

2. Odrušovacie prostriedky pre vedené rušenie

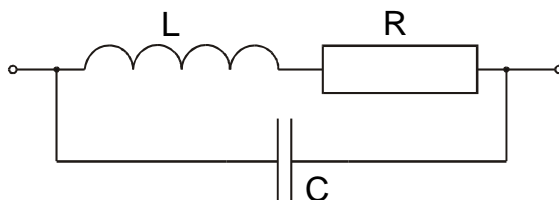
Odrušovacie prostriedky slúžia k obmedzeniu rušivých signálov a používame ich tak k potlačeniu rušivých signálov ako aj pre zvýšenie odolnosti zariadenia proti nim. Medzi odrušovacie prostriedky, ktoré slúžia k odstráneniu rušenia na vedení patria :

- tlmivky;
- kondenzátory;
- filtre;
- prepäťové ochrany.

Na obmedzenie rušenia vyžarovaním sa používa aj tienenie elektromagnetických polí.

Tlmivky

Odrušovacie tlmivky sú najnákladnejšie a najobjemnejšie pasívne prvky používané v technike odrušovania. Tlmivky sa zapájajú do prúdových obvodov (do série) odrušovaných zariadení a preto je ich využitie vítané najmä v nízkoimpedančných systémoch, t.j. ak impedancie zdroja a prijímača rušenia sú oveľa menšie ako reaktancia tlmivky pri frekvenciách odrušovaného pásma.



Obr.1. Náhradná schéma tlmivky

Ako vidno z obrázku 1, z hľadiska využitia tlmivky v oblasti vysokých frekvencií sú dôležité jeho parazitné vlastnosti, t.j. okrem žiadanej indukčnosti, ktorej hodnota má byť čo najvyššia, vykazuje tlmivka aj odpor vinutia a parazitné kapacity. Tieto kapacity spôsobujú, že tlmivka sa chová ako rezonančný obvod, nad rezonančnou frekvenciou má kapacitný charakter (impedancia klesá s frekvenciou).

Dobrá odrušovacia tlmivka musí spĺňať nasledovné požiadavky :

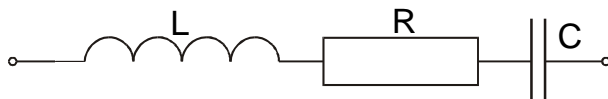
- dostatočná indukčnosť aj pri malých rozmeroch, malom počte závitov a pod.;
- vysoká vlastná rezonančná frekvencia;
- mimo pracovného frekvenčného rozsahu čo najväčšie činné straty ($Q < 1$);
- nezávislosť indukčnosti od pretekajúceho prúdu - feritová tlmivka sa nesmie presycovať.

V EMC praxi rozoznávame dve skupiny tlmiviek :

- tlmivky pre potlačenie rozdielového rušenia (v podstate klasické tlmivky);
- tlmivky pre potlačanie súhlasného rušenia, kde princíp pôsobenia aj konštrukcia sú špecifické, tzv. prúdovo kompenzované tlmivky.

Kondenzátory

Odrušovacie kondenzátory sa zapájajú paralelne k odrušovanému obvodu a sú výhodné najmä vtedy, ak pri rušivých frekvenciách je vnútorná impedancia zdroja a prijímača rušenia oveľa vyššia ako reaktancia kondenzátora.



Obr. 2. Náhradná schéma kondenzátora

Podobne ako v prípade tlmiviek aj v prípade kondenzátora sa okrem požadovanej kapacity vyskytuje stratový odpor a parazitná indukčnosť telesa a prívodov. Táto indukčnosť spôsobuje, že kondenzátor sa chová ako sériový rezonančný obvod, nad svojou rezonančnou frekvenciou má induktívny charakter (impedancia rastie s frekvenciou). Pri výbere odrušovacieho kondenzátora treba dbať na :

- dĺžka prívodov kondenzátora musí byť minimálna;
- veľkosť kapacity vyberáme podľa frekvenčného spektra rušenia (pozri tab.1);
- ak používame bežné kondenzátory, treba dbať aj na frekvenčné vlastnosti dielektrika a voliť kondenzátor vhodný pre danú frekvenčnú oblasť (pozri tab.2);
- ak to umožňuje konštrukcia zariadenia, dávame prednosť koaxiálnym priechodkovým kondenzátorm pred klasickými.

Tab.1. Odporúčané hodnoty odrušovacích kondenzátorov

Odrušované frekvenčné pásmo	Odporúčané hodnoty odrušovacích kondenzátorov
10kHz ÷ 0,5MHz	5 – 4 – 2 – 1 – 0,5 μF
0,5MHz ÷ 6MHz	0,5 – 0,25 – 0,1 μF
6MHz ÷ 30MHz	100nF ÷ 1000pF
< 30MHz	> 1000pF

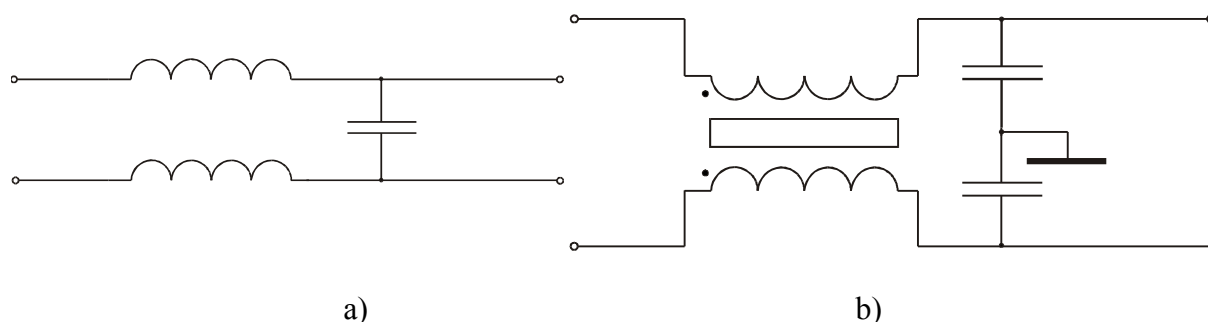
Tab. 2. Oblasti použitia rôznych druhov dielektrika kondenzátorov

Odrušované frekvenčné pásmo	Dielektrikum kondenzátora
10kHz ÷ 100kHz	metalizovaný papier, polystyrén
100kHz ÷ 5MHz	metalizovaný papier, keramika, polystyrén
5MHz ÷ 100MHz	polystyrén, keramika
< 100MHz	Polystyrén

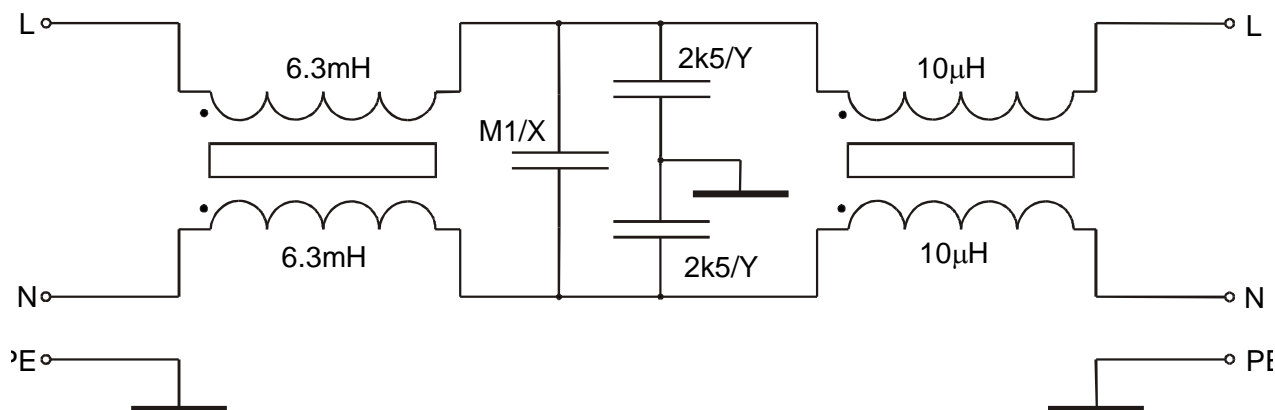
Pri kondenzátoroch používaných na filtráciu nn siete rozoznávame z hľadiska bezpečnosti proti úrazu elektrickým prúdom *kondenzátory triedy X* a *Y*. Odrušovacie kondenzátory triedy X sú určené pre použitie tam, kde ich prípadný prieraz nemôže ohroziť bezpečnosť ľudí (pri sieťovom napájaní medzi L a N). Ich veľkosť nie je obmedzená a volí sa z hľadiska konkrétnych potrieb pri odrušení. Kondenzátory triedy X sa ďalej delia na X1 (používajú sa tam, kde je nebezpečie výskytu prepäťových špičiek, väčších ako 1,2kV) a X2 (použitie pri menších prepätiach). Odrušovacie kondenzátory triedy Y tzv. bezpečnostné sa zapájajú všade, kde je bezpečnostnými normami obmedzená hodnota zvodového prúdu, t.j. medzi živé časti a ochranný vodič resp. ochranný kryt prístroja (medzi L a PE resp. N a PE). Maximálne prípustné hodnoty kapacity týchto kondenzátorov pre elektrické zariadenia s napájacím napätím ≤ 250V sú 2,5nF pre bezpečný zvodový prúd 10mA. Špeciálnymi kondenzátormi možno nazvať viacvývodové kondenzátory napr. trojvývodové, ktoré napríklad pridaním feritových krúžkov na dvojicu vývodov jednej elektródy kondenzátora vytvoria tzv. keramický filter (filter LC).

Odrušovacie filtre

K dokonalejšej ochrane pred pôsobením vf rušenia šíriaceho sa po vedení sa používajú odrušovacie filtre, najčastejšie dolnopriepustné LC filtre. Dnes najviac používaným typom filtra je sieťový odrušovací filter, ktorý sa zapája do energetickej napájacej siete alebo do napájacieho vstupu zariadenia. Je tvorený kombináciou filtrov pre rozdielové rušenie (*obr. 3a* – tlmivka + kondenzátor triedy X) a súhlasné rušenie (*obr. 3b* – tlmivka s prúdovou kompenzáciou + dva kondenzátory triedy Y), pričom niektoré prvky môžu byť vynechané.



Obr. 3. Filter pre rozdielový signál a) a pre súhlasný signál b)



Obr. 4. Typické zapojenie kombinovaného sieťového filtra – zapojenie WN 852 02

Sieťový filter sa pripája priamo na vstupné napájacie svorky odrušovaného zariadenia, a preto rovnako dôležité ako zapojenie filtra je aj jeho celková konštrukcia ale aj umiestnenie a upevnenie na odrušovanom zariadení a jeho uzemnenie.

Prepät'ové ochrany

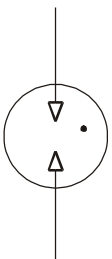
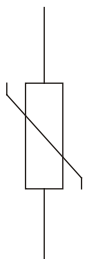

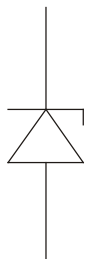
Za prepätie považujeme napätie, ktoré je vyššie ako maximálne prevádzkové napätie. V technickej praxi sa môžeme stretnúť s nasledovnými zdrojmi prepätí :

1. *atmosférický výboj* – blesk – trvanie impulzu $\sim 10\mu\text{s}$; nábežná hrana $\sim 1\mu\text{s}$; amplitúda $\sim 1\text{kV}$;
2. *spínacie procesy v sieti* – trvanie impulzu $\sim 1\mu\text{s}$; nábežná hrana $\sim 100\text{ns}$; amplitúda $\sim 1\text{kV}$;
3. *elektrostatický výboj* – trvanie impulzu $\sim 10\text{ns}$; nábežná hrana $\sim 1\text{ns}$; amplitúda $\sim 10\text{kV}$.

Pretože amplitúdy týchto impulzov dosahujú hodnoty rádovo $\sim 1\text{kV}$, je potrebné, aby sme voči nim chránili elektrické zariadenia (EZ) použitím vhodných ochrán. Pritom si treba uvedomiť, že tieto rušivé vplyvy sa môžu dostať do EZ buď priamo (prostredníctvom vodičov) ale aj pôsobením elektromagnetických polí.

Pod pojmom prepät'ové ochranné prvky rozumieme súčiastky slúžiace k potlačeniu alebo obmedzeniu napät'ového prepätia vznikajúceho na vedeniach. Sú to zväčša prvky s napät'ovo závislými (silne nelineárnymi) charakteristikami, pričom za normálnych okolností by sa ich prítomnosť nemala prejavovať. Medzi základné prepät'ové prvky patria *bleskoistka*, *varistor*, špeciálne lavínové, tzv. *supresorové diódy* a klasické *Zenerove diódy*. Líšia sa najmä ochrannou úrovňou napätia a reakčným časom. Prehľad ich vlastností sa nachádza v *tabuľke 3*.

Tab. 3. Parametre prepäťových ochrán

Názov	Bleskoistky	Varistory	Supresorové diódy	Zenerove diódy
Schematická značka				
Ochranné napätie (V)	10 ÷ 12000	6 ÷ 2000	6 ÷ 440	2,4 ÷ 200
Vlastná kapacita (pF)	~ 1	100 ÷ 10000	300 ÷ 10000	~ 100
Reakčný čas (ns)	> 1000	~ 25	~ 0,001	~ 10

Bleskoistka je plynom plnená výbojka, ktorej elektródy sú umiestnené v keramickom alebo sklenom puzdre naplnenom vzácnym plynom (Ar, Ne) pod slabým tlakom. Takáto konštrukcia zaisťuje najmä reprodukovateľnosť parametrov výboja. Pri nízkom napätí je izolačný odpor výbojky medzi elektródami vyšší ako $10^{10}\Omega$. Ak napätie na bleskoistke presiahne hodnotu tzv. *zápalného napätia*, bleskoistka sa „zapáli“ a jej odpor prudko klesne. Takisto napätie na bleskoistke poklesne na hodnotu rádovo ~ 10V. Takéto pomerne nízke napätie sťažuje samovoľné zhasnutie oblúka po skončení prepätia. Pri voľbe bleskoistky treba rešpektovať najmä :

- najmenšiu hodnotu zápalného napätia, ktorá musí byť vyššia, ako je maximálna hodnota prevádzkového napätia;
- najvyššiu hodnotu zápalného napätia, ktorá musí byť nižšia ako minimálna hodnota prepätia, ktoré môže znamenať nebezpečie pre chránené obvody;
- zhasacie podmienky bleskoistky, t.j. voľbou vhodných parametrov alebo zhasacích obvodov musí byť zabezpečené zhasnutie bleskoistky po skončení prepätia;
- nakoľko reakčný čas bleskoistky je pomerne veľký, väčšina bleskoistiek nie je schopná zachytiť veľmi krátke impulzy rádovo ~ 10ns.

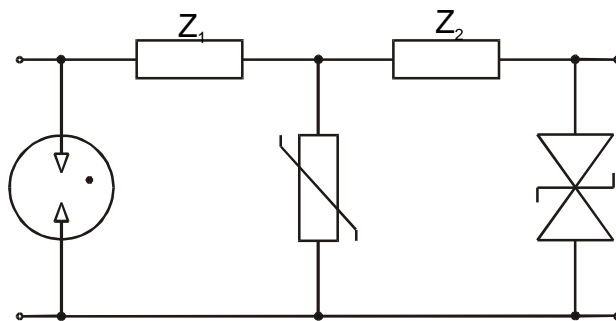
Varistor je nelineárny napätovo závislý polovodičový rezistor so symetrickou VA charakteristikou, ktorá na rozdiel od bleskoistky prepätie neskratuje, ale ho obmedzuje na určitú hodnotu takmer nezávislú na pretekajúcom prúde. V rozsahu pracovných hodnôt napätia má odpor varistora hodnotu rádovo $10^{12}\Omega$ a varistorom preteká len zanedbateľný prúd. Ak napätie na varistore prekročí hodnotu ochranného napätia, odpor prudko klesá na hodnotu veľkosti ~ 1 Ω , pričom varistor môže absorbovať značnú časť energie vysokonapäťových impulzov. Pri voľbe varistora treba dbať na :

- varistorové napätie, t.j. napätie pri ktorom varistorom preteká prúd 1mA a pri ktorom začína VA charakteristika prudko stúpať, musí byť väčšie ako maximálne prevádzkové napätie;
- výkonovú odolnosť varistora;
- pomerne veľká vlastná kapacita komplikuje ich použitie vo vysokofrekvenčných obvodoch, aj keď súčasne táto kapacita pôsobí ako filtračný prvok (paralelná kapacita odrušovacieho filtra LC);
- pri dlhodobej záťaži narastá ich zvodový prúd.

Zenerove diódy sa už dlhé roky používajú ako obmedzovače a stabilizátory. Oproti väčšine prepäťových prvkov sú iba unipolárne.

Supresorové diódy (TAZ-dióda, Transil, Tranzsorb) sú špeciálne kremíkové lavínové diódy, ktoré majú v porovnaní so Zenerovými diódami vyššiu prúdovú zaťažiteľnosť, kratší reakčný čas a schopnosť absorbovať väčšiu energiu. Ich hlavnou výhodou je veľmi rýchly reakčný čas, aj keď na druhej strane majú tiež pomerne veľkú vlastnú kapacitu. Vyrábajú sa ako bipolárne, alebo unipolárne.

Pretože neexistuje univerzálny ochranný prepäťový prvok, ochranné obvody sa zapájajú ako kombinované obvody tvorené kaskádnym zapojením viacerých ochranných prvkov do spoločného vedenia. Najdokonalejšou ochranou proti impulznému rušeniu je **trojstupňová ochrana** (obr.5)



Obr. 5. Zapojenie trojstupňovej ochrany

pozostávajúca z bleskoistky, varistora a supresorovej diódy. Pretože rýchlejšie prvky reagujú skôr ako výkonnejšie ale pomalšie, obmedzia tieto prvky napäťový impulz skôr, ako by stihla zapáliť napr. bleskoistka a môže dôjsť k ich preťaženiu. Z toho dôvodu sa jednotlivé stupne ochrany oddeľujú oddeľovacími impedanciami, ktoré sú tvorené buď sériovými indukčnosťami $< 20\mu\text{H}$ alebo odpormi $< 5\Omega$. Navyše kapacita ochranného prvku (napr. varistora) vytvára v kombinácii s týmito impedanciami filtračný člen.

Prepätie je možné obmedziť aj použitím dolnopriepustných filtrov. Ich použitie je vhodné preto, že neprepúšťajú oscilácie, ktoré vznikajú pri prepätí a ktoré zväčša prepäťové ochranné prvky neobmedzujú. Prepätie vzniknuté pri spínaní má najviac energie v pásme $\sim 100\text{kHz}$, môžeme teda povedať, že filter schopný potláčať pásmo $100\text{kHz} \div 30\text{MHz}$ o 40dB potláča dostatočne takéto rušenie. Prvky takéhoto filtra, však musia byť navrhnuté tak, aby odolali prepätiu.

Odrašovací prostriedky pre vedené rušenie (praktická časť)

1. Odmerajte frekvenčnú závislosť impedancie predložených pasívnych prvkov bežne používaných na filtrovanie vedeného rušenia. Zistite ich rezonančnú frekvenciu.
2. Odmerajte vplyv dlhých vývodov na frekvenčnú závislosť impedancie kondenzátora.
3. Odmerajte útlmové charakteristiky predložených keramických filtrov a porovnajte s útlmovou charakteristikou bežného LC – filtra.
4. Meraním útlmových charakteristík sieťového filtra WN 852 02 :
 - porovnajte tlmenie rozdielových a súhlasných rušivých signálov;
 - vyšetríte vplyv zaťažovacej impedancie filtra na jeho útlmovú charakteristiku;
 - vyšetríte vplyv kvality uzemnenia filtra na jeho útlmovú charakteristiku.
5. Na predložených prípravkoch trojstupňovej ochrany odmerajte a zakreslite :
 - priebeh impulzov zo simulátora impulzných porúch;
 - priebeh impulzov na výstupe trojstupňovej ochrany pri postupnom zaraďovaní všetkých ochranných prvkov.
6. Z nameraných priebehov zistite napätia, pri ktorých sa aktivujú jednotlivé ochranné prvky.

Meranie frekvenčnej závislosti pasívnych prvkov :

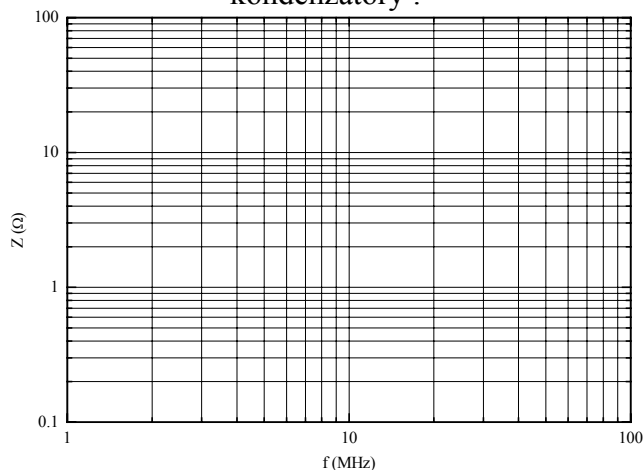
typ \ frekvencia (MHz)	1	3	10	30	60	100			
Tlmivka									
kondenzátor 100nF									
kondenzátor SMD 100nF									
kondenzátor 10nF – krátke vývody									
kondenzátor 10nF – dlhé vývody									

Rezonančné frekvencie meraných pasívnych prvkov :

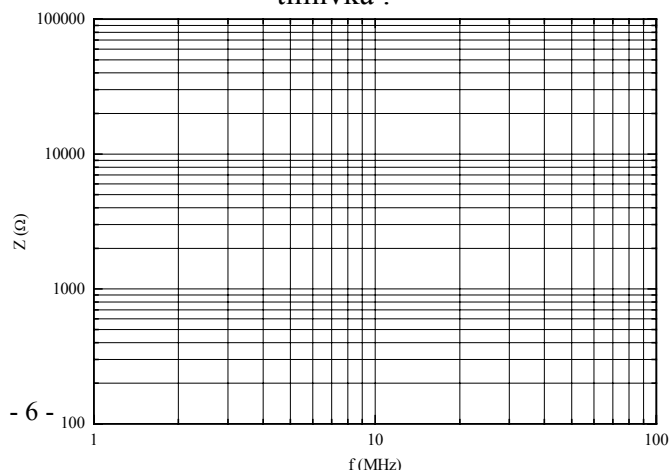
typ	f_{rez} (MHz)
Tlmivka	
Kondenzátor 100nF	
Kondenzátor SMD 100nF	
Kondenzátor 10nF - krátke vývody	
Kondenzátor 10nF - dlhé vývody	

Závislosť frekvenčnej závislosti impedancie pasívnych prvkov :

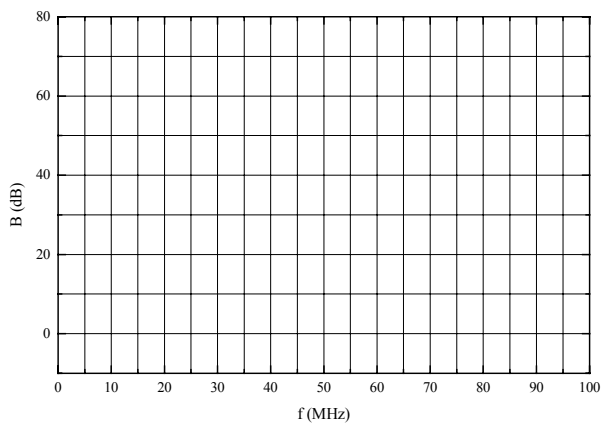
kondenzátory :



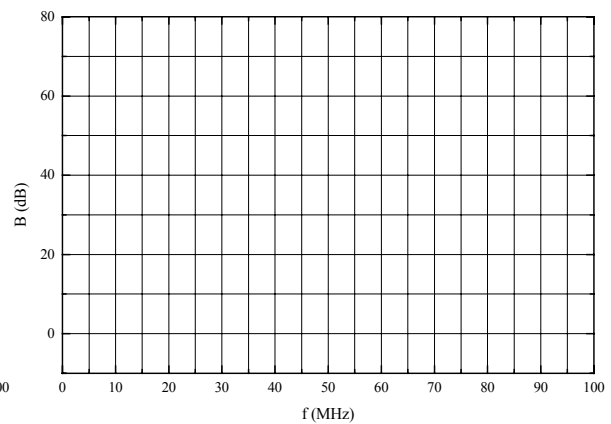
tlmivka :



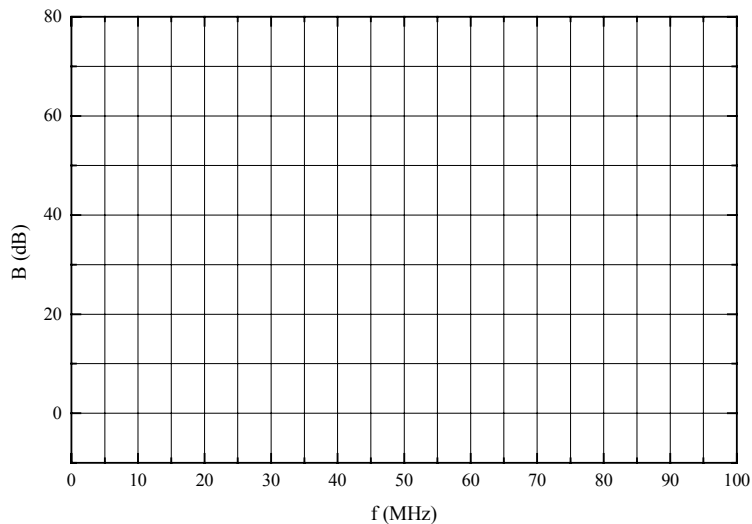
Porovnanie keramických filtrov s LC – filtrom :
keramické filtre :



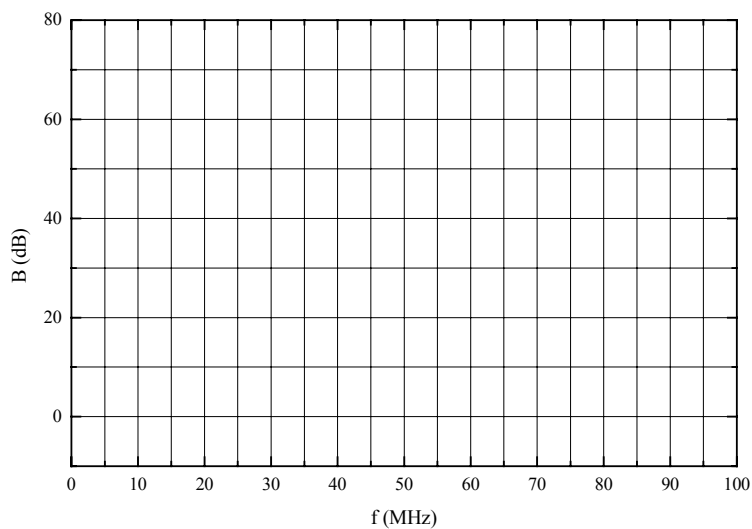
LC – filter :



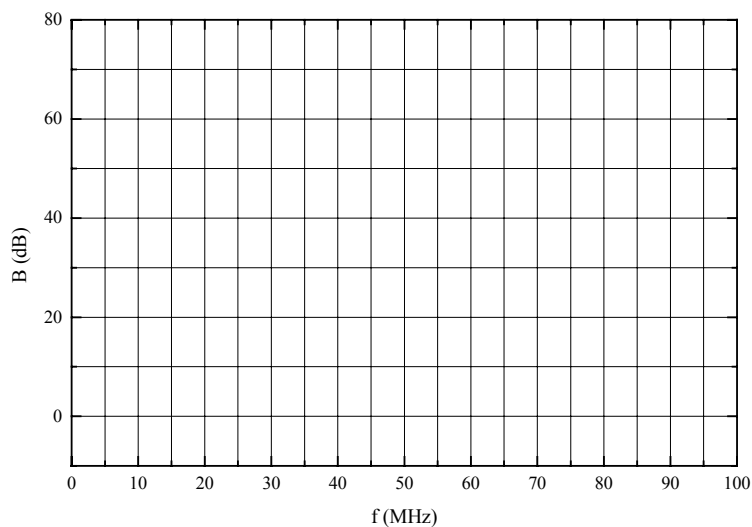
Porovnanie tmenia sieťového filtra pre rozdielový a súhlasný mód rušenia :



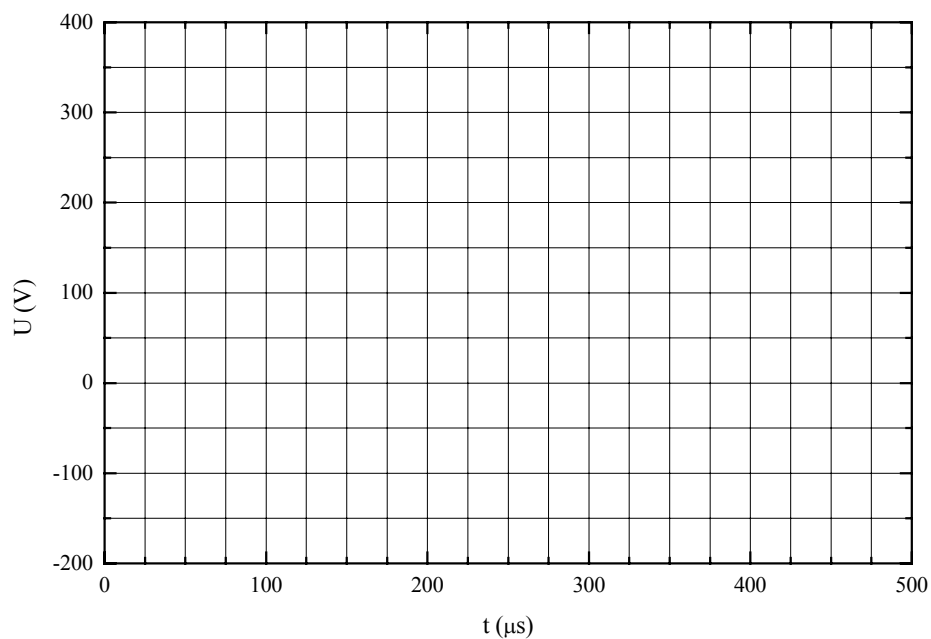
Porovnanie tmenia sieťového filtra pri rôznych zaťažovacích impedanciách :



Porovnanie tlmenia sieťového filtra pri dokonalom resp. nedokonalom uzemnení :



Namerané hodnoty priebehov impulzov pri trojstupňovej ochrane:



Napätia, pri ktorých sa aktivujú jednotlivé ochranné prvky :

prvok	U_{akt} (V)
bleskoistka	
varistor	
tranzil	

Poznanky pre budúcnosť :