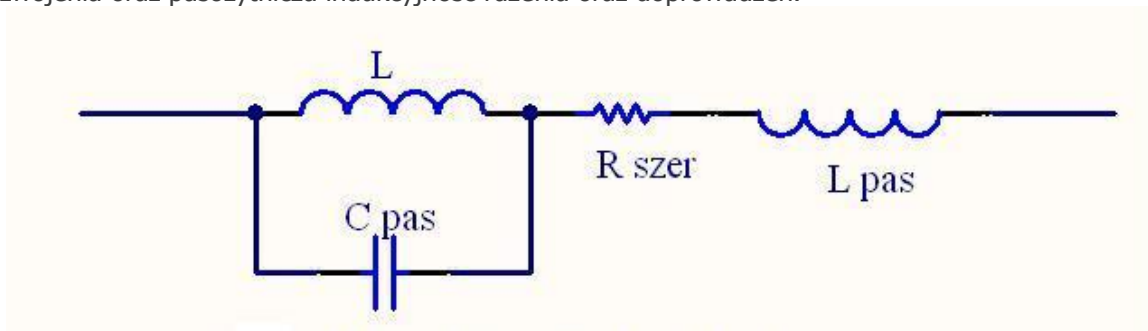
Powyższy pomiar został przeprowadzony dla kondensatora WIMA MKP X2 10n /275V. Widać, że częstotliwość rezonansowa wypadła na ok. 25MHz, wartość ESR w tym punkcie to nieco poniżej 0,1 Ohma, powyżej 25MHz kondensator zmienia swój charakter na indukcyjny. Dla porównania można zaprezentować pomiar kondensatora firmy ACROTRONICS MKP X2 10n /275V, czyli o parametrach znamionowych identyczny jak wcześniej pokazana WIMA



rys 6. Pomiar modułu impedancji kondensatora AROTRONICS 10nF

Jak widać kondensator kondensatorowi nie równy. Łączy je tylko znamionowa pojemność, jednak rezonans tego kondensatora jest już umieszczony dużo wcześniej, bo na 17,5MHz a ESR jest nieco powyżej 0,1 ohma.

Podobnie rzecz się ma z elementami indukcyjnymi. Rozpatrując je w wyższych częstotliwościach uzyskujemy ponownie układ rezonansowy składający się nie tylko ze znamionowej indukcyjności, ale również pojemności pasozytniczej pomiędzy zwojami cewki. Dodatkowo dochodzi rezystancja uzwojenia oraz pasozytnicza indukcyjność rdzenia oraz doprowadzeń.



rys 7. Schemat zastępczy dławika w dziedzinie wysokiej częstotliwości

Przykładowy przebieg impedancji dławika na rdzeniu ferrytowym z dużą ilością zwoi, rys 8.



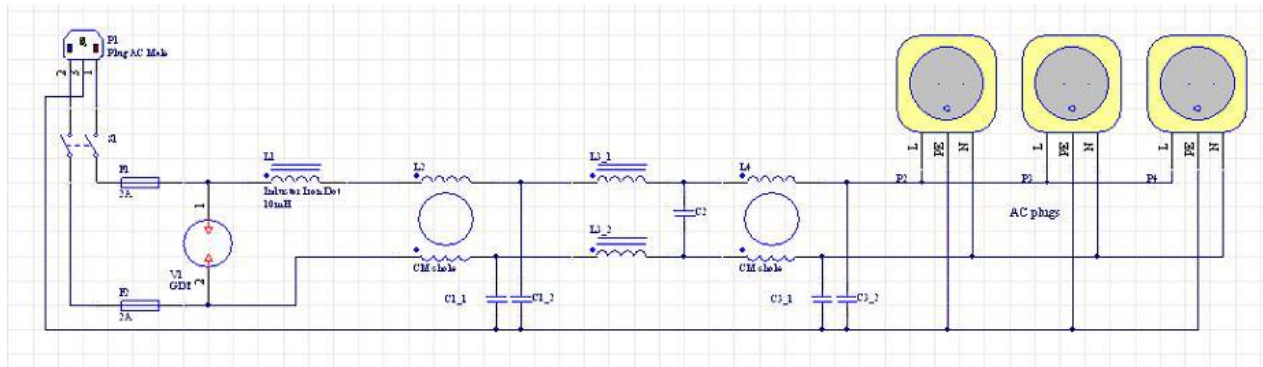
rys 8. Pomiar modułu impedancji dławika na rdzeniu ferrytowym

Z pomiaru można odczytać, że dławik spełnia swoje zadanie do częstotliwości 7MHz, następnie moduł impedancji załamuje się i dławik ma charakter pojemnościowy. Przy częstotliwości 38MHz widać kolejny rezonans i moduł impedancji rośnie aż do kolejnego załamania.

Na powyższych przykładach widać, że typowe obwodowe podejście do układów czy samych elementów jest w dziedzinie wysokich częstotliwości zupełnie nietrafione. Może się okazać, że zastosowany kondensator nie pracuje już jako kondensator, lecz stanowi pewną indukcyjność, natomiast dławik może od pewnej częstotliwości zachowywać się jak kondensator. Zjawiska te mają niebagatelny wpływ na filtrację zakłóceń i dodatkowo utrudniają konstruowanie filtru. Wymusza to stosowanie kilku stopni filtracji, aby uzyskać poprawny filtr, na szeroki zakres częstotliwości. Stopień, który dobrze będzie odfiltrowywał składowe niskich częstotliwości, będzie słabo się spisywać przy wysokich częstotliwościach gdyż pojemności pasożytnicze dławików z dużą ilością zwoi nie pozwolą na skuteczną filtrację. Natomiast dławik o niewielkiej liczbie szeroko nawiniętych zwoi będzie w zakresie wysokich częstotliwości o wiele bardziej skuteczny, niestety zupełnie nie spisie się na częstotliwościach niskich gdyż jego impedancja w tym zakresie będzie zbyt niska. Można, zatem wysunąć wniosek, że projektowanie filtru metodą obwodową jest zdane na porażkę i jest to prawda. Projektowanie skutecznego filtru przeciwzakłóceniewego należy oprzeć o doświadczenie i umiejętny dobór elementów, ich wartości i rodzaju. Przejdźmy zatem do właściwej części projektu, czyli konstrukcji samego filtru.

### 3. Budowa filtru

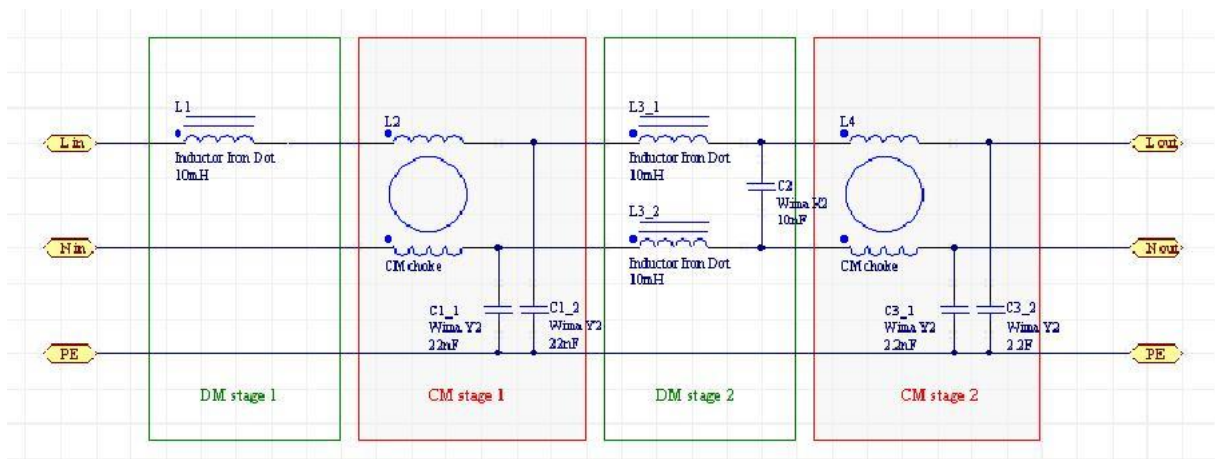
Schemat ideowy listwy zasilającej przedstawiony jest na rysunku 9



rys 9. Schemat listwy zasilającej

Patrząc od strony wejścia układ składa się z gniazda sieciowego IEC, dwóch bezpieczników topikowych w przewodzie fazowym oraz neutralnym, ochronnika przepięciowego, zestawu filtrów oraz na wyjściu z gniazd sieciowych. Najważniejsza część, filtrująca, przedstawiona jest osobno na rysunku 10 na którym naniesiono dodatkowo podział filtru na 4 zasadnicze stopnie.

Na zielono zaznaczone zostały części filtru odpowiedzialne za filtrację zakłóceń różnicowych. Na czerwono części filtrujące zakłócenia wspólne. Cechą charakterystyczną filtru jest jego wejście, składające się z cewki filtru DM 1 stopnia (DM – differential mode - różnicowe, CM – common mode - wspólne).



rys 10. Schemat ideowy filtru z podziałem na stopnie filtracji

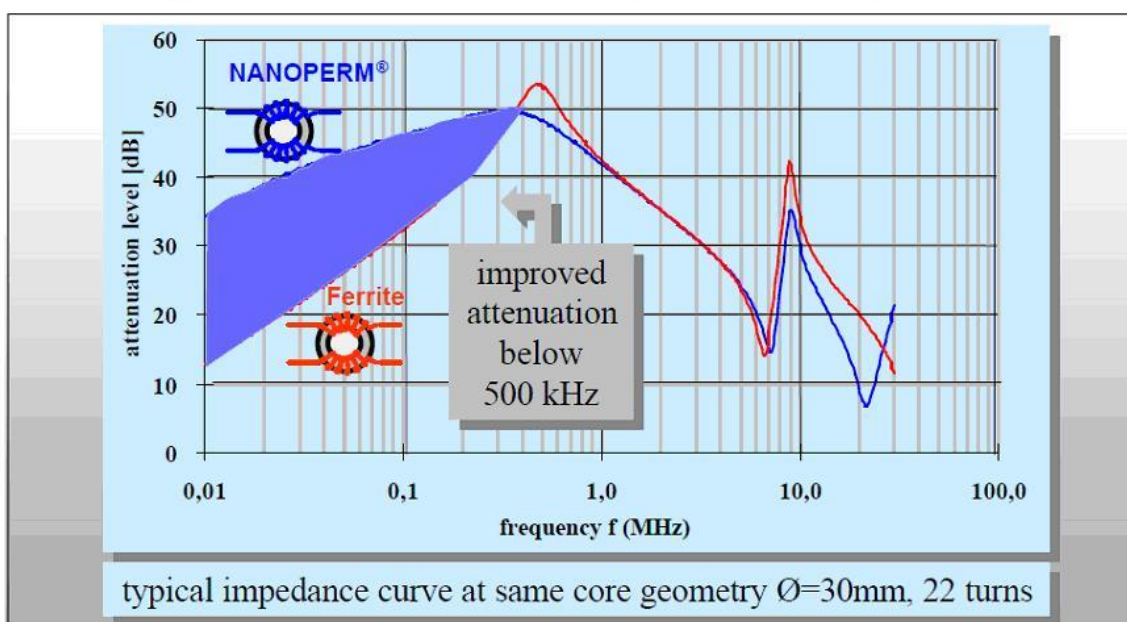
W większości gotowych rozwiązań na wejściu znajduje się kondensator przeciwzakłóceńowy o wartości zwykle ok. 100nF. Rozwiązanie takie oczywiście znacząco poprawia w badaniach skuteczność filtracji, jednak w praktyce kondensator na wejściu może okazać się „anteną” zbierającą wszystkie zakłócenia z okolicy. Niska impedancja kondensatora na wysokich częstotliwościach, coś, dzięki czemu filtr staje się skuteczny (wg pomiarów), jest jego wadą. Niska impedancja skutecznie ściąga na siebie prąd zakłóceń, bo ten zwykle płynie tam gdzie jest mu najłatwiej, czyli drogą najniższej impedancji. Tak więc, zamiast pomóc, w praktyce taki kondensator może zaszkodzić. Dlatego zdecydowałem się na rozwiązanie wejścia filtru w postaci dużej indukcyjności.

Kolejnym stopniem filtru jest 1 stopień filtru zakłóceń wspólnych. Składający się z dławika L2 oraz kondensatorów C1\_1, C1\_2. Następny stopień filtru zakłóceń wspólnych został zrealizowany w analogiczny sposób, różnica polega na zastosowaniu innego typu dławika oraz innych wartości kondensatorów. Dwa stopnie CM (wspólne) rozdzielone są drugim stopniem filtru zakłóceń różnicowych. Ten składa się z dwóch osobnych identycznych dławików L3\_1, L3\_2 oraz kondensatora C2. Drugi stopień zapewnia poprawę skuteczności filtracji na wyższych częstotliwościach oraz dzięki umieszczeniu go pomiędzy 1 a 2 stopniem filtrów CM, poprawia wyraźnie stabilność filtru, co miało wyraźne przełożenie na skuteczność filtracji zakłóceń CM w granicach 50-100kHz.

Poza samym schematem ideowym, bardzo istotne są zastosowane komponenty oraz sposób ich wykonania. Cewki, za wyjątkiem jednej, wykonano na rdzeniach z nanokrystalicznego materiału o nazwie NANOPERM. Dlaczego właśnie na takich rdzeniach?

Nanoperm to materiał odkryty całkiem niedawno, bo na początku lat '90 tych ubiegłego stulecia. Materiał ten powstaje w procesie gwałtownego schładzania tworząc drobną sieć nanokrystaliczną. Formowany jest on w postać cienkiej taśmy, z której następnie zwijane są rdzenie. Cechami charakterystycznymi tego materiału jest gęstość strumienia nasycenia na poziomie 1.2T (ponad 3x więcej niż ferryty) oraz niespotykana przenikalność magnetyczna sięgająca wartości nawet  $\mu=200\,000$ . Dzięki temu za pomocą kilku – kilkunastu zwojów na rdzeniu nanopermowym uzyskujemy to, co na ferrycie wymagało nawinięcia dziesiątków jak nie setek zwoi. Dzięki właściwościom rdzenia nanopermowego cewki na nim nawinięte posiadają wysokie indukcyjności przy małej pojemności (mało zwoi = mała pojemność), brak rezonansów charakterystycznych dla cewek na rdzeniach ferrytowych, dość płaską charakterystykę w funkcji częstotliwości, o wiele większą indukcyjność na małych częstotliwościach. Poniższy rysunek zaczerpnięty z materiałów producenta rdzeni obrazują korzyści płynące z zastosowania nanopermów:

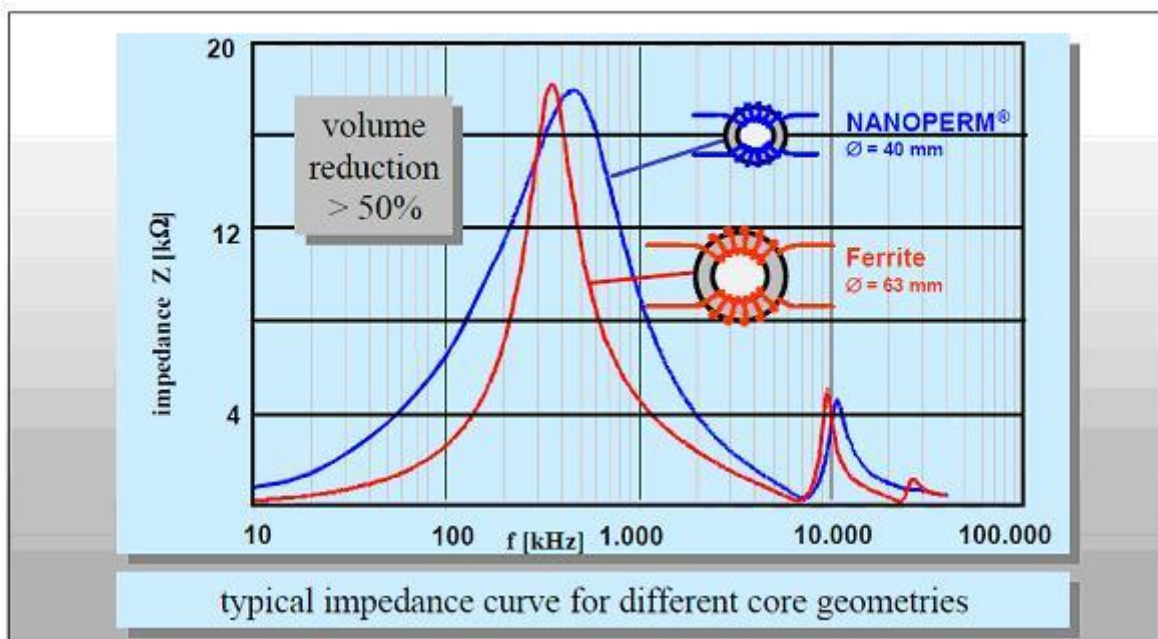
### comparison of materials: NANOPERM® vs. Ferrite



rys 11. Porównanie tłumienności dławików na rdzeniu NANOPERM i ferrytowym, źródło [www.magnetec.de](http://www.magnetec.de)

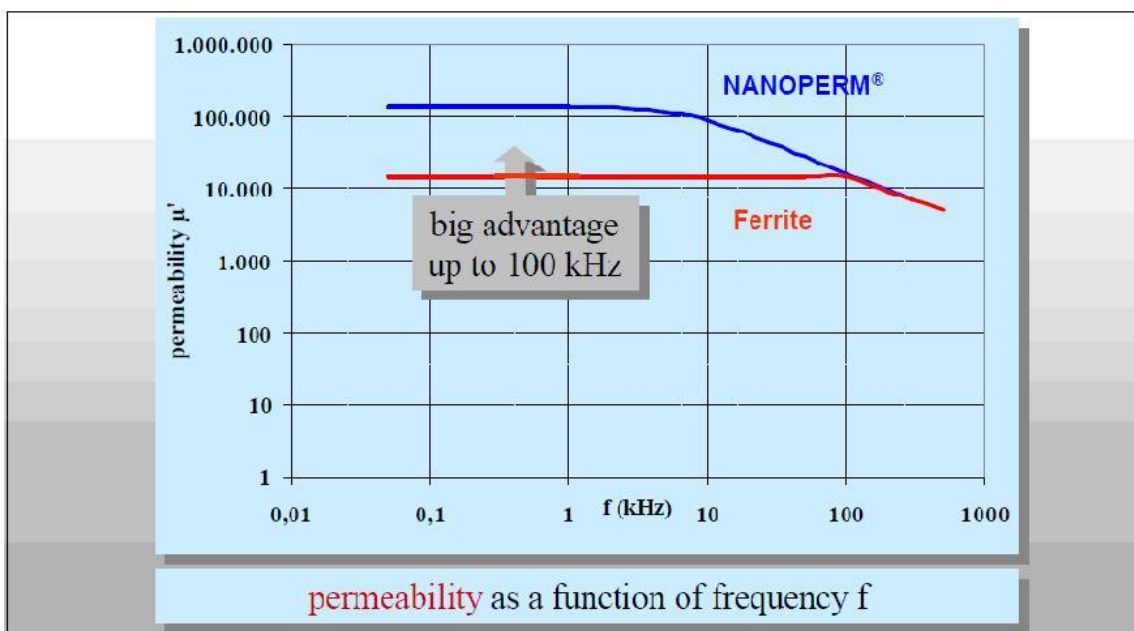
Porównanie skuteczności tłumienia identycznych gabarytowo dławików różniących się jedynie rodzajem rdzenia. Jak widać sięgająca ok. 25dB poprawia dla najniższej częstotliwości jest imponująca. Uzyskanie takiej tłumienności na rdzeniu ferrytowym wymagałoby zastosowania ogromnego rdzenia z bardzo dużą ilością zwoi.

## comparison of materials: NANOPERM® vs. Ferrite



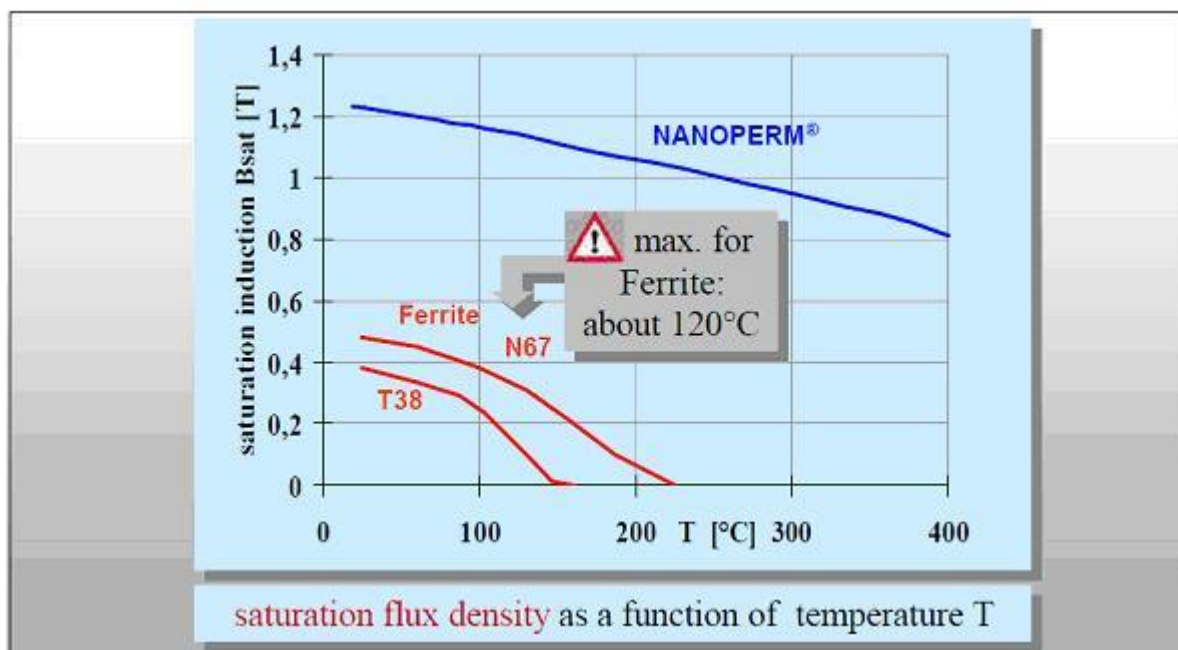
rys 12. Porównanie gabarytów dławików na rdzeniu NANOPERM i ferrytowym, źródło [www.magnetec.de](http://www.magnetec.de)

Porównanie gabarytów. Dławiki o podobnych parametrach, przy czym ten na rdzeniu nanopermowym jest o 50% mniejszy.



rys 13. Porównanie przenikalności w funkcji częstotliwości rdzeni NANOPERM i ferrytowy, źródło [www.magnetec.de](http://www.magnetec.de)

Porównanie przenikalności magnetycznej materiału. Jak widać, nanoperm ma ok. 10x większą przenikalność dla niskich częstotliwości, przewagę nad ferrytem utrzymuje do częstotliwości ok. 100kHz.



rys 14. Porównanie indukcji nasycenia w funkcji temperatury rdzeni NANOPERM i ferrytowych, źródło [www.magnetec.de](http://www.magnetec.de)

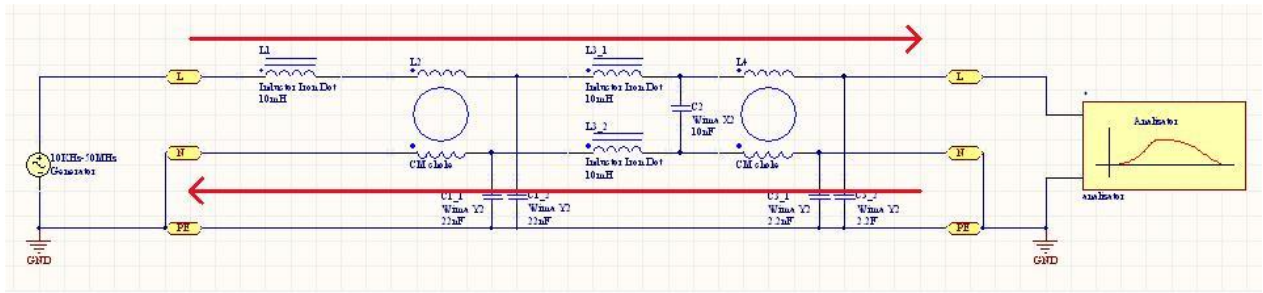
Nasylenie magnetyczne materiału w funkcji temperatury. Nanoperm znacznie lepiej znosi wysokie temperatury, nie tracąc tak swoich właściwości jak ferryt. W przypadku niniejszego projektu nie ma to znaczenia, ale ten przykład pokazuje jak wszechstronnie lepszym materiałem magnetycznym jest nanoperm od ferrytu.

Podsumowując tą wycieczkę po świecie rdzeni z nanopermu można zestawiać następujące korzyści z zastosowania takich rdzeni do budowy dławików:

- bardzo wysoka tłumienność w zakresie niskich częstotliwości, już od 10kHz widać 20-30dB wyższą tłumienność nad dławikiem opartym o rdzeń ferrytowy
- dzięki dużej indukcji rdzenia wystarczy niewielka ilość zwoi aby uzyskać skuteczny dławik a to oznacza małą pojemność dławika i wysoką częstotliwość rezonansu.
- dławiki ma wyrównaną charakterystykę tłumienności w szerokim zakresie częstotliwości, nie wykazuje żadnych ostrych pików rezonansowych tak jak dławiki oparte o rdzeń ferrytowe.
- wysoki poziom strumienia nasycenia pozwala zminimalizować gabaryty

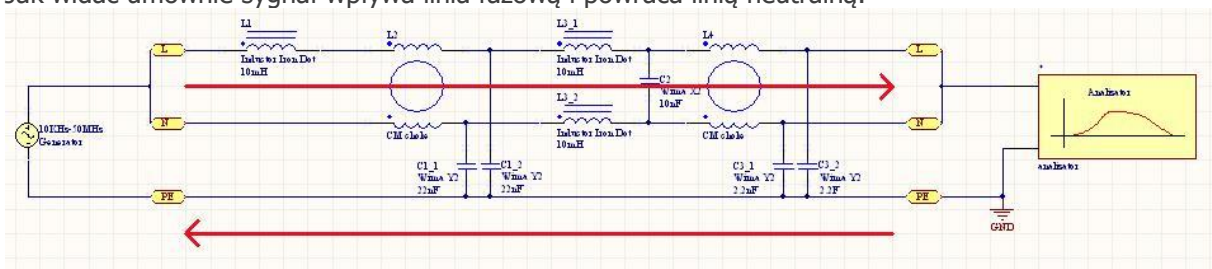
#### 4. Pomiary tłumienności wtrąceniowej

Filtr został przebadany pod kątem zakłóceń wspólnych i różnicowych. Zakres częstotliwości pomiaru wynosił od 10kHz do 50MHz, impedancje na wejściu i wyjściu 50/50 ohm. Metody pomiaru przedstawiają rysunki poniższe rysunki. Jako sprzęt pomiarowy wykorzystane zostały generator sygnału i analizator widma firmy Rohde & Schwartz.



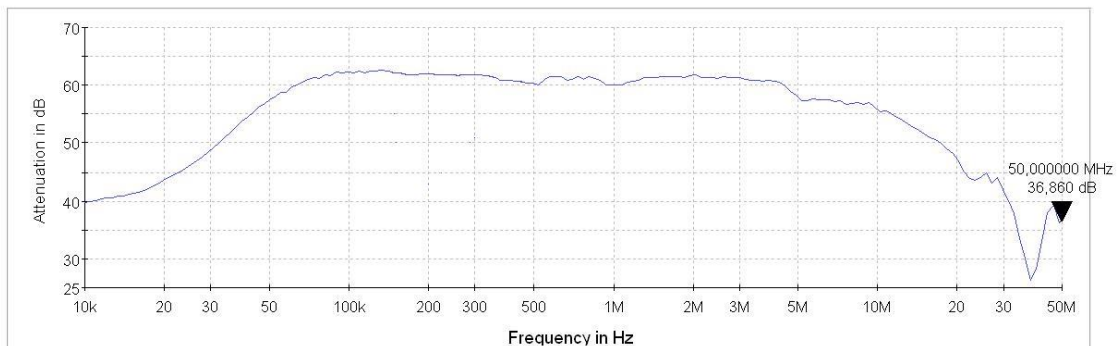
rys 15. Metoda pomiaru tłumienności zakłóceń różnicowych

Dla zakłóceń różnicowych pomiaru dokonujemy wprowadzając sygnał z generatora pomiędzy linię fazową a zwarte linie N i PE. Po drugiej stronie znajduje się analizator, który bada stosunek sygnału zadanego do sygnału po przejściu przez filtr. Czerwone strzałki pokazują drogę przepływu sygnału. Jak widać umownie sygnał wpływa linią fazową i powraca linią neutralną.

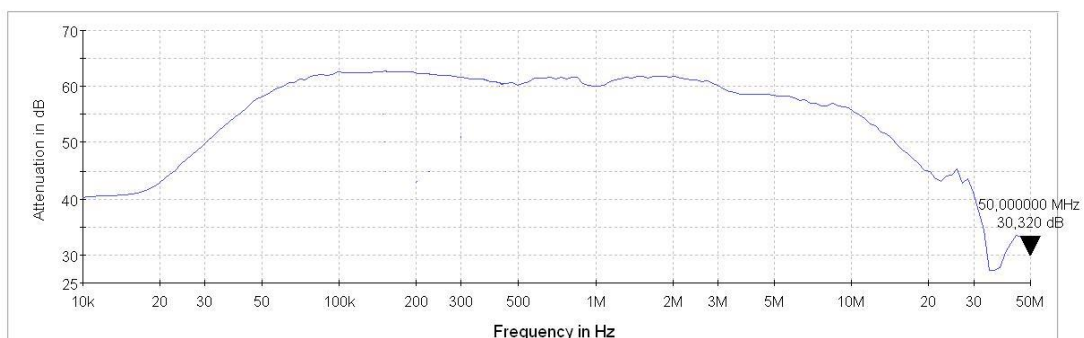


rys 16. Metoda pomiaru tłumienności zakłóceń wspólnych

Podczas pomiaru tłumienności zakłóceń wspólnych linie fazowa i neutralna są zwarte na wejściu i wyjściu. Sygnał wprowadzany jest obiema liniami na raz, powraca linią PE.



rys 17. Wynik pomiaru tłumienności na zakłócenia różnicowe



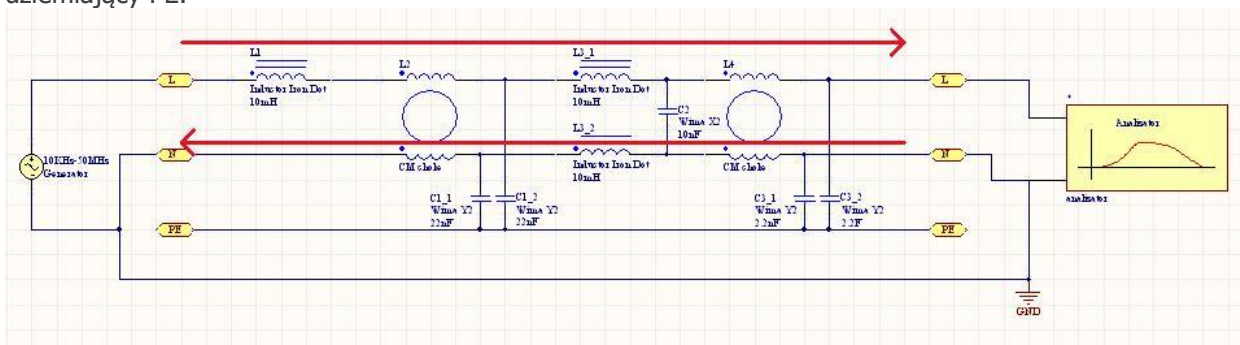
rys 18. Wynik pomiaru tłumienności na zakłócenia wspólne

Na rysunkach 17 i 18 przedstawione zostały wyniki badań tłumienności wtrąceniowej filtru dla

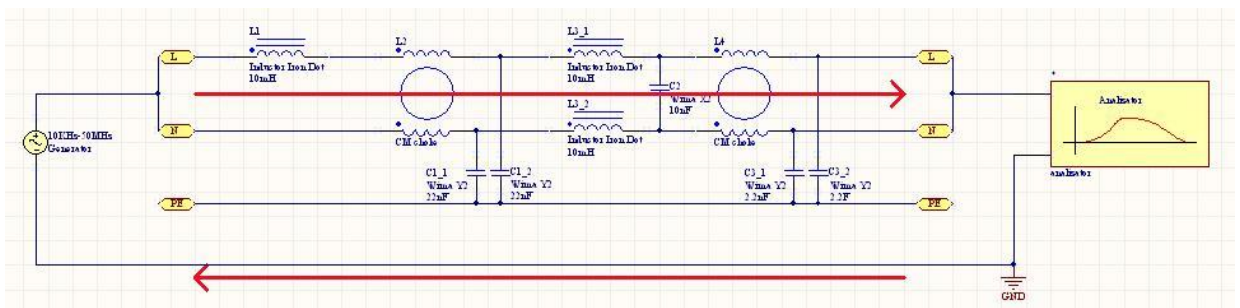
zakłóceń różnicowych i wspólnych. Dla obu przypadków wyniki są bardzo podobne. W szerokim zakresie częstotliwości tłumienność filtru jest na poziomie ok. 60dB co jest wynikiem dość dobrym. Dla mnie obeznanych ze skalą dB przypomnę, że 60dB oznacza iż na wyjściu filtru pojawia się ok. 1/1000 sygnału wejściowego. Poziom 0dB oznaczałby, że filtr przepuszcza całkowicie sygnał, a ujemne wartości oznaczałyby zjawiska rezonansowe wzmacniające sygnał wejściowy. Przebieg charakterystyki ma równomierny charakter bez rezonansów. Do częstotliwości 30MHz filtr bardzo dobrze spełnia swoje zadanie. Powyżej tej częstotliwości drastycznie spadała jego skuteczność, prawdopodobnie jest to wynikiem pojemności pasożytniczych lub sprzężeń pomiędzy elementami filtru.

Dość częstym przypadkiem jest jeszcze sytuacja, gdy filtry pracują bez przewodu uziemiającego. Szczególnie dotyczy się to instalacji w starszych budynkach. Filtr został przebadany również pod tym kątem.

Sposób badań filtru jest analogiczny jak wcześniej, przy czym nie wykorzystywany jest przewód uziemiający PE.

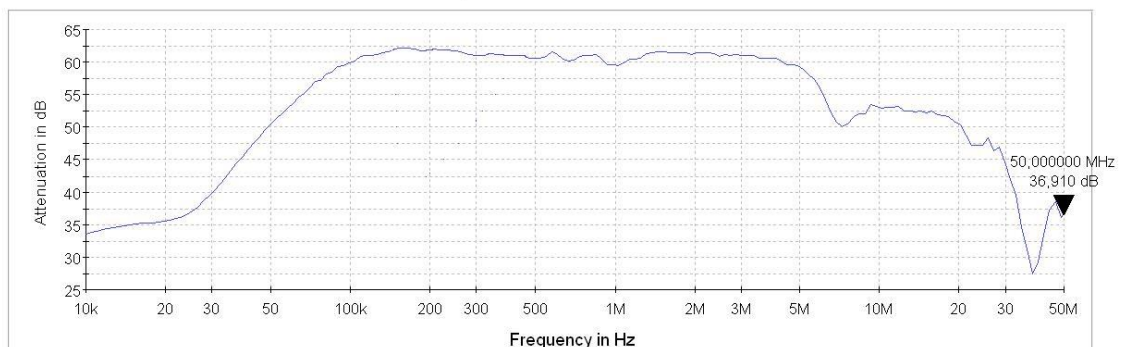


rys 19. Metoda pomiaru tłumienności zakłóceń różnicowych w układzie bez przewodu uziemiającego

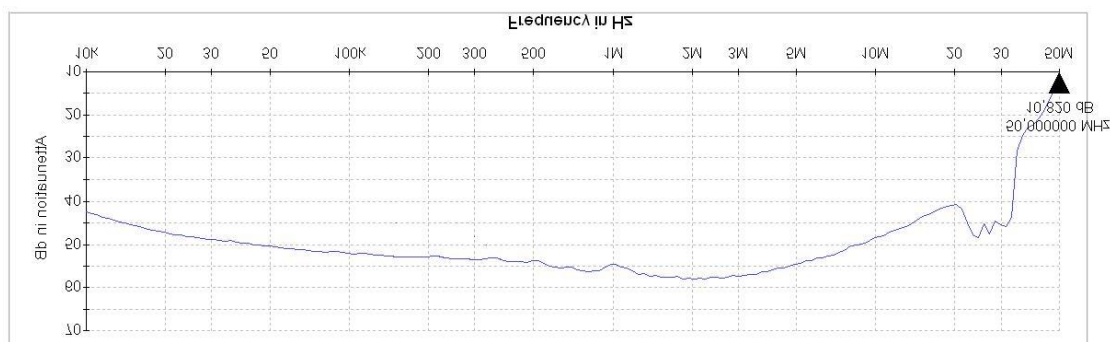


rys 20. Metoda pomiaru tłumienności zakłóceń wspólnych w układzie bez przewodu uziemiającego

Wyniki pomiarów w układzie bez przewodu uziemiającego:



rys 21. Pomiar tłumienności na zakłócenia różnicowe, bez przewodu uziemiającego



rys 22. Pomiar tłumienności na zakłócenia wspólne, bez przewodu uziemiającego

Jak widać, wyniki wyraźnie się pogorszyły, szczególnie dla pomiaru z rysunku 22. Dla zakłóceń wspólnych pojemności filtra sprowadzające obie linie do przewodu uziemiającego działały bardzo skutecznie, stąd odpięcie przewodu PE poskutkowało wyraźnym spadkiem tłumienności filtra, która w tym układzie opiera się wyłącznie na dławikach. Mimo to, uzyskany wynik jest całkiem przyzwoity. Pomiar dla zakłóceń różnicowych z rysunku 21 wykazał pogorszenie w zakresie wysokich częstotliwości. Jednak nie jest to specjalnie dotkliwie. Gdy się przyjrzymy metodą pomiarowym dla obu przypadków to można dojść do oczywistego wniosku, że dla zakłóceń różnicowych przewód uziemiający nie ma takiego znaczenia jak dla zakłóceń wspólnych. Zakłócenia różnicowe zamykają się w fazach L i N, dlatego odłączenie PE miało niewielki wpływ na wynik, który zmienił się z powodu zniknięcia pojemności łączących linie L i N do PE.

## 5. Wykaz elementów, sposób wykonania, obwód drukowany

### Wykaz elementów:

- C1\_1, C1\_2 : WIMA MPY2 22nF / 300VAC
- C2 : WIMA MKPX2 10nF / 275VAC
- C3\_1, C3\_2 : WIMA MKPY2 2,2nF / 300VAC
- F1, F2 : bezpiecznik topikowy 3,15A + gniazda natablicowe
- L1 : dławik na rdzeniu Magnetec M16 , pojedyncze uzwojenie ,14 zwoi przewodem 0,35mm<sup>2</sup>, luźno po całym obwodzie
- L2 : dławik skompensowany prądowo na rdzeniu Magnetec M70, 2x 14 zwoi przewodem 0,35mm<sup>2</sup>
- L3\_1, L3\_2 : dławiki na rdzeniu Magnetec M60, pojedyncze uzwojenie, 9 zwoi przewodem 0,35mm<sup>2</sup>
- L4 : dławik skompensowany prądowo na rdzeniu Wurth 742701703, 2x 12 zwoi przewodem 0,35mm<sup>2</sup>
- P1 : gniazdo IEC
- P2, P3, P4 : gniazda sieciowe natablicowe firmy PCE
- V1 : ochronnik przepięciowy, warystor 320V DC (250V AC)

### Dostawcy elementów :

- Kondensatory Distrelec - [www.distrelec.com](http://www.distrelec.com) (reprezentowany przez firmę ASTAT) lub TME
- Rdzenie nanopermowe Feryster - [www.feryster.pl](http://www.feryster.pl) lub allegro, użytkownik **dauidm18** który ma taniej te rdzenie średnio o 30% niż feryster (nota bene ten sprzedawca jest zapewne pracownikiem ferystera).
- Rdzeń Wurth 742701703 - na razie nie znalazłem go u lokalnych dystrybutorów. Ja zdobyłem go "częstując" się tym co było na wyposażeniu laboratorium. Jak znajdę dystrybutora bądź najbliższy osiągalny odpowiednik tego rdzenia to uzupełnię opis. **Jako zamiennik** najlepszym dotychczas znalezionym i dostępnym rdzeniem jest Laird 28B0999-000. Rdzeń do kupienia w firmie [www.abcpol.pl](http://www.abcpol.pl) .
- Gniazda sieciowe natablicowe - tu polecam allegro bo jest zdecydowanie najtaniej
- Pozostałe - lokalny sklep elektroniczny

## Sposób wykonania dławików

Metoda wykonania dławików jest istotna. Od jakości nawinięcia zależy jakość działania i filtracji dławika. Ja dławiki nawijałem ręcznie, nie było innej możliwości gdy nie wiadomo jaki dławik będzie potrzebny. Wszystkie dławiki nawijałem jednożyłowym przewodem LGY 0.35mm<sup>2</sup>. Pod kątem jakościowym najlepsza byłaby lica ale jej nie miałem a cena tego przewodu przyprawia o ból głowy. W firmie feryster można zamówić gotowe nawinięte dławiki co powinno uprościć budowę. Można też tak jak ja nawinąć samemu, nie jest to czynność skomplikowana czy wyjątkowo pracochłonna. Należy przestrzegać prostych zasad :

- nawijamy ciasno na rdzeniu - luźny przewód to przewód zbędny
- zwoje wykonujemy w równych odstępach od siebie
- odstępy między zwojami powinny być jak największe - uwaga tyczy się głównie dławików L1 i obu dławików L3 , nie należy nawijać wszystkich zwoi na kupę i zostawiać pustą znaczną część rdzenia, uzwojenie powinno pokrywać całą jego powierzchnię. Dławiki L2 i L4 mają tak dużą liczbę zwoi, że trudno mówić o luźnym rozłożeniu ich na rdzeniu, nie mniej należy postarać się o równomierny układ zwoi na rdzeniu.
- jako zwój dławika liczy się każde przejście przewodu przez środek rdzenia

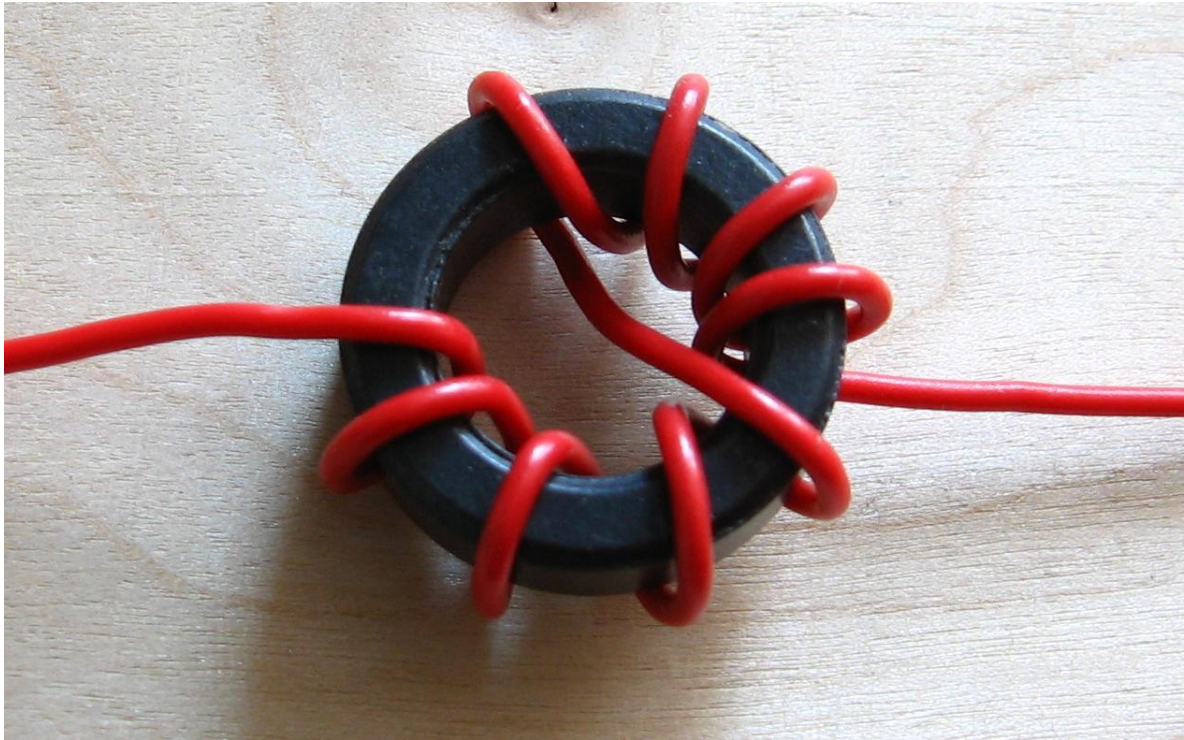
Na poniższych zdjęciach zaprezentuję poglądowo w jaki sposób powinno być nawinięte uzwojenie dla poszczególnych dławików. Nie należy sugerować się innym rdzeniem, jest on przypadkowy, czy zbyt luźno nawiniętym przewodem, chodzi wyłącznie o pokazanie kierunku/sposobu nawinięcia przewodu na rdzeń.

Dławik L1 dla zakłóceń różnicowych :



*rys 23. Sposób nawijania L1. Zwoje luźno po obwodzie.*

Dławiki L3\_1 i L3\_2 dla zakłóceń różnicowych:



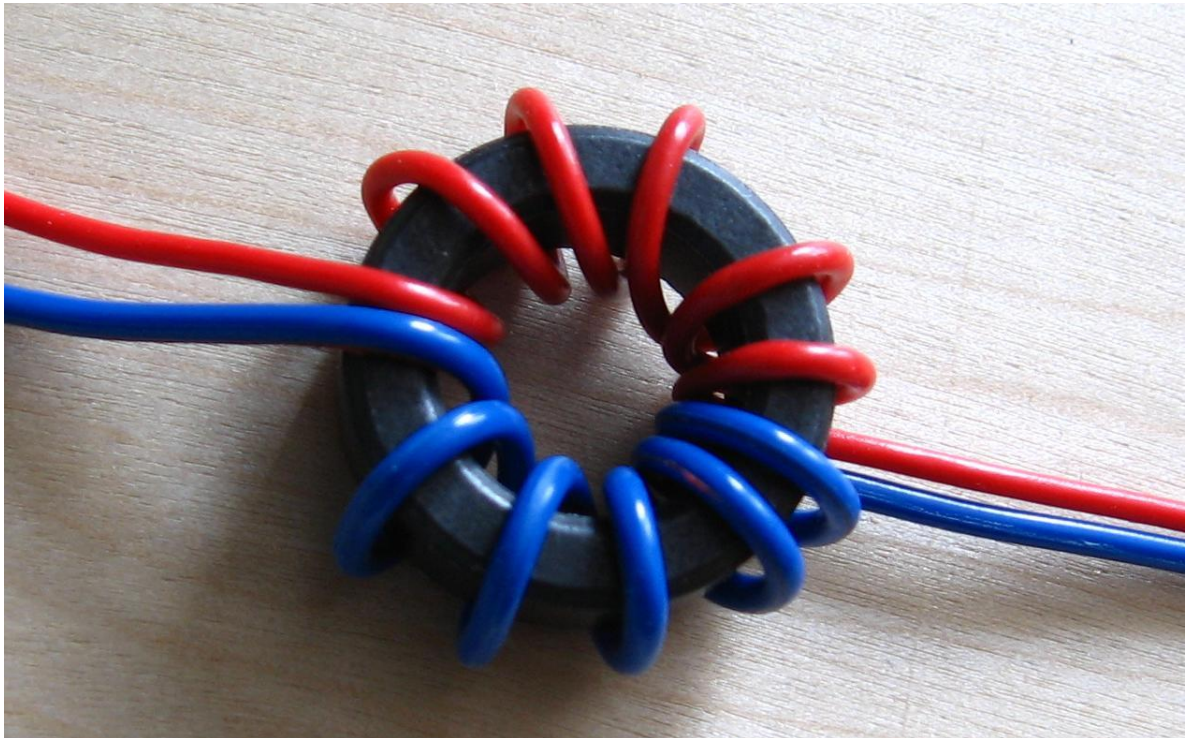
*rys 24. Sposób nawijania dławików L3. Po 4 zwojach robimy przeplot przewodu na przeciwną stronę rdzenia i nawijamy kolejne 4 zwoje. Sposób ten nazwany "super-toroid" pozwala zredukować pojemności międzyzwojowe dławika oraz podnosi jego impedancję na wysokich częstotliwościach.*

Dławiki L2 i L4 dla zakłóceń wspólnych sposób 1 :



*rys 25. Sposób nawijania dławików zakłóceń wspólnych. Nawijamy identycznie jak dławik L1 z tą różnicą, że jednocześnie obiema żyłami przewodów.*

Dławiki L2 i L4 dla zakłóceń wspólnych sposób 2 :

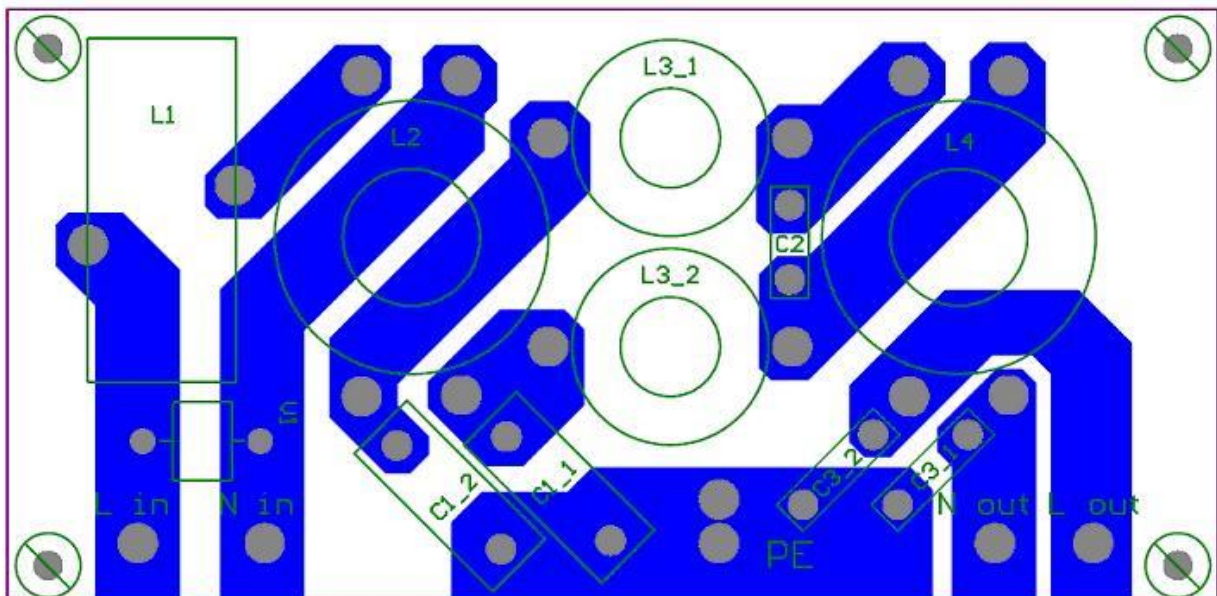


rys 26. Drugi sposób nawijania dławików zakłóceń wspólnych. Nawijamy dwa osobne uzwojenia po przeciwległych stronach rdzenia. Ta metoda została wykorzystana w projekcie. **Istotny jest kierunek nawijania uzwojeń. W przypadku pomyłki i nawinięcia jednego uzwojenia w stronę przeciwną uzyskamy dławik zakłóceń różnicowych!**

### Montaż elementów na PCB

Pokusiłem się też o wykonanie prototypowego PCB do filtra, chociaż z powodzeniem można zmontować go metodą "na pająka".

Układ elementów na płytce oraz zmontowany filtr przedstawiają obrazki poniżej.



rys 27. Układ elementów na płytce



rys 28. Zmontowany filtr

Wzór płytki PCB zamieszczony jest w załączniku. Wystarczy wydrukować w skali 1:1 (w acrobat reader w pozycji *skalowanie strony* wybieramy opcję *Brak* )

Większe dławiki warto przykleić do PCB za pomocą kleju na gorąco lub przymocować opaskami zaciskowymi.

Gdyby ktoś chciał zmontować filtr metodą "na pająka", wówczas należy kierować się następującymi zasadami :

- połączenia robimy możliwie krótkie
- szczególną uwagę zwracamy na obwód połączenia linii PE. Najlepiej wykonać go w formie punktu wspólnego do którego dochodzą wszystkie przewody/elementy podłączone do PE. Im krótszy obwód linii PE tym lepiej.

Uwagi dotyczące montażu listwy:

- okablowanie robimy możliwie krótkie
- grubość przewodów L i N to 1..1,5mm<sup>2</sup>
- grubość przewodu PE to 1,5..2,5mm<sup>2</sup>
- przewód PE robimy możliwie najkrótszy!
- w miarę możliwości przewody prowadzimy po krawędziach obudowy

### Koszt budowy

Chyba jedna z bardziej interesujących kwestii. Ile mnie to wyniosło? Trudno powiedzieć gdyż część elementów miałem taniej (rdzenie), niektóre były "na stanie", ponadto musiałem kupić więcej elementów np. kondensatorów miałem ponad 10x więcej niż zostało użytych w projekcie. Niestety to są koszty budowania prototypów.

Podliczając elementy wykorzystane, przybliżoną kwotą jaką mogę podać to jest przedział między 200 a 250 zł, gdzie lwią część pochłaniają nanopermowe rdzenie. Spory koszt wiąże się również z kupnem

elementów z 2-3 źródeł.

Czy było warto? O tym w podsumowaniu. Patrząc od strony ekonomicznej to zwykła listwa zasilająca ze sklepu komputerowego potrafi kosztować od 50 zł. Moja jest średnio 4x droższa ale w zamian jest coś wyjątkowego i własnoręcznie, solidnie wykonanego i na pewno o wiele lepiej działającego niż chińska tandeta.

## 6. Podsumowanie

Wykonanie tej listwy zajęło mi relatywnie niewiele czasu. Dwa popołudnia na obudowę, trochę ponad 20h spędzonych w laboratorium, do tego czas na wynalezienie i przestudiowanie niezbędnych materiałów. Projekt miałem jeszcze udoskonalić ale jak to często bywa, zabrakło trochę czasu.

Nie mniej, osiągnięte rezultaty uważam za bardzo dobre. Gdybym chciał osiągnąć więcej musiałbym poświęcić kolejne dziesiątki godzin na pomiarach i udoskonaleniach. Wejść w obszar zagadnień związanych z przestawianiem elementów na PCB i sprawdzaniu ich wzajemnego wpływu na siebie aby otrzymać najmniejszą liczbę sprzężeń. Wejść w obszar zagadnień związanych z lepszą konstrukcją odbudowy, z innego materiału czy innym sposobem kablowania. Te czynności mogłyby mi dać poprawę parametrów listwy nawet o kolejne 20dB ale czy poprawa byłaby adekwatna do ilości czasu jaką musiałbym spędzić? Trudno powiedzieć.

Zastosowana metoda pomiaru nie była też idealna, niestety sprzęt lub moje umiejętności posługiwania się nim nie pozwoliły na więcej. Tego typu filtry powinno sprawdzać się przy proporcjach impedancji wejścia/wyjścia o wartościach 50/50, 1/100 oraz 100/1 co pozwala dokładnie określić zachowanie filtru, jego skuteczność oraz stabilność. Niestety ja dokonywałem pomiarów wyłącznie przy wartościach 50/50 co trochę uszczupla obraz całości.

Każdy taki pomiar trwa ok 5-10min zależnie od ustawień, przy czym za każdym razem wykonujemy dwa pomiary na zakłócenia różnicowe i wspólne. Suma sumarum wykonałem ich dziesiątki nim doszedłem do ostatecznej, prezentowanej tutaj koncepcji. Ilość czasu którą trzeba spędzić czekając aż aparatura skończy mierzyć jest niekiedy wręcz zniechęcająca.

Jeżeli ktoś dotarł do tego momentu to zastanawia się czy jest sens budować taką listwę i czy to coś daje. Po prostu, słychać różnicę czy nie słychać?

Odstawiając na bok poprawność inżynierską, która nakazuje nie wypowiedanie się w kwestiach subiektywnej oceny konstrukcji a każe opierać wyłącznie się na wynikach badań, mogę powiedzieć, że ta listwa coś jednak daje.

Nie są to zmiany ogromne, nie podnosi basów, nie uwypukla wysokich czy cokolwiek podobnego hurra-optimistycznie opisywanego w magazynach audio. Działanie jej jest subtelne.

Nie będąc pewnym swoich obserwacji, gdyż mogę być najmniej obiektywną osobną do wyrażania sądów na temat tej konstrukcji, zrobiliśmy eksperyment.

Poprosiłem znajomego aby złożył swoją ulubioną konfigurację sprzętu, na której najczęściej słuca i żeby ponownie przywykł do tego systemu. Po jakimś tygodniu pojawiłem się z tą listwą i wpieliśmy ją zasilając wzmacniacz, przedwzmacniacz, odtwarzacz, czyli całość systemu. Niczego też nie sugerowałem co do spodziewanych rezultatów.

Początkowy rezultat, po pierwszych paru minutach był taki, że nie słychać różnicy.

Jednak z biegiem czasu i parę utworów później znajomy zauważył różnicę objawiającą się swobodniejszym, bardziej lekkim brzmieniem, nieco większą rozdzielczością wysokich tonów.

Nie były to zmiany ogromne, jednak subiektywnie można je było odczuć. Spostrzeżenia były bardzo podobne do tych które ja zaobserwowałem w momencie zainstalowania listwy w moim systemie.

Można powiedzieć, że to bardzo mało. Z drugiej strony można powiedzieć, że to bardzo dużo jak na rzecz która ma wyłącznie przeciwdziałać przenikaniu zakłóceń z sieci 230V do naszego systemu audio.

Decyzję o sensowności stosowania takich rozwiązań pozostawiam każdemu z osobna. Moim zdaniem

warto się zainteresować tym tematem.

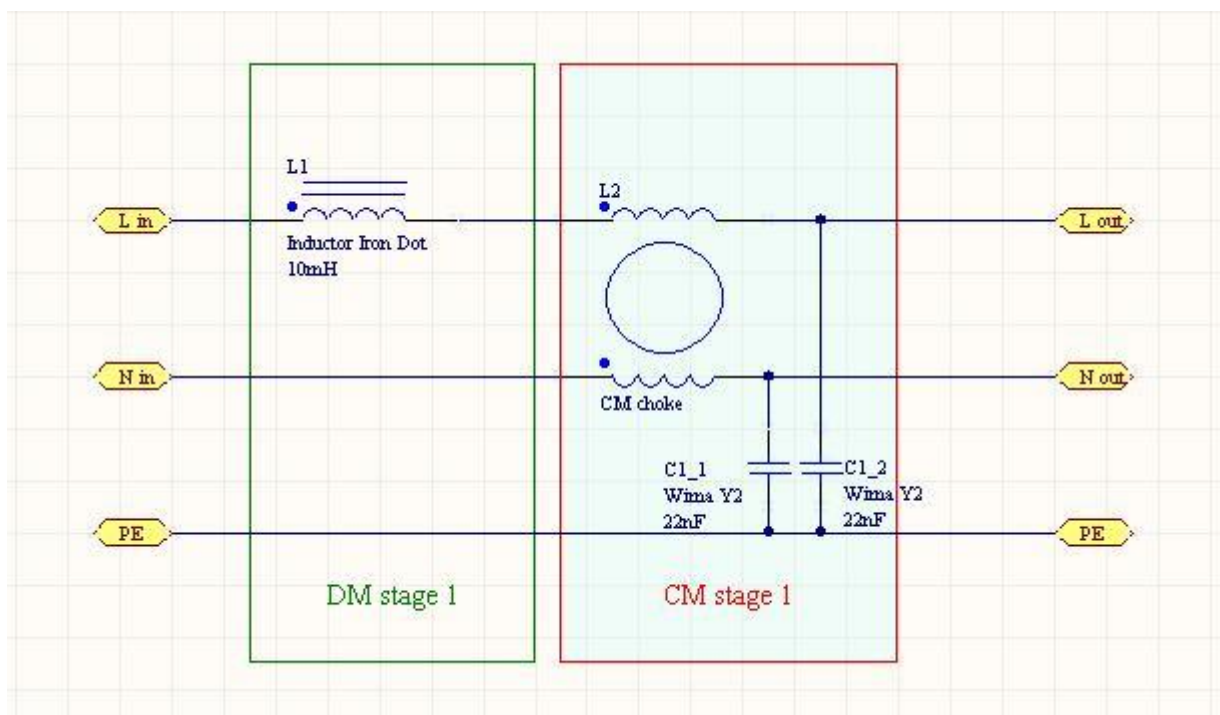
Na koniec zapraszam na ostatnią część artykułu - dodatku. Umieściłem w nim trochę informacji, które będą najbardziej interesujące dla większości osób, których ten temat zainteresował a jednocześnie zniechęciła ich trochę złożoność i cena konstrukcji.

## 7. Dodatek

Materiały zawarte w dodatku są niejako efektem ubocznym moich działań w trakcie budowy tej listwy. Badając mój filtr, badałem poszczególne jego stopnie i ich skuteczność filtracji w różnych konfiguracjach. Poniżej chciałbym zaprezentować filtr prostszy w budowie, który można zrobić w ciągu 10-20 min i który będzie naprawdę skuteczny.

### Power Cleaner lite

Wersja lite jest tak naprawdę połową filtra z wersji pełnej. Spisywać się będzie na pewno dobrze i chociaż nie posiadam pomiarów tej wersji w całości to można wysnuć wniosek, że filtr ten na pewno spełni swoje zadanie.



rys 29. Odchudzona wersja filtra. Wykorzystujemy dwa pierwsze stopnie filtracji, które de facto są najskuteczniejszymi stopniami, pozostałe dwa z wersji pełnej nastawione są na filtrację wyższych częstotliwości

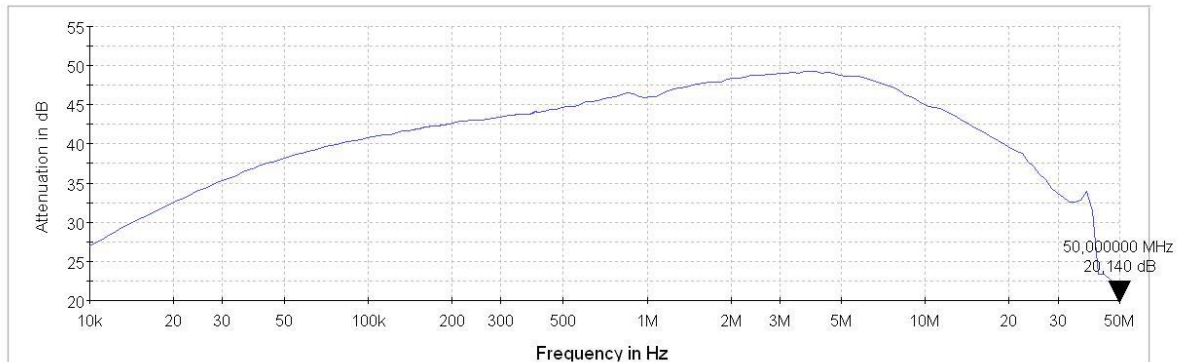
Jak widać, wersja obcięta składa się z dwóch dławików i dwóch kondensatorów.

Elementy te to :

- C1\_1, C1\_2 : WIMA MPY2 22nF / 300VAC
- L1 : dławik na rdzeniu Magnetec M16 , pojedyncze uzwojenie ,14 zwoi przewodem 0,35mm<sup>2</sup>, luźno po całym obwodzie
- L2 : dławik skompensowany prądowo na rdzeniu Magnetec M70, 2x 14 zwoi przewodem 0,35mm<sup>2</sup>

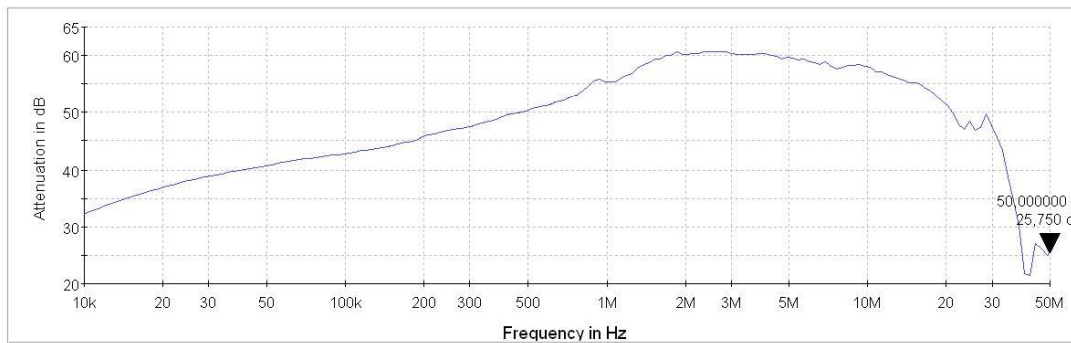
Jak widać nie ma tu żadnych zmian.

Niestety nie posiadam pomiarów tej wersji w całości. Mam natomiast pomiary poszczególnych stopni. I tak, stopień DM1 , czyli stopień na dławiku L1 odpowiedzialny za tłumienie zakłóceń różnicowych :



*rys 30. Pomiar dławika L1*

Stopień CM1 odpowiedzialny za tłumienie zakłóceń wspólnych :



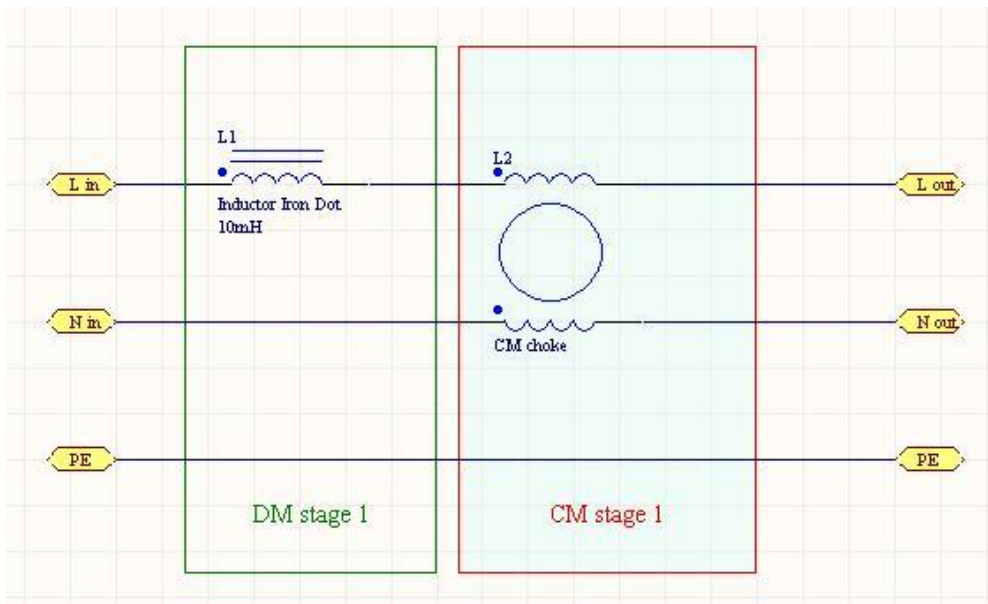
*rys 31. Pomiar dławika L2 z kondensatorami C1\_1 i C1\_2*

Jak widać, oba stopnie filtracji spisują się bardzo dobrze. Zaskakująco dobry jest stopień filtracji CM1 którego osiągi można uznać za wystarczająco dobre i niczego już nie poprawiać.

Połączenie tych dwóch stopni w całość na pewno da nieco odmienne wyniki filtracji, jednakże nie dysponuję takim pomiarem.

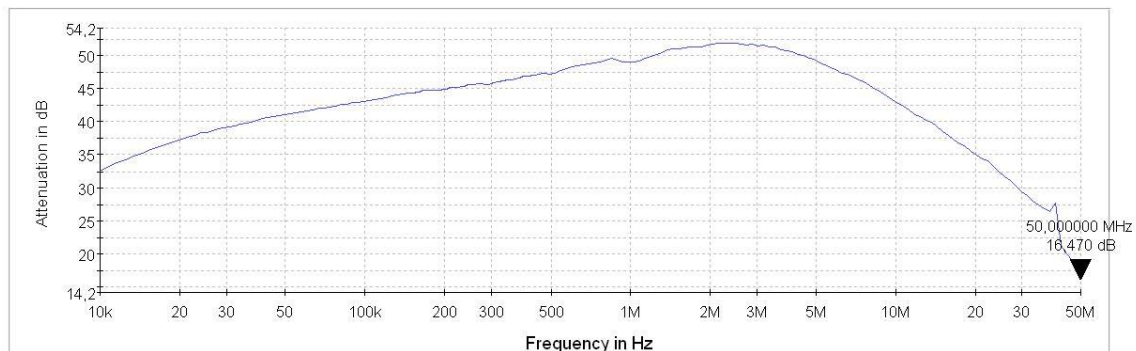
Dla tych, którzy chcą jeszcze prostszego filtru, można zaproponować wersję bez kondensatorów C1\_1 i C1\_2.

Filtr będzie miał następujący kształt:



rys 31. Filtr w wersji super lite

Skuteczność filtracji stopnia DM1 już została pokazana na rysunku 30. Natomiast pozbawiony kondensatorów dławik L2 będzie spisywał się całkiem nieźle :



rys 32. Pomiar stopnia CM1 zbudowanego wyłącznie z dławika L2

Tego typu filtr zaburzeń wspólnych, zbudowany na rdzeniu M70 tylko z mniejszą ilością zwoi, wykorzystywany jest u mnie w firmie na wejściu jednego z urządzeń jakie produkujemy. Dzięki tak prostemu filtrowi, urządzenie te jest w stanie działać w silnie zaśmieconym środowisku, podczas gdy bez filtru pojawiały się problemy.

To pokazuje, co daje zaledwie kilka-kilkanaście zwoi na takim rdzeniu. Czasem jest to różnica pomiędzy prawidłowym działaniem a niedziałaniem sprzętu. Natomiast zrobienie takiego filtru, który może być zawieszony na przewodach zasilających to jest 10 min !

Nie namawiam nikogo na powielanie mojej konstrukcji bo jest dość skomplikowana i przede wszystkim droga. Jednak nie znaczy to, że można pozostawić sprawę redukcji zakłóceń w naszym systemie zupełnie odłogiem!

Zrobienie filtru w wersji lite z rysunku 29 , to koszt ok 50 -60 zł za rdzenie i kolejnej takiej kwoty na gniazda, przełącznik, obudowę, kable, kondensatorki. Te ostatnie trzeba kupować z uwagą, nie są to zwykłe kondensatory 22nF ale specjalne tzw "Igrekowe" czyli wersja Y2 o małej upływności i do pracy z napięciem sieciowym 230V, specjalnie dedykowane do połączeń faz L i N z linią PE. Szczególnie w tym przypadku polecam kondensatory firmy WIMA gdyż podczas badań okazały się lepsze od kondensatorów firmy AROTRONICS, których jest pełno i można kupić np. w TME.