

1. Cíle činnosti a základní opatření EMC, charakteristické parametry signálů

elektromagnetická kompatibilita (EMC)

= schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé), a naopak svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřipustně neovlivňovat své okolí, tj. nevyzařovat signály, jež by byly rušivé pro jiná zařízení

cíl

- zajistit současně správné funkce, tj. **koexistence** zařízení nebo systémů nacházejících se ve společném elektromagnetickém prostředí bez závažného ovlivňování jejich normálních funkcí
- trend – zvyšování výkonů
 - snižování parametrů v počítačové technice – menší čipy

Základní pojmy a členění oboru EMC

- problematiku EMC lze členit podle mnoha různých hledisek
- celkově lze EMC rozdělit na dvě hlavní oblasti:
 - o EMC biologických systémů
 - o EMC technických systémů a zařízení

A) EMC biologických systémů

- zabývá se celkovým „elektromagnetickým pozadím“ našeho životního prostředí a přípustnými úrovněmi rušivých i užitečných elektromagnetických signálů s ohledem na jejich vlivy na živé organismy
- biologické účinky elektromagnetického pole závisí na:
 - o jeho charakteru
 - o době působení
 - o vlastnostech organismu
- problematikou se zabývají výzkumná lékařská pracoviště s cílem posoudit odolnost lidského organismu vůči elektromagnetickým vlivům, mechanismy jejich působení apod.

B) EMC technických systémů

- zabývá se vzájemným působením a koexistencí technických prostředků, zejména elektrotechnických a elektronických přístrojů a zařízení
- *elektromagnetická kompatibilita není praktickou aplikací nějakých nových principů či postupů, ale je pouze specifickou aplikací obecných, základních a mnoha oblastem společných zákonů a principů* => koncepce a principy EMC lze vždy chápat jako jednu oblast praktické aplikace obecných principů elektrotechniky a elektroniky

úroveň vyzařování

= rušení generované samotným konkrétním spotřebičem či zařízením, měřené předepsaným způsobem a vyjádřené např. v [dBm] v závislosti na kmitočtu

mez vyzařování

- = maximální přípustná (tj. normou povolená) úroveň vyzařování daného zařízení
- rozdíl těchto úrovní vyjadřuje tzv. **rezervu návrhu** daného zařízení z hlediska EMI

úroveň odolnosti

= maximální úroveň rušení působícího na dané zařízení, při němž ještě nedojde ke zhoršení jeho provozu

mez odolnosti

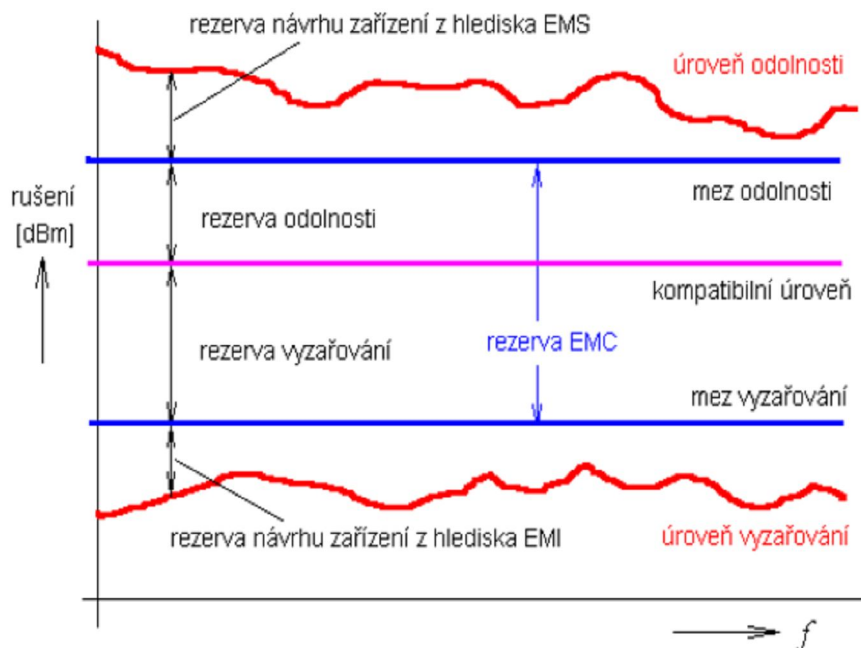
= nejnižší normou požadovaná úroveň odolnosti zařízení

- rozdíl těchto úrovní udává **rezervu návrhu** zařízení z hlediska jeho odolnosti
- rozdíl mezi odolností a vyzařováním určuje tzv. **rezervu (rozpětí) EMC** daného zařízení

kompatibilní úroveň

= maximální předepsané úrovně celkového rušení, o němž se předpokládá, že bude ovlivňovat přístroje či zařízení provozované v určitých podmínkách

- rozdíly mezi vyzařováním a odolností vůči této kompatibilní úrovni určují **rezervu (rozpětí) vyzařování** a **rezervu (rozpětí) odolnosti**



Problematika EMC člení do dvou základních skupin:

➤ Elektromagnetická interference (EMI)

- neboli elektromagnetické rušení
- = proces, při kterém se signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do rušených systémů
- zabývá se především identifikací zdrojů rušení, popisem a měřením rušivých signálů a identifikací parazitních přenosových cest
- kompatibility celého systému se dosahuje technickými opatřeními především na straně zdrojů rušení a jejich přenosových cest
- týká se hlavně **příčin rušení** a jejich odstraňování
- měření elektrických veličin (proud, napětí,...)

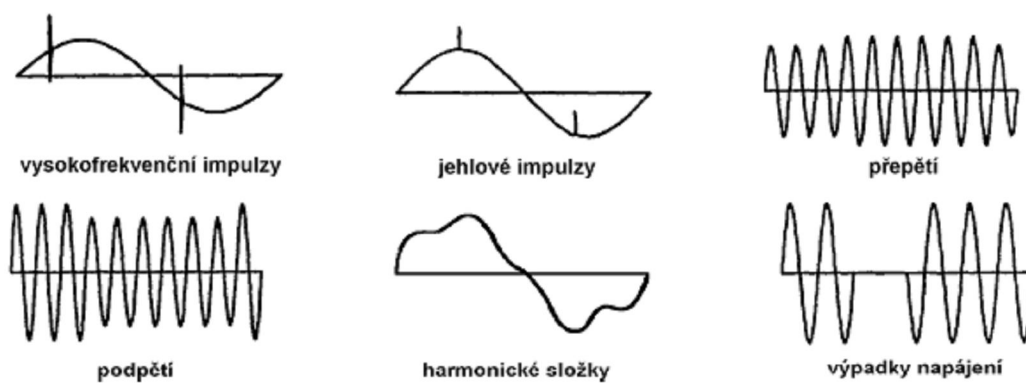
➤ Elektromagnetická susceptibilita či imunita (EMS)

- neboli elektromagnetická citlivost (na rušení) či odolnost (vůči rušení)
 - vyjadřuje schopnost zařízení a systému pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení
 - zabývá především technickými opatřeními, které zvyšují u objektu (příjímače rušení) jeho elektromagnetickou imunitu, tedy jeho odolnost proti vlivu rušivých signálů
 - týká se spíše odstraňování **důsledků rušení**, bez odstraňování jejich příčin
 - měření funkčních vlastností
- každé elektrotechnické zařízení je současně jak zdrojem elektromagnetického rušení, tak i jeho přijímačem pracujícím v určitém elektromagnetickém prostředí

2. Interní zdroje rušení (elektromagnetické procesy v technických systémech)

- ze **periodických spojitých rušivých signálů** jsou nejdůležitější harmonické složky kmitočtu napájecí sítě 50Hz → jsou produkovány generátory při výrobě elektrické energie → takto vzniklé harmonické složky vyvolávají na nelineárních impedancích sítě (např. na transformátorech s nelineární magnetickou charakteristikou) vznik dalších harmonických složek
- největší zdroje tohoto rušení:
 - o v průmyslu – polovodičové měniče velkých výkonů (produkují v napájecí síti harmonické kmitočty až do 30MHz)
 - o v neprůmyslové sféře – TV přijímače svým síťovým usměrňovačem

Druhy rušivých napětí v napájecí síti



- **v sítích VVN a VN**
 - o dochází k vysokofrekvenčním oscilacím při zapínání vlivem kapacity a indukčnosti spínacích vedení
 - o oscilace s kmitočtem až několik MHz => pro svůj vysoký kmitočet se snadno šíří kapacitními vazbami až do sítí NN
- **v sítích NN**
 - o vzniká rušení při činnosti stykačů a jističů, případně mechanických relé
 - o při přechodovém jevu rozpojování obvodu obsahujícího indukčnost dochází v okamžiku rozpojení kontaktů k rychlé změně (přerušení) - $\frac{di}{dt}$ => tím vzniká vysoké rušivé napětí $u = -L \cdot \frac{di}{dt}$, které leží celé mezi oběma kontakty spínače => mezi kontakty tak vznikne obloukový výboj a napětí na kontaktech klesne skokem k nule => tím výboj zhasne a mezi kontakty opět narůstá napětí (pokud jeho velikost překročí průraznou pevnost vzduchu mezi vzdalujícími se kontakty spínače, oblouk mezi kontakty se opět zapálí a celý děj se může opakovat několikrát za sebou)
 - o **burst** = rychle po sobě jdoucí ostré impulsní poruchy generované ve skupinách po větších časových intervalech (např. při každém rozpojení nebo spojení stykače)
 - o přepětí lze odstranit:
 - zajistíme-li pomalejší nárůst napětí mezi kontakty spínače (např. překlenutím kontaktů sériovým RC obvodem – pro střídavý proud má konečnou impedanci => z hlediska bezpečnosti není dokonalé odpojení)
 - použití standardních přepětíových ochran – diod a variátorů, popř. užití bezkontaktních elektronických spínačů (např. tyristorů či triaků)

- spínavé síťové zdroje

- síťové napětí 50Hz se transformuje na požadované (obvykle nižší) stejnosměrné napětí prostřednictvím pomocného harmonického napětí s kmitočtem řádu až stovek kHz
 - výrazně zmenšíme rozměry potřebných transformátorů
 - zvýší se účinnost zdroje
- X**
- výrazné vyzařování širokého spektra rušivých kmitočtů – mění se se změnami odběru v důsledku regulace výstupního napětí pulzní šířkovou modulací
- použití – pro napájení počítačů a další spotřební elektroniky

- venkovní elektrická vedení VVN a VN

- zdroje rušení se obtížně vyhledávají a ještě obtížněji se odstraňují
- rušivé spektrum od několika Hz až k 1000 MHz => může negativně ovlivnit provoz jakékoli radiokomunikační služby
- zdroj:
 - koronové výboje
 - jen u vedení VVN (110kV a více)
 - na nerovnostech vodičů, na armaturách a zařízeních rozveden
 - korona se podobá doutnavému výboji – spektrální složky nepřesahují 10MHz
 - velikost výbojů se zvyšuje za vlhka (intenzivnější slyšitelný praskot pod vedením VVN)
 - omezení – venkovní linky VVN vedou mimo obytná území
 - kapacitní výboje
 - typické pro vedení VN 22kV
 - vznikají nedokonalým spojením kovových předmětů, které se nachází v těsné blízkosti části vedení pod napětím (*především kovové kloubové spoje závěsných izolátorů – po překročení dielektrické pevnosti izolační vrstvičky či její mechanické narušení dojde k jiskrovému výboji*)
 - kmitočtové spektrum až k 1000MHz
 - za suchého počasí je rušení větší, za vlhka někdy i zcela vymizí
 - lze odstranit pouze použitím jiné konstrukce izolátorů bez závěsného kloubu

- elektrické výboje

- např. u zářivek a osvětlovacích či jiných výbojek
- startéry zářivek se přemost'ují odrušovacími kondenzátory – zkratují vysokofrekvenční složky vznikající při rozpojování startérového kontaktu
- šíření do napájecí sítě omezuje tlumivka

- zapalovací obvody zážehových spalovacích motorů

3. Externí zdroje rušení (bleskový výboj, elektrostatický výboj, nukleární elektromagnetický pulz)

Zdroje rušení

- **přírodní** – Slunce, kosmos, elektrické procesy v atmosféře
 - **umělé** (technické) – zdroje vzniklé lidskou činností – el. motory, výroba a přenos el.energie
-
- **funkční**
= zdroje, které jsou základem funkce jednoho systému (např. sdělovací signály vysílačů) a přitom mohou ovlivnit základní funkce jiného systému a být vůči němu rušivé
 - **nefunkční** (parazitické)
= zdroje, které při svém provozu produkují parazitní (nežádoucí) rušivá napětí či pole
-

dělení dle časového průběhu:

- **impulsní**
 - má charakter časové posloupnosti jednotlivých impulzů nebo přechodových jevů (např. blesk)
 - **spojité**
 - působí kontinuálně (nepřetržitě) na rušené zařízení (např. sinusový signál (vysílače))
 - **kvaziimpulsní**
 - kombinace obou (motory – generátory)
-
- **nízkofrekvenční**
 - energetické (do 2kHz) - způsobuje hlavně zkreslení (deformaci) napájecího napětí a odebíraného proudu energetických sítí
 - např. ovládací a sdělovací systémy, osvětlení, stroje,...
 - akustické (do 10kHz) - negativně ovlivňuje funkci přenosových informačních systémů jako jsou telefony, rozhlas, měřicí a řídicí zařízení, komunikační a informační soustavy apod.
 - toto rušení generují prakticky všechny energetické zdroje, dále systémy číslicového přenosu dat, radary apod.
 - **vysokofrekvenční**
 - radiové - v pásmu od 10 kHz do 400 GHz
 - ke zdrojům radiového rušení patří prakticky všechny existující interferenční zdroje, neboť jejich rušivé signály sahají prakticky vždy až do těchto kmitočtových oblastí.
-

dělení dle šířky kmitočtového spektra:

- **úzkopásmové** – rozhlas, TV
- **širokopásmové** – většina průmyslových a přírodních rušivých signálů

klasifikace umělých rušivých signálů:

šum (angl. „noise“ *N*)

- rušivé signály ovlivňující především tvar užitečného signálu (např. napájecího napětí)
- má obvykle periodický charakter

impulzy (angl. „spikes“ *S*)

- rušivé signály impulsního charakteru s velkým poměrem velikosti impulzů k době jejich trvání
- na užitečný signál se superponují jako kladné či záporné „špičky“
- příčinou jejich vzniku – pochody při kontaktním spínání elektrických či energetických obvodů a soustav

přechodné jevy (angl. „transients“ *T*)

- náhodné jednorázové rušivé signály s dobou trvání od několika ms do několika sekund
- příčinou jejich vzniku – např. v energetické síti jsou náhlé změny jejího zatížení při zapínání a vypínání spotřebičů velkých výkonů

ESD – elektrostatický výboj – všude tam, kde je tření

SEMP - elektromagnetický impulz vznikající při spínacích či vypínacích pochodech

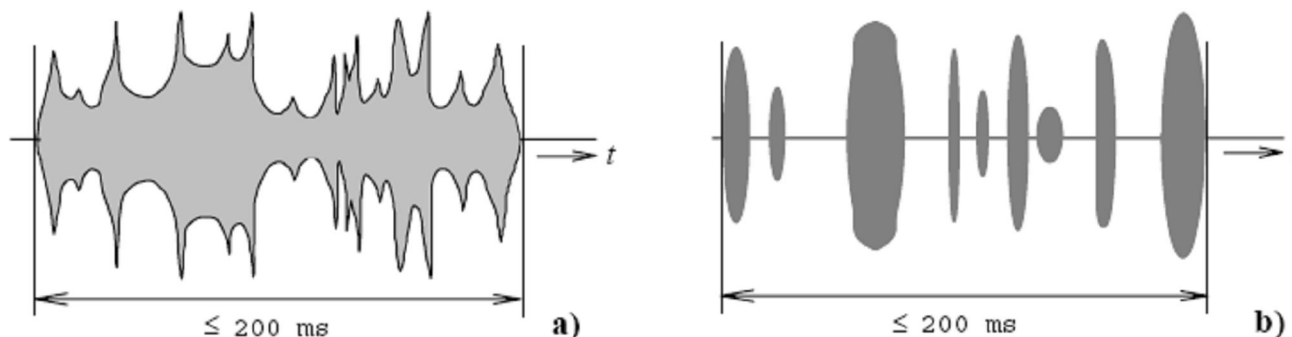
LEMP – elektromagnetický impulz blesku

NEMP – elektromagnetický impulz vyvolaný jaderným výbuchem

mžikovou (impulzní) poruchu

= porucha s dobou trvání ne delší než 200 ms, která je oddělena od následující mžikové poruchy nejméně o 200 ms

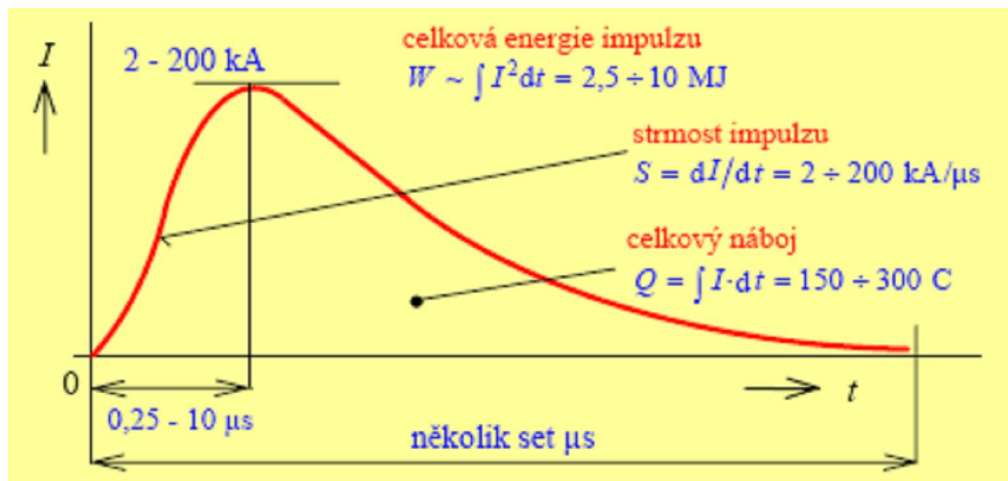
- může se skládat z nepřerušené řady impulzů nebo seskupením jednotlivých impulzů kratších než 200 ms s celkovou dobou od počátku prvního do konce posledního impulzu kratší než 200 ms



- zařízení s diskrétními součástkami snesou přepětí až několik kV
- integrované obvody (s počtem součástek až několik miliónů na čipu) jsou poškozeny napětí od několik V při mizivě malé energii přepětí
- stále vyšší rychlost polovodičových součástek je důsledkem jejich reakce na stále kratší rušivé signály => rostoucí citlivost moderních součástek vůči rušení je daň placená technickému pokroku
- zdroje napětového přepětí lze podle jejich původu rozdělit na 2 skupiny – přírodní zdroje a zdroje umělé vytvořené lidskou činností

A) Bleskový výboj

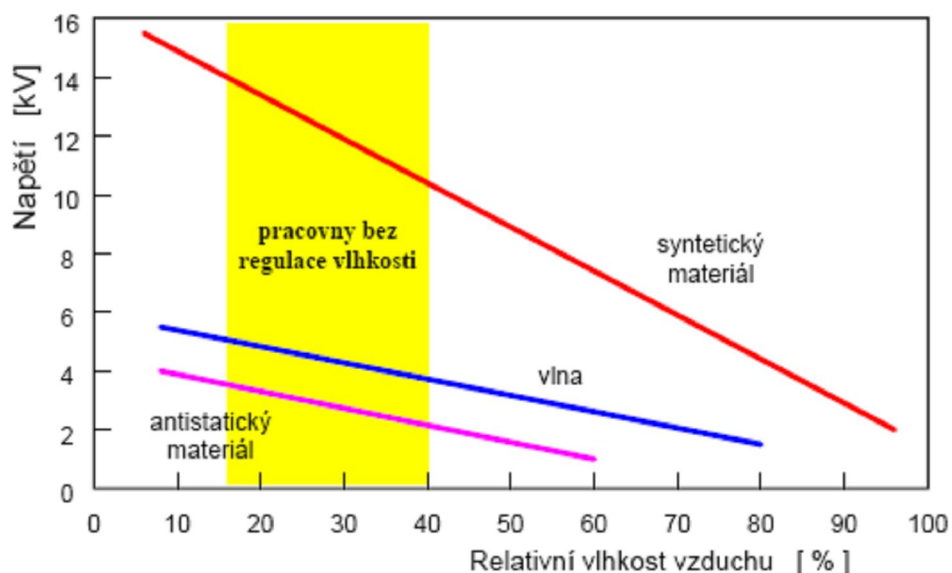
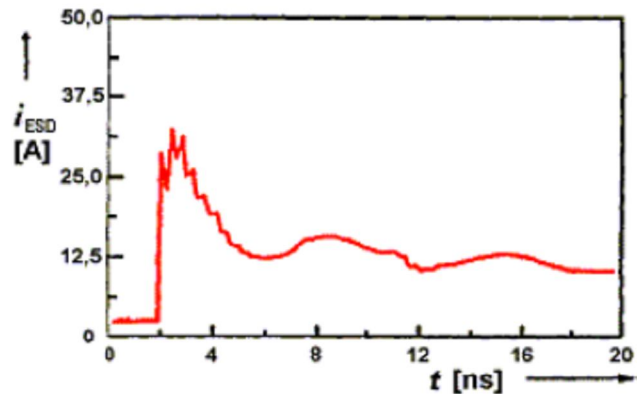
- nejdůležitějším a nejsilnějším přírodním zdroje přepětí
- úder blesku ohrožuje elektrická a elektronická zařízení až do vzdálenosti cca 4km
- blesk způsobuje vznik strmého elektromagnetického impulsu => **LEMP** (Lightning Electromagnetic Pulse)
- na zasažená i vzdálenější zařízení má rušivé až destruktivní účinky
- velikost proudu – až 200kA
- produkuje rušení o hodnotě až 140 dB μ V v pásmu 2-30 kHz
- úroveň rušení klesá se strmostí 20dB/dek až do kmitočtu cca 100MHz
- kromě silného magnetického pole indukuje v síťovém rozvodu budovy sekundární napětové rázy



- **bleskový impuls**
 - o velká strmost náběžné hrany (jednotky μs)
 - o pomalejší pokles (stovky μs) – závisí na velikosti náboje blesku
- nepřímý účinek blesku spočívá v zavlečení napětového rázového impulsu z vnějšího vedení nízkého, příp. i vysokého napětí do vnitřního síťového rozvodu budovy
- **důležité**
 - o na vstupu budovy nainstalována primární přepět'ová ochrana (bleskojistky, variátory)
 - o budova vybavena dokonalým zemnicím systémem

B) Elektrostatický výboj

- k umělým zdrojům přepětí patří lokální elektrostatický výboj => **ESD** (Electrostatic Discharge)
- všude, kde se vyskytuje třecí pohyb mechanických částí (kovových nebo dielektrických – pevných, kapalných i plynných)
- energie je velmi nízká (menší než 10mJ)
 - o ekvivalentní kapacita těla 100 – 200 pF
 - o odpor „vybíjecí“ paže člověka 100Ω až 2kΩ
 - o napětí výboje 15kV
- impulz vybíjecí proudu – velký a velmi rychlý
- vybíjecí proud ESD tvarově velmi podobný bleskovému proudovému impulzu, ale s výrazně odlišnými kvantitativními parametry
- napěťová úroveň jednotky až desítky kV – velmi nebezpečná pro elektronické prvky a zařízení
- největším provozním nebezpečím – elektrostatický výboj vznikající na osobách při chůzi, pohybu končetin či tření o oděv -> osoba může dosáhnout napětí proti zemi 5 – 15kV
- vznik elektrostatického výboje za podmínek:
 - o pracovníci obsluhující elektronické přístroje mají nevhodné oblečení z hlediska vzniku vysokého elektrostatického napětí – oděv ze syntetických tkanin
 - o povrchy stolů, židlí i podlahová krytina z umělých hmot s vysokým izolačním odporem
 - o nízká vlhkost vzduchu v místnosti



- v zimních měsících klesá vlhkost v obytných prostorech pod 40% a napětí elektrostatického výboje může dosáhnout až 15kV
- **lze zabránit**
 - o klimatizací s řízenou vlhkostí
 - o použití antistatických materiálů podlah a čalounění
 - o přírodní materiály oděvů (např. vlna)

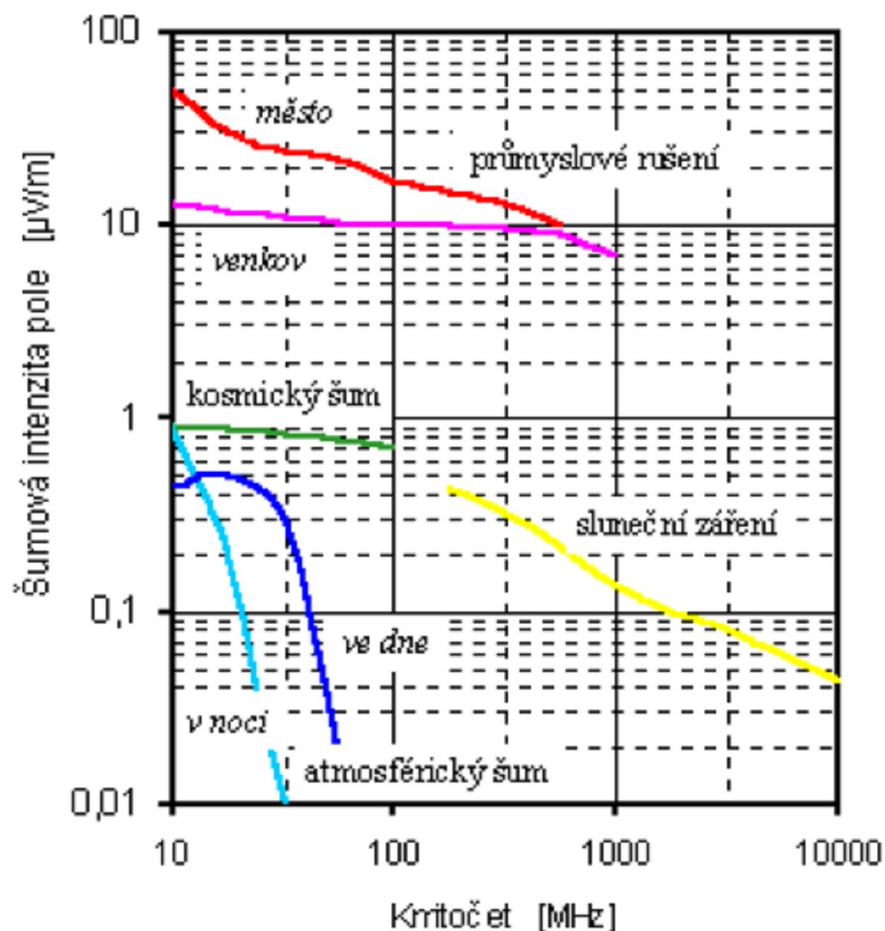
C) Nukleární elektromagnetický impuls

- **NEMP** (Nuclear Electromagnetic Pulse)
- doprovodný jev jaderného výbuchu
- velmi strmý výkonový impuls
- účinky jsou destruktční pro všechna okolní elektrotechnická zařízení
- dosah závisí na typu jaderné nálože a výšce její exploze nad zemí
- impuls je tvarově podobný impulsu blesku (LEMP) s odlišnými parametry

	$E_{\max}$ [kV/m]	$H_{\max}$ [A/m]	Náběžná hrana [ns]	Kmitočtové spektrum	Dosah účinku
LEMP	10 ÷ 100	100 ÷ 1000	100 ÷ 10000	1 kHz ÷ 5 MHz	jednotky km
NEMP	30 ÷ 100	100 ÷ 1000	5 ÷ 8	0,1 ÷ 100 MHz	stovky až tisíce km

rušení mimozemského původu

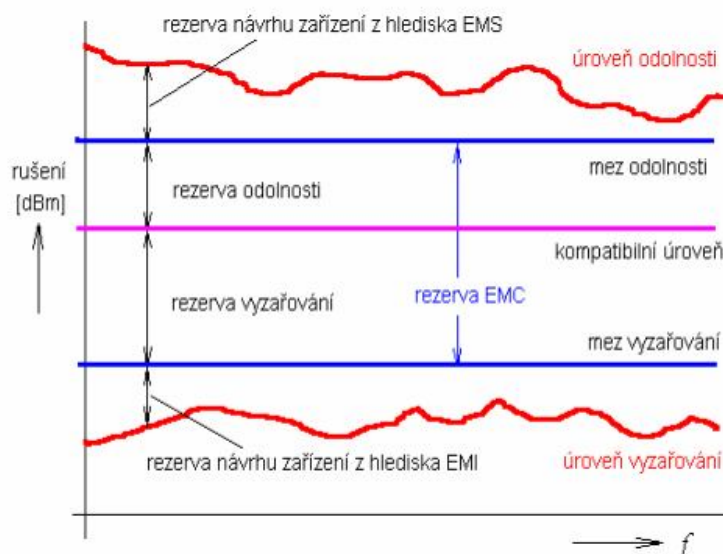
- především působení Slunce – **vlivem**
 - erupcí ve fotosféře
 - protuberancí v chromosféře
 - koronové výboje
- vysílá k Zemi tzv. „**sluneční vítr**“ nukleárních částí
 - při srážce s ionty a molekulami zemské atmosféry tvoří **geomagnetické bouře**, které způsobují silná magnetická rušení v širokém pásmu kmitočtů



4. Technická, ekonomická a organizační opatření k zajištění EMC el.zařízení, prohlášení o shodě

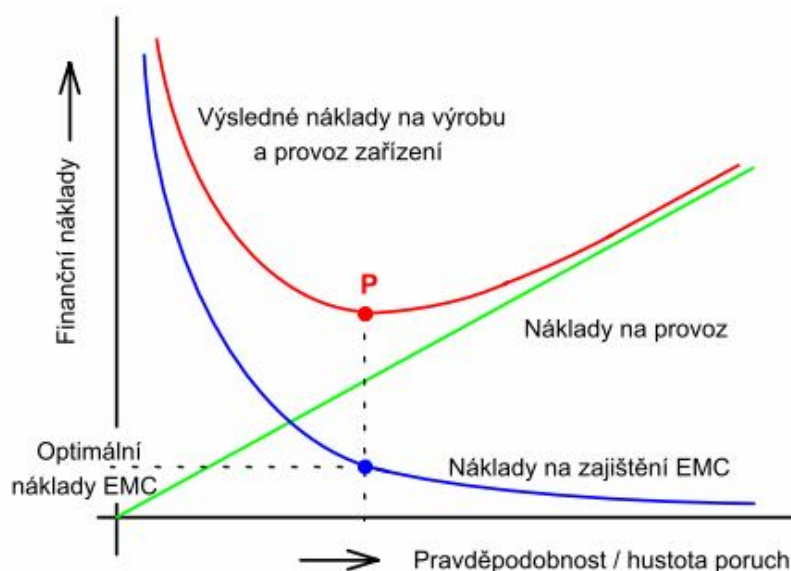
Technické aspekty EMC

- aby zkoušené zařízení vyhovělo požadavkům EMC, musí být:
 - o jeho úroveň vyzařování vždy nižší než mez vyzařování
 - o úroveň odolnosti zařízení větší než mez jeho odolnosti
- konkrétní velikosti rezervy EMI a EMS nejsou předepsány → záleží na výrobcí
 - o pokud jsou zvoleny velké → vysoké náklady na odrušení (zbytečné)
 - o pokud jsou zvoleny malé → riziko, že nevyhoví zkouškám EMC a budou dodatečně odrušovány => náklady



Ekonomické aspekty EMC

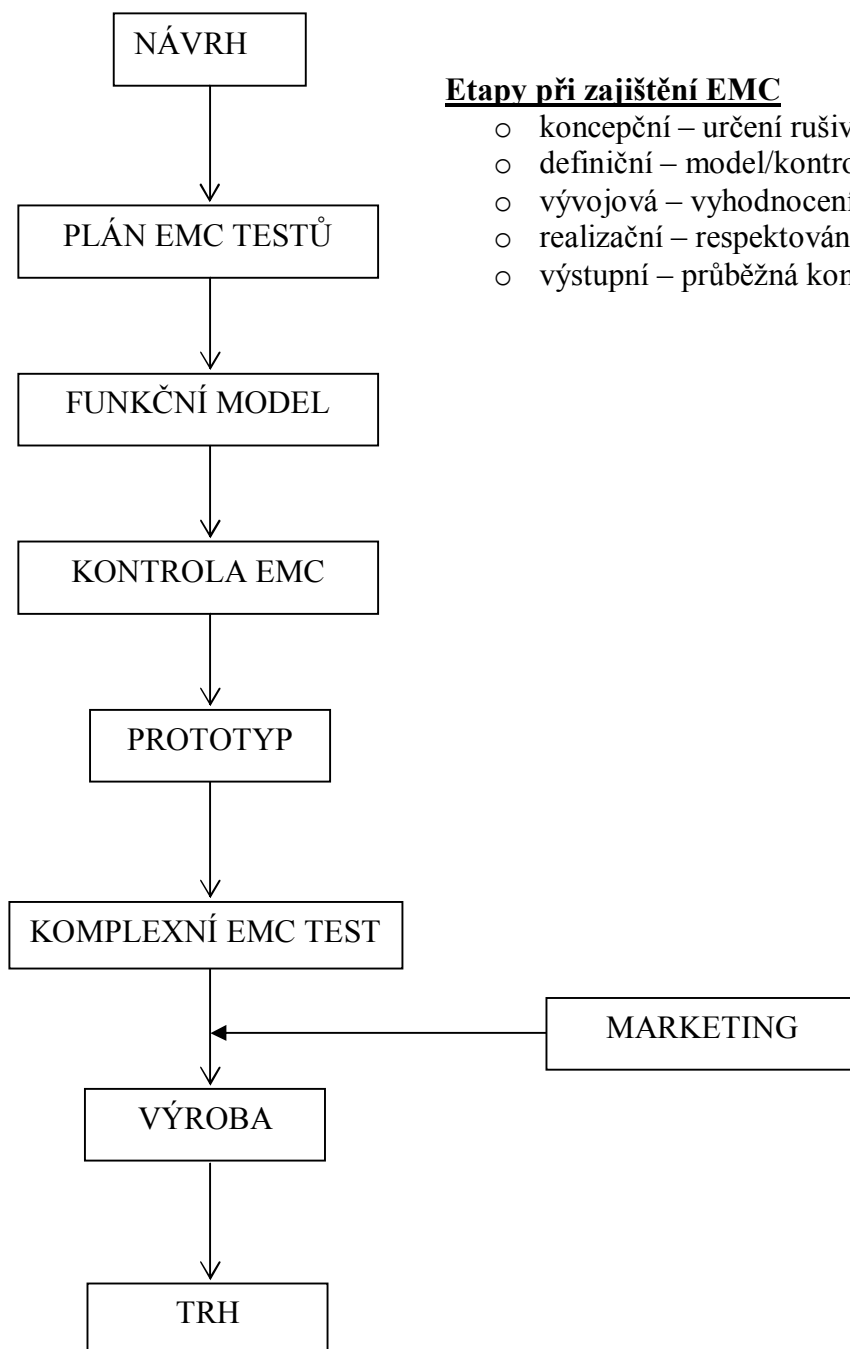
- u běžného výrobku cena hraje velkou roli
- celkové náklady – minimum v bodě P → tolik dáme na zajištění EMC
 - o investice do EMC volit tak vysoké, aby celkové náklady dosáhly právě této minimální hodnoty
 - o nelze vypočítat – lze se jen opřít o zkušenosti z vývoje, výroby a provozu konkrétních zařízení
 - o náklady na EMC – (2 – 10)% z celkových nákladů → sledováním od samého začátku vývoje zařízení lze snížit dokonce pod 1%



Princip zajištění EMC

- omezení úrovně rušení → eliminace: u zdroje, na přenosové cestě, v objektu rušení
- zvýšení odolnosti proti rušení
 - prostorové uspořádání
 - zemnění, stínění
 - odrušovací prvky – tlumivky, kondenzátory
 - omezovací přepětí – přepětňové ochrany

- důležité je EMC v celku – při skládání částí EMC nemusí být celek taky EMC
- spolupráce výrobce - zákazník



Etapy při zajištění EMC

- koncepční – určení rušivých vlivů
- definiční – model/kontrola
- vývojová – vyhodnocení změn pomocí kontroly EMC
- realizační – respektování všech předchozích poznatků
- výstupní – průběžná kontrola během vývoje

- otázka EMC se v ČR řeší vládním nařízením
- význam legislativy EMC:
 - o technický (parametr)
 - o všeobecný s právním dopadem

Směrnice Rady EU č.89/36/EEC

- stále rostoucí nebezpečí vzájemného elektromagnetického rušení vedlo státy EU v roce 1985 k ustanovení komise
 - o **cíl** - sjednotila a současně zpřísnit požadavky
 - na odrušení potenciálních zdrojů elektromagnetického rušení
 - na odolnost elektrických zařízení vůči tomuto rušení
- na základě práce této komise – **1989 směrnice č. 89/336/EEC - *Směrnice o sbližování zákonů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility***
 - o 1992 – věcné a časové upřesnění další Směrnicí Rady EU č. 92/31/EEC
- směrnice byla v každém státě Evropské unie přeložena do národního jazyka a schválena vládami jako **zákon platný od 1. 1. 1996**
 - o od toho dne musí zboží prodávané na evropských trzích tuto směrnici respektovat => každý výrobce, distributor či prodejce musí prokázat, že jeho výrobek je s uvedenou Směrnicí v souladu, tedy že splňuje tzv. **harmonizované evropské normy EN pro oblast EMC** vydávané Evropským výborem pro normalizaci v elektrotechnice CENELEC → **Prohlášení o shodě**
 - o značka dokládá, že výrobek vyhovuje požadavkům, které jsou na něj kladeny podle všech závazných předpisů vztahujících se k tomuto výrobku ve smyslu požadavků na bezpečnost, ochranu před nebezpečným napětím, EMC, hygienu, ochranu životního prostředí,...
- Směrnicí č. 89/336/EEC tvoří 13 článků a 3 přílohy



Zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky

- vznikl v souvislosti se vstupem ČR do EU
- nabyl účinnosti dnem 1.9.1997
- novelizován a doplněn zákonem č. 71/2000 Sb.
- na tyto zákony navázala řada vládních nařízení ve formě prováděcích vyhlášek k jejich praktickému zajištění – nejdůležitější:
 - o technických požadavcích na elektrická zařízení nízkého napětí (168/1997Sb.)
 - o vybraných výrobcích k posuzování shody (173/1997Sb.)
 - o grafické podobě české značky shody **CCZ**, jejím provedení a o jejím umístění na výrobku (179/1997Sb.)
 - o **technických požadavcích na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility (vládní nařízení č.169/1997 Sb.)**
 - o pojem „stanovený výrobek“
 - výrobek, o němž výrobce či dovozce musí vydat prohlášení o shodě s příslušnými technickými předpisy a
 - přístroj či zařízení, které potenciálně může způsobovat elektromagnetické rušení nebo jehož funkce může být podobným rušením ovlivněna
 - po úspěšné certifikaci musí být stanovený výrobek před svým uvedením na trh označen českou značkou shody



5. Přehled normalizace v oblasti EMC

- základní normy kritéria pro EMC určitého zařízení předepisují nepřekročení určitých mezí emisních hodnot produkovaných rušivých signálů a na druhé straně předepisují určitý stupeň imunity každého zařízení vůči rušení
- **normy rušivého vyzařování** ← normy pro EMI
 - o mezní hodnoty rušivého vyzařování
 - o měřicí metody pro měření EMI
- **normy elektromagnetické odolnosti** ← normy pro EMS
 - o mezní (min.) hodnoty odolnosti
 - o zkušební metody pro testování EMS
- **normy pro odrušovací prostředky**
 - o vlastnosti odrušovacích prostředků
 - o zkoušky pro měření odrušovacích prostředků

IEC - Mezinárodní elektrotechnická komise

- vytváří všechny normy a předpisy pro EMC
- je zařazena pod ISO (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
- v rámci IEC se otázkami elektromagnetické kompatibility zabývá především specializovaný výbor pro rádiovou interferenci (CISPR)
 - o vznikl v 60. letech minulého století pro ochranu rádiového a televizního vysílání
 - o dnes jedna z nejvýznamnějších mezinárodních autorit v celé oblasti EMC
 - o v současnosti je hlavně orientovaná do oblasti elektromagnetického rušení od zařízení informační techniky
- je členěna do technických komisí (TC)
 - o TC41; TC65; TC77

EN - Evropské normy

- připravuje je:
 - o CEN – Evropská komise pro normalizaci
 - vytvořena z normalizačních organizací všech členských států EU a ze států Evropského sdružení volného obchodu EFTA
 - o CENELEC – Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice

ČNI - Český normalizační institut

- TNK47 → EMC
- reviduje normy ČSN a harmonizuje je s IEC a EN → ČSN IEC; ČSN EN

ITU - Mezinárodní telekomunikační unie

- spolu s poradními výbory CCIR CCIT se zabývají EMC v oblasti radiokomunikačních a telekomunikačních systémů a řízení
- svá stanoviska publikuje jako tzv. doporučení

ETSI - Evropský institut pro normalizaci v telekomunikacích

- vydává vlastní normy pro oblast spojů
- normy EMC v ETSI zpracovává technická komise TC-EE-4 pod označením ETS

Civilní normy

- v rámci CENELEC se otázkami EMC zabývá technická komise TC 110
- na základě dohody přebírá tato komise od IEC již existující mezinárodní normy beze změn
- druhy norem dle jejich charakteru:
 - základní
 - definují problematiku EMC a určují základní všeobecné podmínky pro dosažení EMC u libovolného technického produktu
 - žádné konkrétní meze rušení či meze odolnosti
 - kmenové
 - specifikují minimální soubor požadavků (pro vyzařování i pro odolnost) a testovacích metod EMC pro všechna technická zařízení pracujících v určitých typech elektromagnetických prostředích (obytná prostředí, průmyslová prostředí, speciální prostředí, apod.)
 - předmětové
 - či normy výrobků nebo normy skupin výrobků
 - definují detailní požadavky testovacích metod EMC pro jednotlivé výrobky a skupiny podobných výrobků a zařízení
 - mohou být použita na následující skupiny výrobků:
 - spotřebiče pro domácnost, kancelářské stroje a přístroje, přenosné elektrické nářadí a podobné elektrické přístroje,
 - průmyslová zařízení,
 - zařízení informační techniky (ZIT) a telekomunikační zařízení,
 - televizory a podobná zařízení,
 - dopravní a přepravní zařízení,
 - lékařská zařízení,
 - měřicí a testovací zařízení.
- **závazné**
 - mají charakter zákona
 - Směrnice Rady EU č.89/336EEC
 - Normy z Federální komunikační komise FCC (USA)
- **doporučené**
 - mají charakter doporučení
 - Normy profesních zájmových organizací (např. IEEE)
 - Normy výrobních organizací a sdružení

Vojenské normy

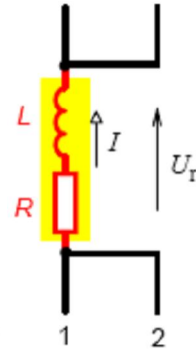
- první normy v oblasti EMC – z nich pak normy civilní
 - velmi propracovaná soustava norem EMC → MIL-STD – v Americe
 - prostřednictvím NATO se tyto normy rozšířily do západní Evropy a byly převzaty jejími armádami
 - **Hlavní rozdíly vůči civilním normám:**
 - použití **detekce špičkových hodnot** (*peak detection*) pro měření a vyhodnocení elmag. rušení (civilní normy používají detekci kvazi-špičkových hodnot dle metodiky CISPR).
 - obvykle **nižší** povolené mezní hodnoty elmag. **vyzařování**.
 - obvykle **vyšší** požadované úrovně elmag. **odolnosti**.
- obvykle **širší kmitočtový rozsah** měření a testování.

6. Elektromagnetické vazby, přehled

- jsou prostředkem předání rušivého signálu
- pokud se nám nepodaří ovlivnit vysílač ke snížení signálu a zvýšit odolnost přijímače, pak zajištění EMC spočívá na vazbě → tu ovlivňujeme již při návrhu

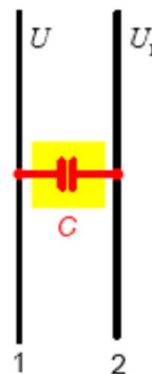
Galvanická vazba

- čistá vazba
- zdroj a objekt vázán společnou impedancí
- nf (kHz) – impedance má odporový a zčásti induktivní charakter
- vf – impedance má induktivní charakter



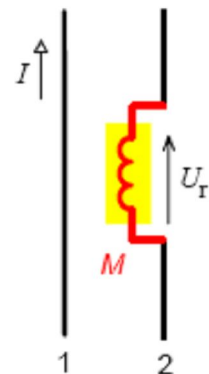
Kapacitní vazba

- je způsobena existencí parazitních kapacit mezi
 - o vodiči
 - o jednotlivými částmi obvodů
 - o částmi konstrukce
- kapacitou ovlivňujeme elektrické pole
- velká vnitřní impedance
- zmenšení kapacitní vazby
 - o stínění vodičů
 - o zamezení souběžnosti vodičů



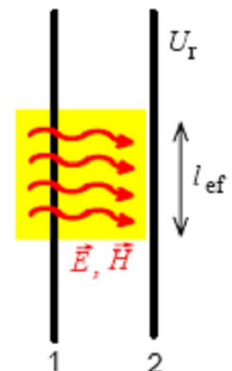
Induktivní vazba

- obvody
 - o s malou impedancí (malé proudy)
 - o se společným magnetickým tokem (trafa)
- způsoby omezení
 - o délka souběžně probíhajících vodičů obou obvodů minimální
 - o vzdálenost obou obvodů co největší
 - o velikost proudové smyčky rušeného obvodu co nejmenší
 - o stínění obvodu přijímače
 - o kolmé natočení vazebních smyček
 - o zkroucení vodičů obvodu přijímače
 - o pomocí závitu K nakrátk



Vazba vyzařováním

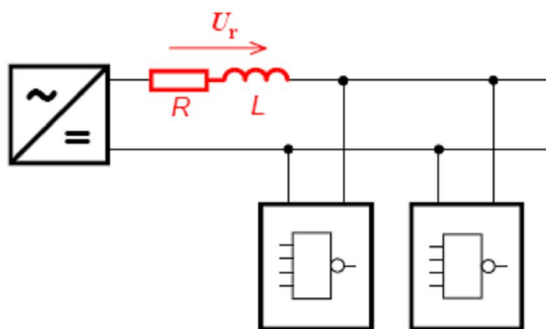
- při větších vzdálenostech mezi zdrojem a přijímačem rušení je vyloučena kapacitní a induktivní vazba => vzájemná vazba objektů vyzářeným elektromagnetickým polem
- omezení vazby
 - o stínicí kryt či překážka umístěná mezi zdroj a přijímač rušení
 - absorpce
 - odraz



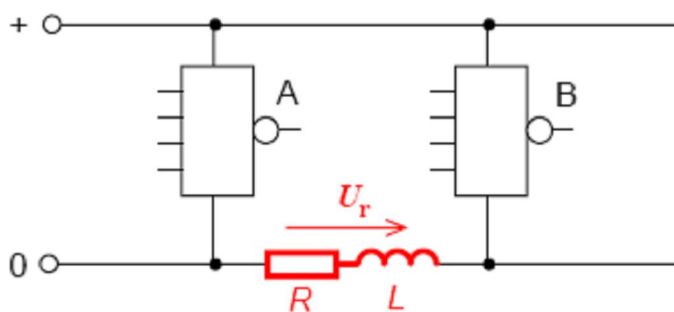
7. Galvanická vazba - princip, eliminace

= vazba se společnou impedancí

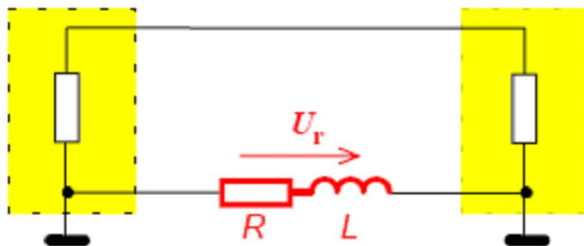
- vazba dvou elektrických systémů či bloků – jejich proudové smyčky se uzavírají společnými úseky spojovacích vedení => přes společnou impedanci
- impedance – nejčastěji charakter sériového obvodu RL
 - o vnitřní impedance společného napájecího zdroje



- o vnitřní impedance společného přívodu řídicích obvodů

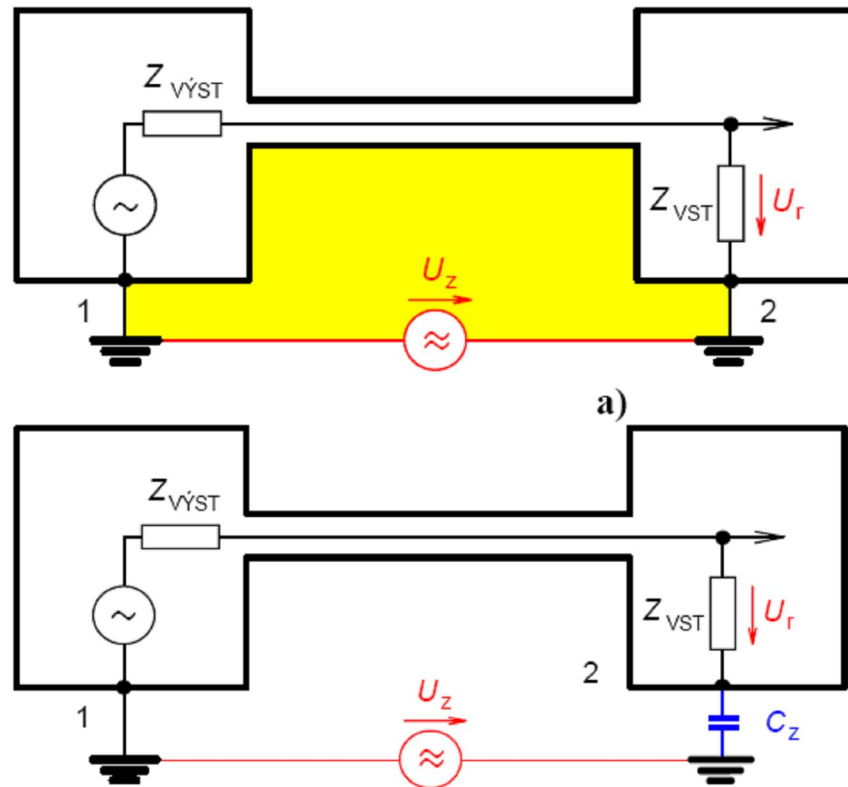


- o vnitřní impedance společného zemnicího systému



zemní smyčka

- vzniká v případě separátního zemnění ve dvou různých bodech
- vlivem náhodilých (bludných) zemnicích proudů vzniká mezi těmito body náhodilé rušivé zemní napětí $U_z \Rightarrow$ toto napětí vyvolá na vstupu spotřebiče rušivé napětí U_r
- zmenšení rušivého napětí
 - o zvětšit celkovou impedanci zemní smyčky
 - o zvýšit útlum smyčky
 - o zcela rozpojit smyčku

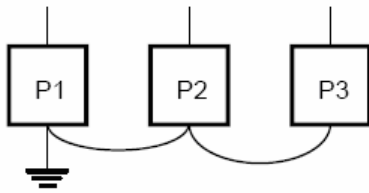


- útlum „rozpojené smyčky“ na nízkých kmitočtech je velmi vysoký - s rostoucím kmitočtem se zmenšuje až na hodnotu galvanicky uzavřené smyčky

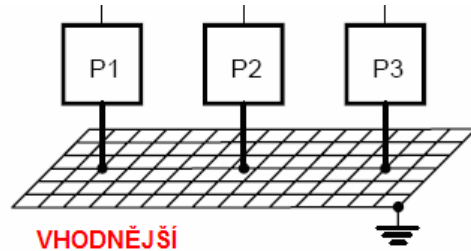


omezení galvanické vazby

- společný zemnicí vodič – zemnicí plocha

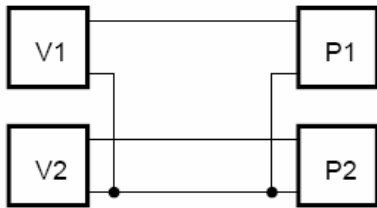


NEVHODNÉ

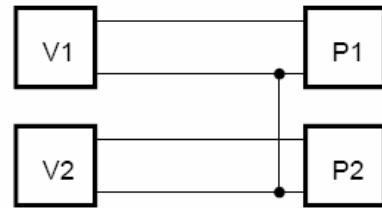


VHODNĚJŠÍ

- neslučovat společný vodič u signálových vodičů

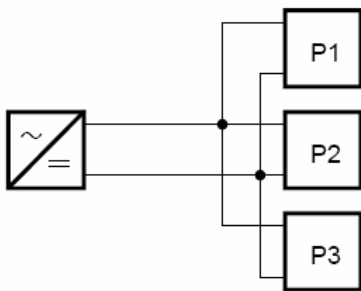


NEVHODNÉ

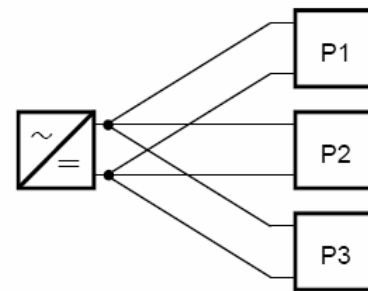


VHODNĚJŠÍ

- nevytvářet společné části napájecích přívodů k jednotlivým blokům

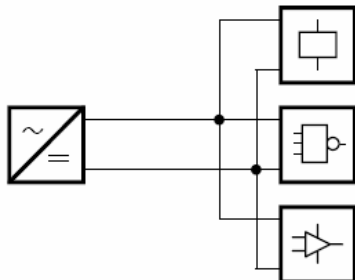


NEVHODNÉ

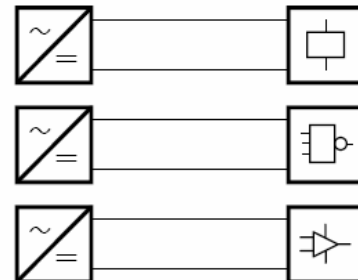


VHODNĚJŠÍ

- elektronická zařízení různých technologií vybavit samostatnými napájecími zdroji

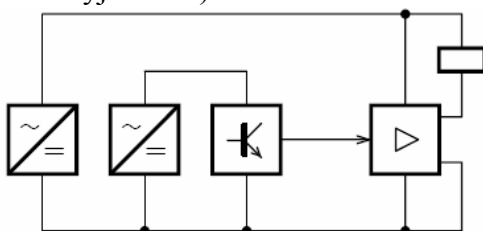


NEVHODNÉ

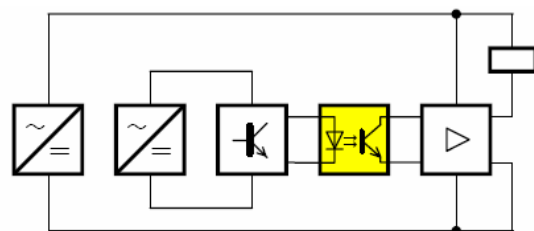


VHODNĚJŠÍ

- galvanicky oddělit např. funkčně související signálové a výkonové obvody jednoho zařízení (zcela výjimečně)



NEVHODNÉ



VHODNĚJŠÍ

8. Kapacitní vazba - princip, eliminace

- způsobena existencí parazitních kapacit mezi
 - o vodiči (rušícím a rušeným)
 - o jednotlivými částmi obvodů či konstrukce zařízení
- parazitní kapacita
 - o vytváří elektrické pole, které existuje mezi každými dvěma vodiči s různým potenciálem
 - o existuje velké množství různých variant

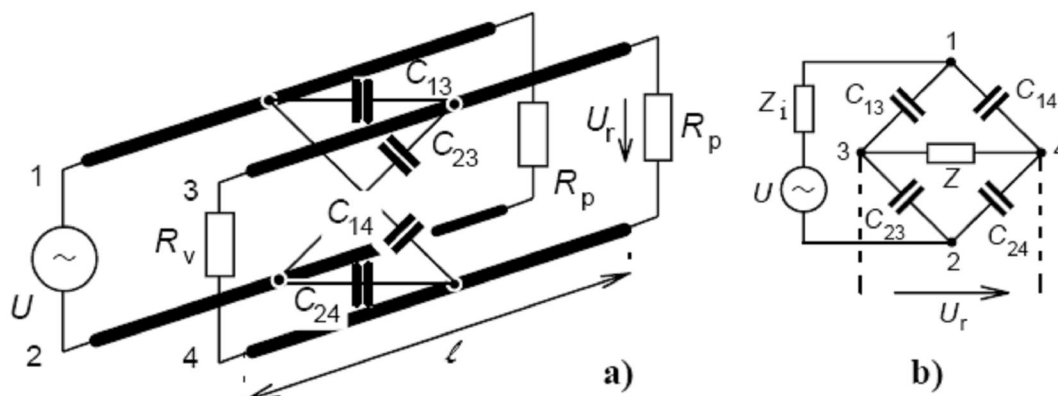
3 základní druhy parazitních kapacit

1) kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů

- vodiče 1, 2 – rušící vedení ; vodiče 3,4 – rušené vedení
- délka obou vedení je podstatně kratší než vlnová délka rušivého signálu (o největším uvažovaném kmotočtu)
- impedance Z_i – závislá na impedančních parametrech rušícího obvodu 1-2
- náhradní impedance U – závisí na impedančních parametrech rušeného obvodu 3-4
- výstupní rušivé napětí U_r – **nejmenší při vyvážení příslušného kapacitního můstku**

$$C_{13} \approx C_{23} \quad \text{a} \quad C_{14} \approx C_{24}$$

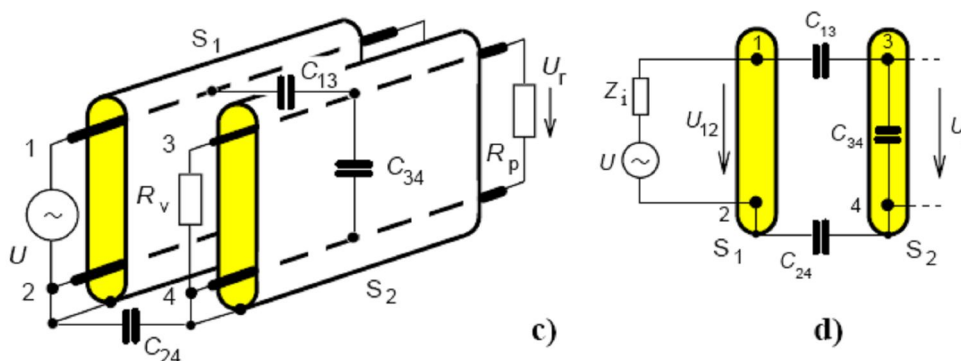
- o toto lze dosáhnout zkroucením obou párů vodičů, příp. alespoň rušeného vedení
- o



- lze snížit užitím stíněných vodičů

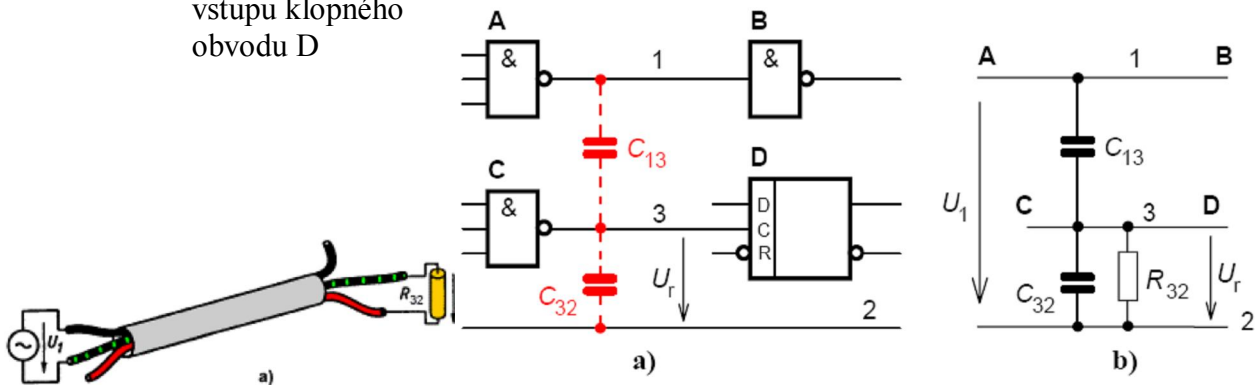
- o vodivá stínění S_1 a S_2 galvanicky spojena s vedením
- o **velikost přeneseného rušivého napětí U_r :**

$$U_r = U_{12} \cdot \frac{1}{1 + \frac{C_{34}}{C_{13}} + \frac{C_{34}}{C_{23}}}$$

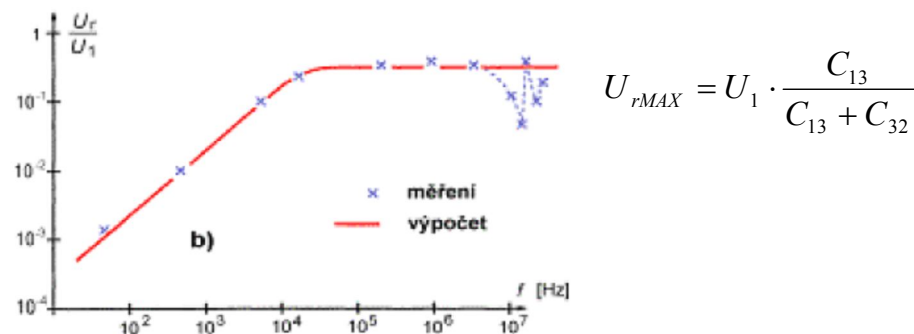


2) kapacitní vazba mezi obvody se společným vodičem

- typický a častý případ parazitní vazby v analogových a číslicových obvodech
- vlivem parazitní vazby kapacity C_{13} ovlivňuje signálový výstup obvodu A stav na vstupu klopného obvodu D



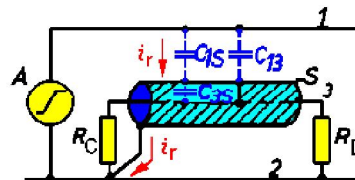
- stejný typ nastává mezi vodiči ve vícežilovém kabelu
- průběh parazitního kapacitního přenosu mezi vodiči 1 (rušícím) a 3 (rušeným):



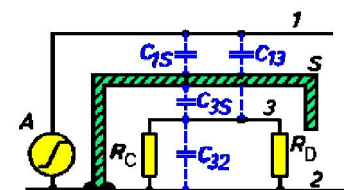
$$U_{rMAX} = U_1 \cdot \frac{C_{13}}{C_{13} + C_{32}}$$

- opatření pro snížení tohoto druhu kapacitní vazby:

- co nejvíce zmenšit vazební kapacitu C_{13} :
 - o maximálním vzájemným oddálením obou vodičů 1 a 3
 - o co nejkratším souběžným vzájemným vedením
 - o volbou co nejmenších průřezů obou vodičů
 - o co nejmenší hodnotou permitivity izolace mezi vodiči
- realizovat co největší kapacitu C_{32} , která na vstupu ovlivňovaného obvodu omezuje velikost přeneseného rušivého napětí
- zajistit nízkoohmové impedanční poměry v navázaném (ovlivňovaném) obvodu => hodnotu R_{32} udržovat na co nejmenší velikosti
- rychlost časových změn všech napětí (signálů) v obvodu $\Delta u/\Delta t$ omezit na minimální možnou hodnotu postačující ke správné činnosti daného obvodu
- vzájemně elektricky odstínit oba ovlivňující se vodiče:
 - o stíněním vodiče 3

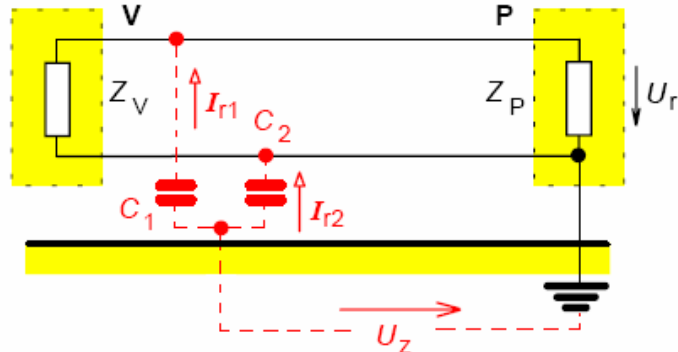


- o zavedením pomocného „stínícího“ spoje s nulovým potenciálem na desce plošného spoje mezi vodiče 1 a 3

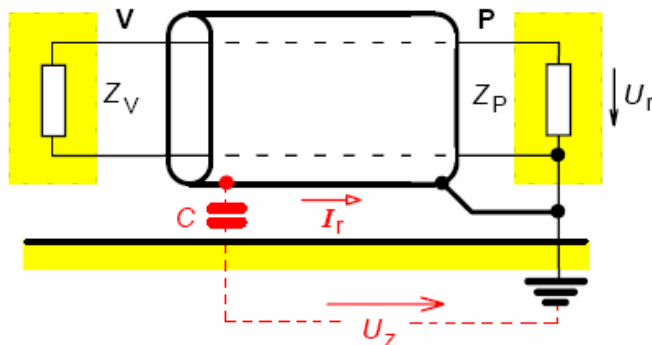


3) kapacitní vazba vůči zemi

- vyvolaná velkou kapacitou – např. přívodů obvodu vůči společné zemi
- rušivé napětí U_Z se průtokem rušivých proudů I_{r1} a I_{r2} parazitními vazebními kapacitami C_1 a C_2 přenáší jako rušivé napětí U_r na vstupní svorky obvodu P (přijímač)



- teoreticky lze kapacitní vazbu na signálové vodiče zcela odstranit – rušivý proud I_r protéká stíněním mimo vstup obvodu P



- prakticky není tato ochrana dokonalá (hlavně na vyšších kmitočtech) – nedokonalá vodivost stínícího „krytu“, na jehož vnitřní vysokofrekvenční impedanci vzniká průtokem rušivého proudu I_r nenulové rušivé napětí, které se přenáší na vstup chráněného zařízení P

9. Induktivní vazba – princip, eliminace

- prochází – li obvodem elektrický proud, vzniká v okolním prostoru magnetické pole – konstantní nebo proměnné (v závislosti na časovém průběhu proudu) => ve vodičích se indukuje napětí, jehož velikost roste se zvyšováním kmitočtu, popř. s rostoucí rychlostí časových změn proudu v primárním obvodu

- při časové změně magnetického toku Φ se v obvodu indukuje rušivé napětí dané Faradayovým indukčním zákonem:

$$U_r = -\frac{d\Phi}{dt} \approx -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -S \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} = -\mu_0 \cdot S \cdot \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

- je-li magnetické pole vytvářeno průtokem proudu I vodičem přibližně kruhového průřezu, lze jeho intenzitu H ve vzdálenosti r podle Ampérova zákona celkového proudu psát:

$$H = \frac{I}{2\pi r} \Rightarrow \text{indukované rušivé napětí: } U_r = -\frac{\mu_0 \cdot S}{2\pi r} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

- nebezpečná zejména v případech rychlých změn primárního (rušivého) proudu velké velikosti

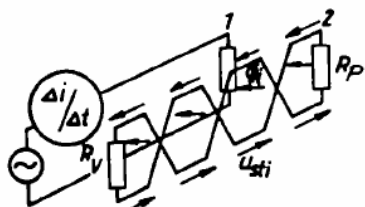
- při elektrostatických výbojích – přírodních (blesk) i umělých lokálních výbojích (ESD)
 - ❖ proudové impulzy blekového výboje dosahují strmosti **jednotek až stovek kA/μs**
 - ❖ impulzy lokálních výbojů ESD dosahují strmosti **jednotek až desítek A/ns**

- minimalizace parazitní indukční vazby mezi obvody:

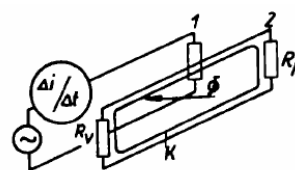
- délka souběžně probíhajících vodičů obou obvodů – minimální
- vzdálenost obou obvodů – co největší
- velikost proudové smyčky rušivého obvodu – co nejmenší

▪ další způsoby omezení parazitní indukční vazby dvou obvodů

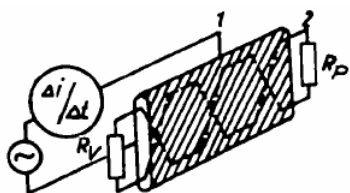
▪ omezení indukční vazby pomocí závitu K nakrátko



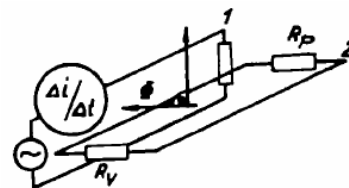
▪ kompenzace indukční vazby zkroucením vodičů obvodu přijímače



▪ minimalizace vazby kolmým natočením vazebních smyček



▪ minimalizace vazby stíněním obvodu přijímače



- k významným parazitním indukčním, ale i kapacitním vazbám zejména při souběžném vedení energetických silových kabelů s datovými a signálovými kabely či s kabely řídicích obvodů a systémů

- dochází téměř ve všech běžných budovách, kde jsou všechny druhy kabelových rozvodů bývají na dlouhých úsecích paralelně vedeny společnými šachtami a stavebními rozvody

10. Vazba elektromagnetickým polem - princip, eliminace

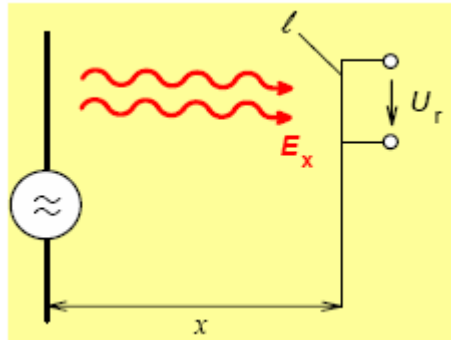
- při větších vzdálenostech mezi zdrojem a přijímačem rušení – prakticky vyloučena kapacitní i induktivní vazba => možná vzájemná vazba obou objektů vyzářeným elektromagnetickým polem
- parazitní vazba vyzařováním
 - rušení blízkými vysílači
 - atmosférická rušení
 - řada druhů průmyslových poruch
- tento druh rušení se projevuje v radiových přijímačích, do nichž se dostává anténou, popř. jejím svodem
- působením elektromagnetické vlny se ve vodičích přijímače indukuje rušivé napětí – v jeho obvodech se sečítá s užitečným signálovým napětím nebo jej zcela překryje
- intenzita elektrického pole ve vzdálenosti x od zdroje s výkonem P :

$$E_x = 0,3 \cdot \frac{\sqrt{P}}{x} \left[\frac{V}{m}; kW, km \right] \quad \text{pro } x \gg \frac{\lambda}{2\pi} \quad \lambda \dots \text{vlnová délka signálu}$$

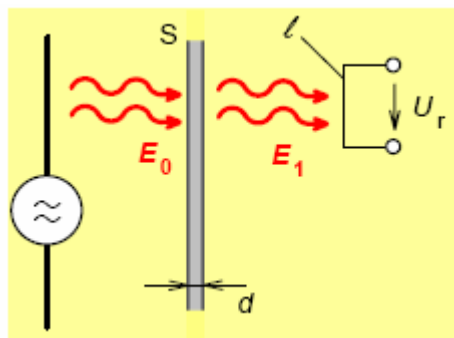
- toto elektrické pole indukuje ve vodiči přijímače rušivé napětí:

$$U_r = E_x \cdot l_{ef}$$

l_{ef} ... efektivní délka antény



- ochranu proti elektromagnetickému rušení vyzařováním
 - pomocí stínícího krytu či přepážky umístěné mezi zdroj a přijímač rušení



- vyzářená intenzita E_0 je zeslabena na hodnotu E_1 na jejím „výstupu“
- **zeslabení vlivem:**
 - absorpce (pohlcení) energie části vlny v materiálu stínící přepážky
 - odraz elektromagnetické vlny od přepážky
- **velikost zeslabení závisí na:**
 - tloušťce přepážky
 - vodivosti a permeability přepážky
 - kmitočtu signálu

- přímo v samotném zařízení může dojít k **parazitní vazbě vyzařováním na mikrovlnných kmitočtech** s vlnovými délkami menšími než jsou příčné rozměry přístroje
- kovový kryt přístroje lze pak považovat za úsek dutého kovového vlnovodu, kterým se mohou šířit různé vidy elektromagnetického vlnění
 - parazitní vazba vyzařováním **tzv. vlnovodová vazba**
 - v jednom společném kovovém krytu jsou zdroj i přijímač rušení, pracující v oblasti vlnových délek kratších než dvojnásobek nejdelší strany uzavřeného kovového krytu
- ***odstranění této vazby***
 - zmenšením příčných rozměrů „parazitního“ vlnovodu tak, aby vlnová délka nejvyššího kmitočtu rušivého signálu byla delší než dvojnásobek největšího rozměru => rušivý signál se pak tímto „vlnovodem“ nešíří

11. Obecné zásady k zajištění EMC

12. Principy měření úrovně elektromagnetického rušení

- dané normou – původně CISPR 16, přeloženo ČSN EN 55016

- podmínky:

- definované elektromagnetické prostředí
- reprodukovatelnost zkoušky
- prostorové uspořádání
- požadavky na technické zařízení

2 způsoby měření:

- do 30MHz – rušení po vodičích
- nad 30MHz – rušení prostorem

vyhodnocování – porovnávání s přípustnou mezí rušení (norma)

měřicí prostředky

- **měřicí přijímač**

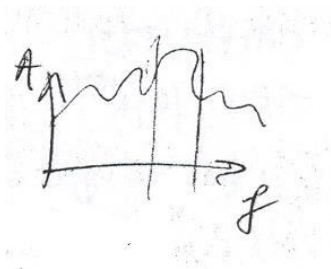
- zachycuje frekvenční charakteristiku úrovně
 - ve které oblasti je největší úroveň rušení, kde překračuje normou danou mezní úroveň

- **spektrální analyzátor**

- čárové frekvenční spektrum měřených hodnot

- **osciloskop**

- měřená veličina v závislosti na čase (dává časový záznam)
- nevhodný pro široké spektrum frekvencí
- moc nepomáhá v eliminaci rušení



- důležitým společným parametrem – vstupní impedance

- **složky rušivého signálu**:

- elektrická (napěťová, prouová) - $\text{dB}\mu\text{V}$
- magnetická - $\text{dB}\mu\text{W}$

- **šíření prostorem**

- $\text{dB}\mu\text{V/m}$
- $\text{dB}\mu\text{A/m}$

- **poměrné jednotky [dB]:**

$$\text{dB}\mu\text{V} = 20 \log \frac{A[\text{V}]}{10^{-6}}$$

$$1\text{mV} = 60\text{dB}\mu\text{V}$$

$$1\text{V} = 120\text{dB}\mu\text{V}$$

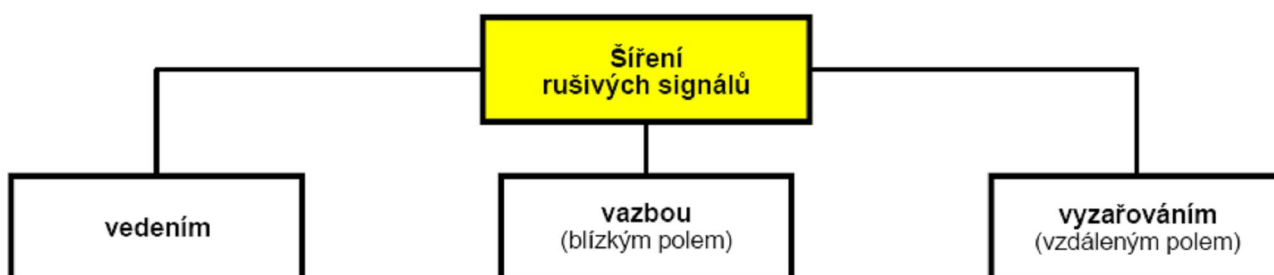
- detektory

- zpracovávají měřený rušivý signál
- jsou součástí měřicího přijímače
- vyhodnocují:
 - střední hodnota „AV“ AVERAGE
 - špičková hodnota „P“ – měří peaky
 - kvazivrcholová hodnota „QP“ – quasipeak
 - efektivní hodnota „RHS“

13. Zařízení pro měření úrovně elektromagnetického rušení

- měření rušivých signálů

- ⇒ praktické ověření dosaženého stupně EMC navrženého či testovaného zařízení z hlediska jeho rušivého vyzařování
- ⇒ nemožné dosáhnout absolutní (dokonalé) elektromagnetické kompatibility zařízení, proto je nutno stanovit a měřením *ověřit dodržení maximálních přípustných hodnot rušivých signálů* pro daný typ zařízení
- veškeré měření EMC, jejich metody, postupy, podmínky i použité přístroje – jednoznačně specifikovány a závazně předepsány příslušnými mezinárodními (popř. národními) **normami** a dalšími regulačními předpisy
- samotné měřicí zařízení je či může být zdrojem i současně přijímačem rušivých signálů – je nutné respektovat
- **postup měření** – závisí na způsobu šíření rušivých signálů – 3 způsoby vystupování a vstupování:



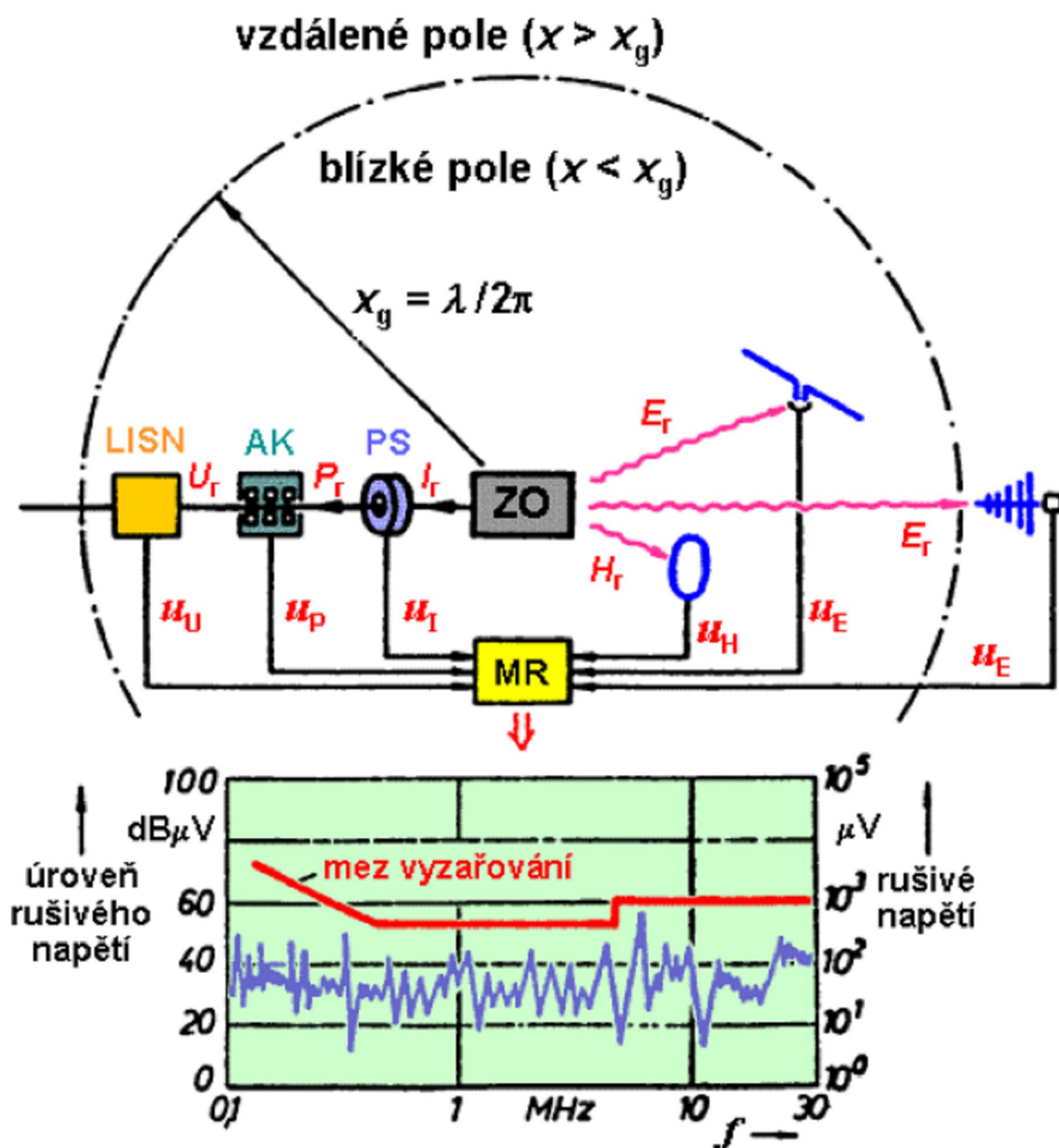
- přenos vedením
 - např. napájecí či datové vedení daného zařízení
 - měřené veličina – rušivé napětí U_r
 - rušivý proud I_r
 - rušivý výkon P_r
- přenos elektrickou či magnetickou vazbou – blízkým elektromagnetickým polem
 - mezi dvěma blízkými objekty či zařízeními
 - parazitní vazbu lze charakterizovat – intenzitou rušivého elektrického pole E_r
 - intenzitou rušivého magnetického pole H_r
- přenos vyzařováním elektromagnetických vln – vzdálené elektromagnetické pole
 - mezi vzdálenými objekty na vyšších rádiových kmitočtech
 - měřené veličiny – intenzitou rušivého elektrického pole E_r
 - intenzitou rušivého magnetického pole H_r
 - hustota vyzařovaného výkonu p_r rušivého signálu

základní přístroj pro měření = **MĚŘIČ RUŠENÍ (MR)**

- měří a vyhodnocuje všechny druhy elektromagnetických rušivých signálů
- jedná se o selektivní μV -metr, spektrální analyzátor či speciální měřicí přijímač pro požadovaný rozsah měřicích kmitočtů (obvykle od 9kHz do 1-2 GHz)
- měřená rušivá veličina je snímána vhodným snímačem – senzorem – jímž je převedena na **napětí**
 - napětí je pak měření **MR**

➤ druhy snímačů v EMC:

- umělá zátěž vedení *LISN*
- napěťová sonda
- proudová sonda (proudový transformátor) *PS*
- absorpční kleště *AK*
- různé typy měřicích antén – měření vyzařovaných rušivých signálů

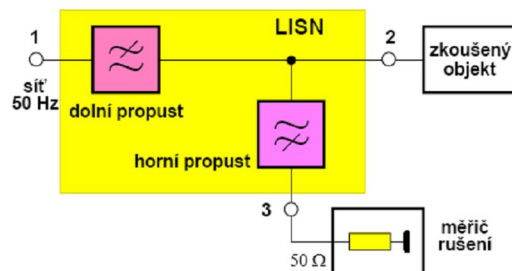


14. Pomocná zařízení pro měření úrovně elektromagnetického rušení

(umělá síť, napěťová sonda, proudová sonda, absorpční kleště)

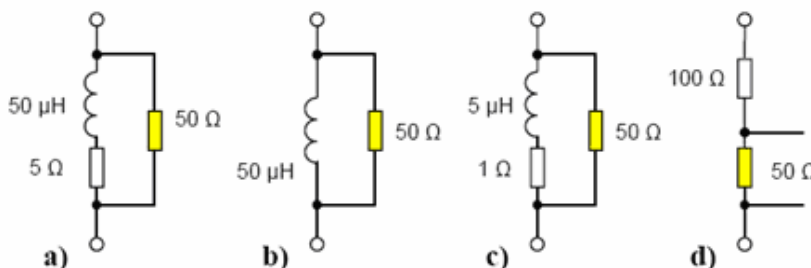
Umělá síť - AMN (Artificial Mains Network)

- častěji označována jako **umělá zátěž vedení LISN** (Line Impedance Stabilizing Network)
- užívá se k měření rušivých signálů, které vznikají v zařízení napájeném z rozvodné elektrické sítě (v síťovém elektrickém spotřebiči) a které z tohoto spotřebiče vystupují napájecím vedením



- obsahuje 3 druhy svorek
 - vstupní síťové svorky (1) – pro připojení vnější napájecí sítě
 - výstupní síťové svorky (2) – pro připojení zkoušeného objektu
 - výstupní přístrojové svorky (3) – pro připojení měřicího zařízení (měřič rušení)
- LISN plní 3 funkce:
 - zajišťuje připojení měřicího zařízení (měřiče rušení) k proměřovanému (zkoušenému) objektu pro celý rozsah měřených kmitočtů – funkce horní propusti
 - propust často tvořena pouze oddělovacím kondenzátorem o hodnotě několika set nF
 - zajišťuje, že na vstup měřicího zařízení se dostanou jen rušivé signály ze zkoušeného objektu, ale nikoli z vnější napájecí sítě – funkce dolní propusti 50 Hz
 - zeslabení „vnějších“ rušivých signálů, tedy útlum dolní propusti, musí být v pracovním kmitočtovém pásmu nejméně 30 dB
 - dolní propust obvykle tvořena jediným článkem LC
 - zajišťuje impedance přizpůsobení měřicího zařízení (měřicího přijímače) k výstupním přístrojovým svorkám (3) umělé sítě LISN a současně zajišťuje definovanou hodnotu impedance na jejích výstupních síťových svorkách (2)
 - *impedance LISN ze strany horní propusti* (na přístrojových výstupních svorkách 3) - v celém pásmu přibližně rovna vstupní impedanci měřicího přijímače (obvykle 50 Ω)
 - *impedance LISN ze strany zkoušeného objektu* (na výstupních síťových svorkách 2) – tzv. **impedance umělé sítě** – simuluje impedanci příslušné napájecí sítě v daném pásmu kmitočtů

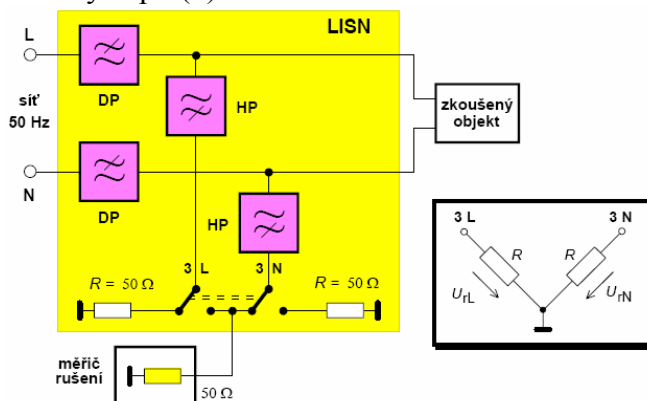
- tato impedance je obtížně definovatelná - předepisují příslušné normy její hodnotu pro určitá kmitočtová pásma a pro určité druhy vnější energetické napájecí sítě



- a) 50 Ω/50 μH + 5 Ω pro 9 kHz až 30 MHz (nízkonapěťové sítě);
- b) 50 Ω/50 μH pro 0,15 až 30 MHz (průmyslové napájecí sítě);
- c) 50 Ω/5 μH + 1 Ω pro 0,15 až 100 MHz (palubní napájecí sítě);
- d) 150 Ω pro 150 kHz až 30 MHz (klasické napájecí sítě).

- měření nesymetrických rušivých napětí

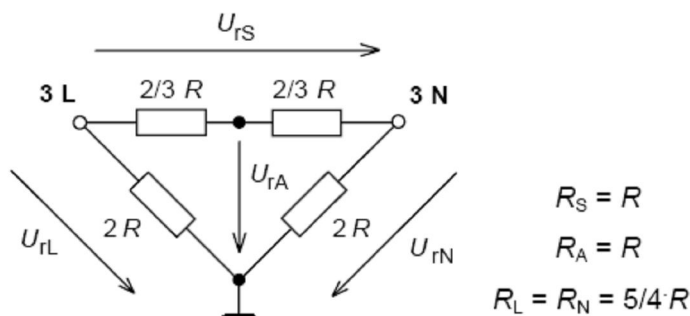
- tj. rušivá napětí na každém napájecím vodiči vůči zemi
- užijeme na měřicím výstupu (3) umělé síť **tzv. obvod V**



- obvod zajišťuje
 - během měření jsou oba napájecí vodiče vůči zemi zatíženy stále stejnou vysokofrekvenční impedancí $R = 50 \Omega$
 - jedna dána vstupním odporem měřiče rušení
 - druhá tvořena „připojenou“ větví obvodu V
 -

- měření symetrického rušivého napětí

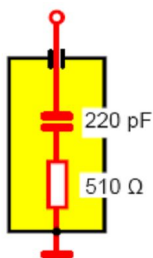
- nutno použít **tzv. obvod Δ**
 - simuluje impedanci R i mezi oběma symetrickými napájecími vodiči



- důležité zejména u telekomunikačních zařízení
- výpočet symetrického rušivého napětí U_{rS} z změřené hodnoty asymetrického napětí U_{rA} a dvou nesymetrických napětí U_{rL} a U_{rN} :

$$U_{rS} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} (U_{rL}^2 + U_{rN}^2) - U_{rA}^2}$$

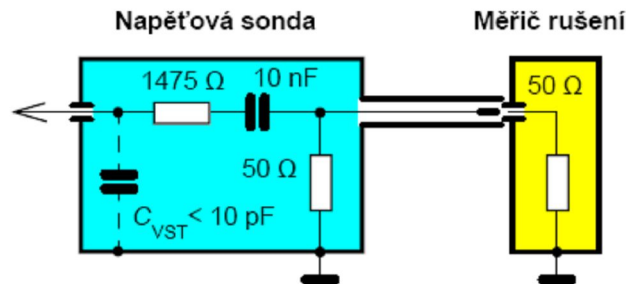
- častým doplňkem umělých sítí je tzv. **standardní umělý operátor (umělá ruka)**



- obvod (na LISN nezávislý), který při měření umělou sítí simuluje vliv ruky uživatele u elektrických spotřebičů, které se při provozu drží v lidské ruce (např. kuchyňské spotřebiče, ruční náradí, holící strojek, apod.)

Napět'ová sonda

- pro měření rušivých napětí na jiných místech než na napájecích svorkách zkoušeného objektu, popř. všude tam, kde nelze k měření použít umělou síť LISN
- umožňuje přímé „připojení“ měřicího přijímače (měřiče rušení) do zadaného bodu (místa) zkoumaného zařízení
 - o velmi vhodná při diagnostických měření EMC ve stádiu vývoje daného zařízení
- díky své vysoké vstupní impedanci – nepostradatelná při měření rušivých napětí ve vysokoimpedančních obvodech, které by umělá síť svou příliš nízkou impedancí nepřipustně zatěžovala

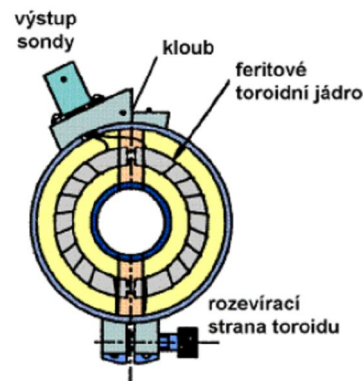
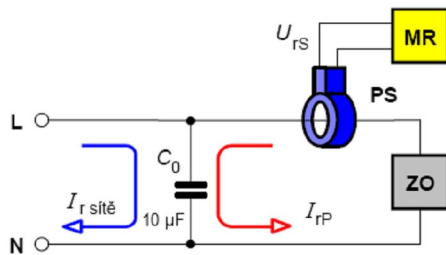


- o jedná se o kapacitně vázaný odporový dělič napětí
- **parametry sondy:**
 - o vstupní odpor – větší než 1500Ω
 - o vstupní kapacita – menší než 10pF
 - o napět'ové zeslabení $35,4\text{dB}$
 - o důležitý parametr - maximální velikost **vstupního provozního napětí**, na něž smí být připojena
 - většina dnes vyráběných napět'ových sond pro potřeby EMC je určena pro maximální vstupní střídavé napětí 250V
- vzhledem k značnému zeslabení a nevelkému vstupnímu odporu je sonda použitelná pro měření rušivých napětí větších než asi $60\mu\text{V}$ – v obvodech s relativně nízkou impedancí
- pro měření malých rušivých napětí ve vysokoimpedančních obvodech je požadována vstupní kapacita sondy menší než 5pF a vstupní odpor větší než $1\text{M}\Omega$
 - o k dosažení těchto parametrů – nutno užít **aktivní napět'ovou sondu** omezenou na vstupu tranzistorem FET
 - mají napět'ový zisk nebo jen malé zeslabení
 - šířka kmitočtového pásma 300MHz i více
 - vstupní kapacita $3\text{-}5\text{pF}$
 - velký vstupní odpor řádu $10\text{M}\Omega$

Proudová sonda

= proudový transformátor, proudové kleště

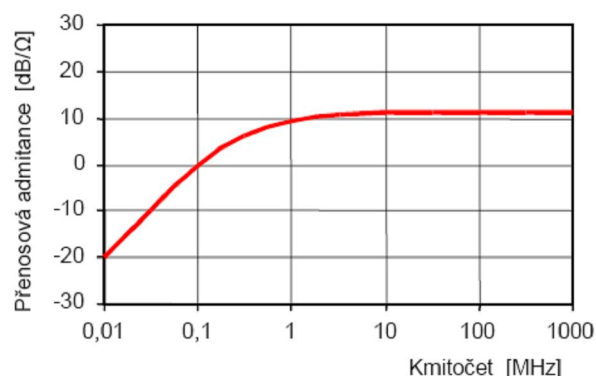
- slouží k měření rušivého proudu protékajícího vodičem, a to bez jeho přerušení
- princip měření proudovou sondou:



- zhotovena tak, že obepíná vodič, jehož rušivý proud chceme měřit
 - o vodič představuje (jednozávitové) primární vinutí transformátoru sondy
 - o sekundární vinutí, tj. vlastní proudová sonda, má tvar toroidního transformátoru
 - toroid je rozdělen na dvě rozevratelné poloviny pro možnost vložení zkoumaného vedení (kabelu)
 - o po uzavření kleští sondy (uzavření obou polovin toroidu) kolem měřeného vodiče je jím protékající rušivý (primární) proud I_{rP} převeden na napětí U_{rS} na výstupu sekundárního vinutí sondy
- zkratovací kondenzátor C_0
 - o uzavírá vf. „cestu“ měřeného rušivého proudu produkovaného zkoušeným objektem ZO a brání jeho postupu do napájecí sítě
 - o zamezuje průniku rušivých signálů (proudů) z vnější napájecí sítě do proudové sondy a tím zkreslení výsledků měření
 - ⇒ plní stejné funkce jako dolní a horní propusti v umělé síti LISN

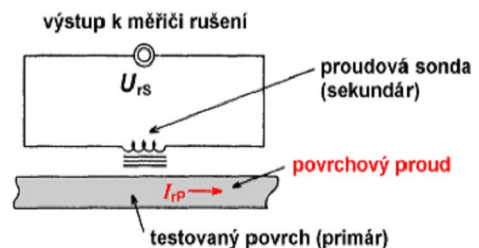
- základní parametr:

- o přenosová admitance: $Y_T = \frac{I_{rP}}{U_{rS}} [dBS]$ popř. v $[dB/\Omega]$
- o kmitočtová závislost:

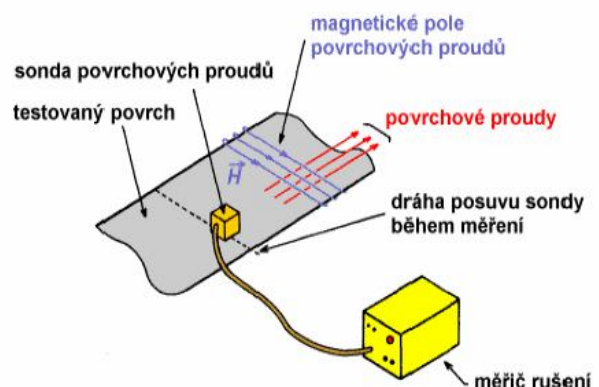


- na nízkých kmitočtech klesá přenosová admitance se směrnici 20 dB/dekádu => nejnižší pracovní kmitočet sondy je dán poklesem její citlivosti pod přípustnou mez
- **zvýšit citlivost sondy** lze zejména vysokým počtem závitů a použitím toroidního jádra s vysokou permeabilitou
- **maximální pracovní kmitočet sondy** je naopak určen vlastní rezonancí její indukčnosti a parazitních kapacit vinutí transformátoru

- proudové sondy EMC jsou dnes převážně používány v rozsahu 30 Hz až 100 MHz, mohou však být konstruovány až do kmitočtu 1000 MHz
 - o při tak vysokých kmitočtech vznikají na měřeném vedení stojaté vlny rušivého vysokofrekvenčního signálu a proudovou sondu je nutno během měření umístit tak, aby byl vždy měřen maximální rušivý proud
- dalšími charakteristickými parametry:
 - o maximální stejnosměrný a nízkofrekvenční primární proud
 - o minimální měřitelná a maximální přípustná velikost primárního rušivého proudu I_{rP} v pracovním kmitočtovém pásmu
 - o impedance sekundárního obvodu sondy (pro přizpůsobení k měřicímu rušení)
 - o rozměrové údaje, např. největší průměr kabelu, na němž lze sondu instalovat
- obvyklé proudové kleště používané v běžné měřicí technice k měření pracovních proudů na napájecích vedeních nelze použít pro potřeby EMC
 - o tyto sondy jsou navrženy pro kmitočty $50 \div 60$ Hz, nikoli pro měření vysokofrekvenčních signálů
- pro měření vysokofrekvenčních rušivých proudů protékajících po kovovém povrchu např. stínících krytů či karosérii se používají tzv. **sondy povrchových proudů** (*Surface Current Probe*)



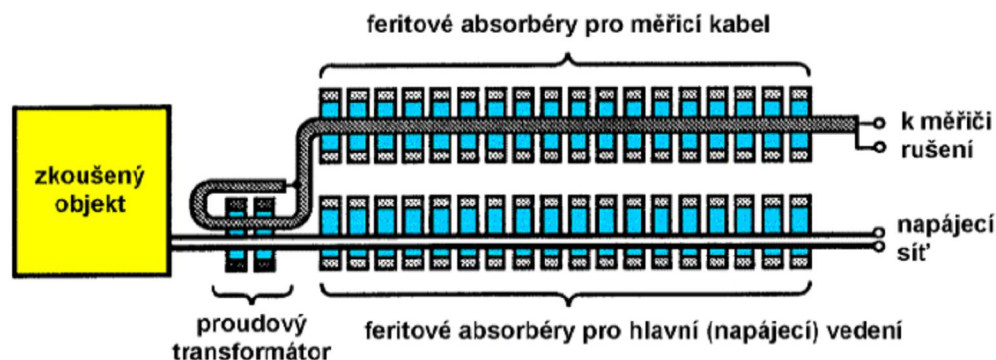
- o sonda pro snímání povrchových proudů
 - tvořena opět vysokofrekvenčním proudovým transformátorem
 - primární „vinutí“ tvoří testovaný kovový povrch, jímž protéká měřený proud
 - sekundární vinutí má tvar ploché cívky
- o při měření je tato cívka přiložena izolovanou stranou k vodivému povrchu a orientována tak, aby připojený měřič rušení indikoval maximální velikost rušivého proudu
- o během měření sondu posouváme ve směru kolmém k měřeným povrchovým proudovým čarám (tedy ve směru magnetického pole vytvářeného těmito povrchovými proudy) a v jednotlivých polohách měříme dílčí proudy „pod“ snímací cívkou (tedy přibližně pod šířkou sondy)
 - celkový rušivý povrchový proud na dané ploše je pak dán součtem těchto dílčích hodnot
 - hodnoty rušivých proudů I_{rP} v jednotlivých polohách sondy se přitom určují z hodnot napětí U_{rs} měřených měřičem rušení násobením přenosovou admitancí proudové sondy Y_T
- o sondy povrchových proudů se v technice EMC používají v kmitočtovém pásmu 0,1 až 100 MHz



Absorpční kleště

= absorpční transformátor, absorpční odbočnice

- kombinace širokopásmové vysokofrekvenční proudové sondy (proudového transformátoru) a feritového absorbéru (přizpůsobené zátěže)
- používají se v kmitočtovém pásmu $30 \div 1000$ MHz k měření výkonu rušivého signálu, který je vyšetřovaným (zkoušeným) zařízením vyzařován prostřednictvím přípojných kabelů a vedení (např. napájecím vedením)

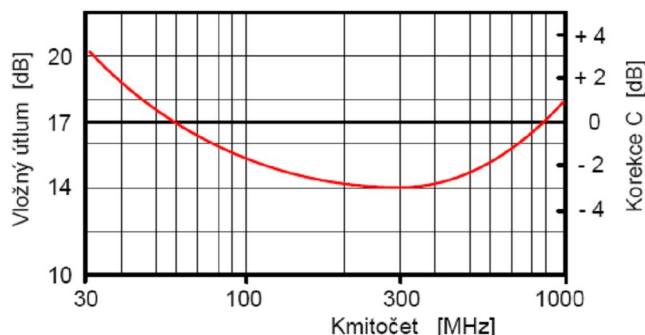


o tvořeny:

- proudové sondy pro daný rozsah kmitočtů (proudové vazební smyčky)
- přibližně 60 feritovými kroužky umístěnými „kolem“ zkoušeného kabelu i „kolem“ měřicího kabelu (měřený signál veden k měřiči rušení)
 - kroužky kolem zkoušeného kabelu působí jako širokopásmový absorbér výkonu rušivého signálu => stabilizátor vysokofrekvenční impedance kabelu
 - kroužky kolem měřicího kabelu omezují nežádoucí vysokofrekvenční proud tekoucí po jeho povrchu do měřiče rušení

- komerčně vyráběné absorpční kleště jsou konstruovány tak, že jejich výstupní (a měřičem 5 měřené) rušivé napětí U_r v $[\mu V]$ je číselně rovno vstupnímu rušivému výkonu P_r signálu absorpčních kleští v napájecím vedení v $[pW]$
- cejchování měřiče rušení v $[dB\mu V]$ pak tedy přímo odpovídá měřenému výkonu rušivého signálu P_r v $[dBpW]$
- při přesných měřeních je nutno mezi obě veličiny vnést doplňující **korekční činitel C [dB]**:
$$P_r [dBpW] = U_r [dB\mu V] + C [dB]$$

o velikost korekčního činitele C je maximálně 4 dB a je kmitočtově závislá



15. Pomocná zařízení pro měření úrovně elektromagnetického rušení (antény, sondy blízkého pole)

Antény

- měří rušivé elektromagnetické pole hlavně v oblasti vysokých frekvencí (nad 300MHz) – nelze měřit ničím jiným
- rušivé elektromagnetické pole se měří měřicím přístrojem pro měření rušení a vhodnou měřicí anténou

Druh antény	Rozsah kmitočtů [MHz]	Měří složku
Rámová (smyčková) anténa	0,009 – 30	<i>H</i>
Prutová anténa (monopól)	0,009 – 30	<i>E</i>
Symetrické (laděné) dipóly	30 – 1000	<i>E</i>
Bikónická anténa	20 – 300	<i>E</i>
Logaritmicko-periodická anténa	200 – 3000	<i>E</i>
Kónicko-logaritmická anténa	200 – 3000	<i>E</i>
Složená širokopásmová anténa	30 – 2000	<i>E</i>
Trychtýřové antény	1000 – 40000	<i>E, H</i>

- mají směrovou a frekvenční charakteristiku citlivosti
- vlastnosti závisí na frekvenci

$$\vec{E} \perp \vec{H}$$

$$\vec{E} \times \vec{H} = \vec{S} \dots \text{směr šíření pole}$$

... hustota vyzařování pole

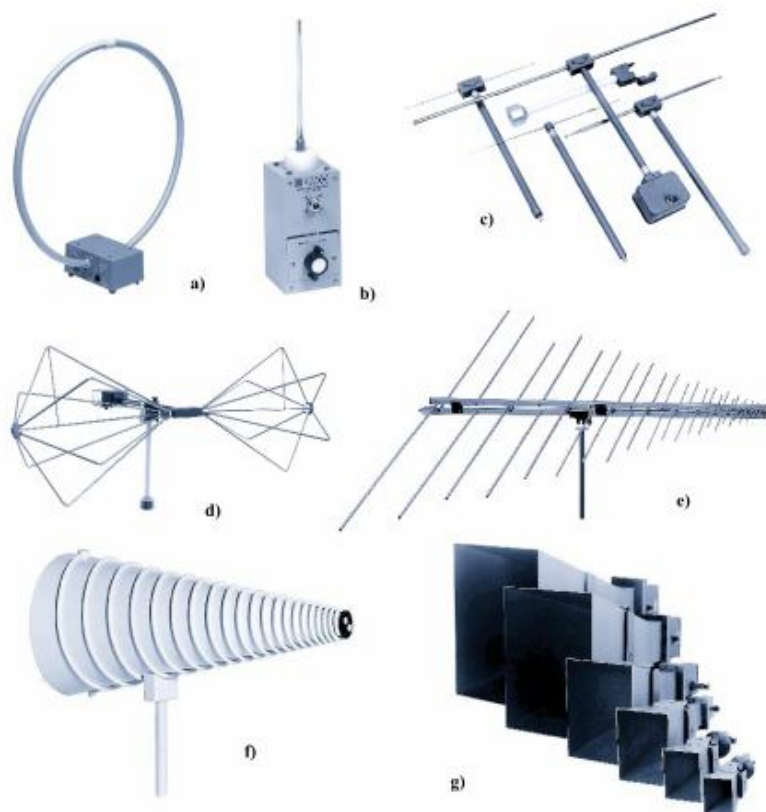
změna pole je funkce vzdálenosti od „zářiče“

$$E \approx \frac{1}{r^2} \quad H \approx \frac{1}{r^2} \quad - \text{blízká pole}$$

$$E \approx \frac{1}{r} \quad H \approx \frac{1}{r} \quad - \text{vzdálené pole}$$

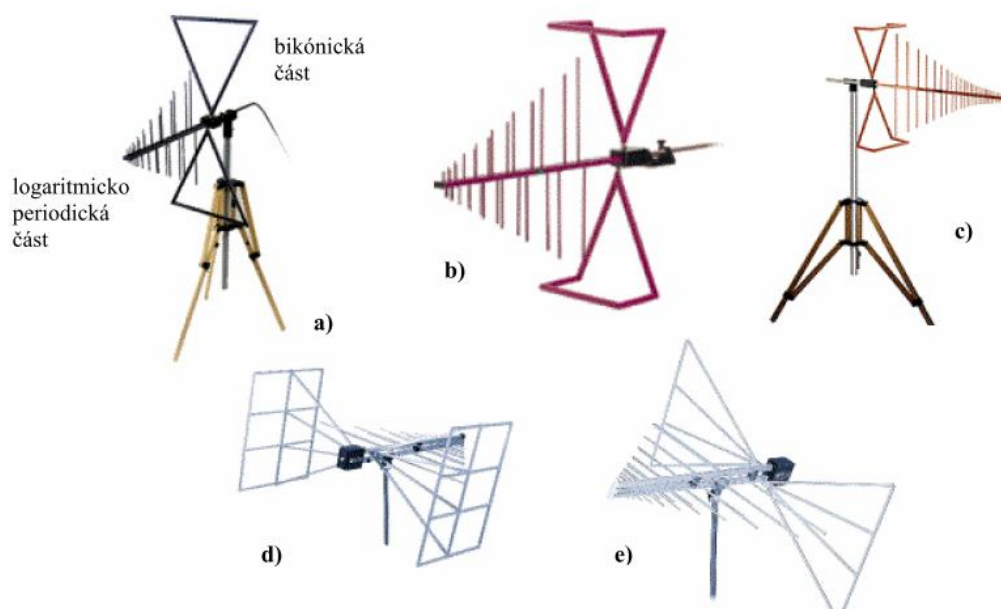
hranice mezi nimi je určena vlnovým číslem

$$\frac{1}{r} = \frac{2\pi}{\lambda}$$



Obr. 6.18. Měřicí antény pro systémy EMI [40]:

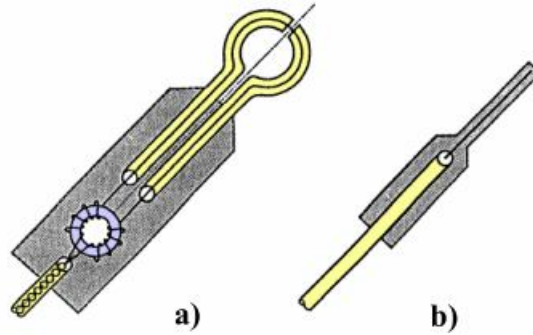
- a) aktivní rámová anténa pro magnetická měření do 30 MHz ; b) aktivní prutová anténa 1-30 MHz;
 c) sada laděných symetrických dipólů 30-1000 MHz; d) bikónická anténa 30-300 MHz;
 e) logaritmicko-periodická anténa 200-1000 MHz; f) kónicko-logaritmická anténa 200-1000 MHz;
 g) sada trvchtvřových antén 1-12 GHz



Obr. 6.19. Složené širokopásmové antény typu „Bilog“ pro pásmo $30 \div 2000$ MHz [40];
 a) základní provedení; b) až e) konstrukční modifikace

Sondy blízkého pole

- skoro antény – tvořeny smyčkou
- malé ruční antény – označované „očichávací“ – užívány ve vývoji diagnostice elektronických zařízení – sledování nežádoucích vyzařování jednotlivých součástek a bloků přímo uvnitř vyvíjeného zařízení
- magnetický tok prochází smyčkou -> přeměny na signál -> jsme schopni měřit
- měření není příliš reprodukovatelné – výsledek závisí na mnoha neurčitých faktorech (míra přiblížení, úhel natočení sondy vůči zdroji rušení)



Obr. 6.20. Měřicí sondy pro blízké magnetické (a) a elektrické pole (b) [26]

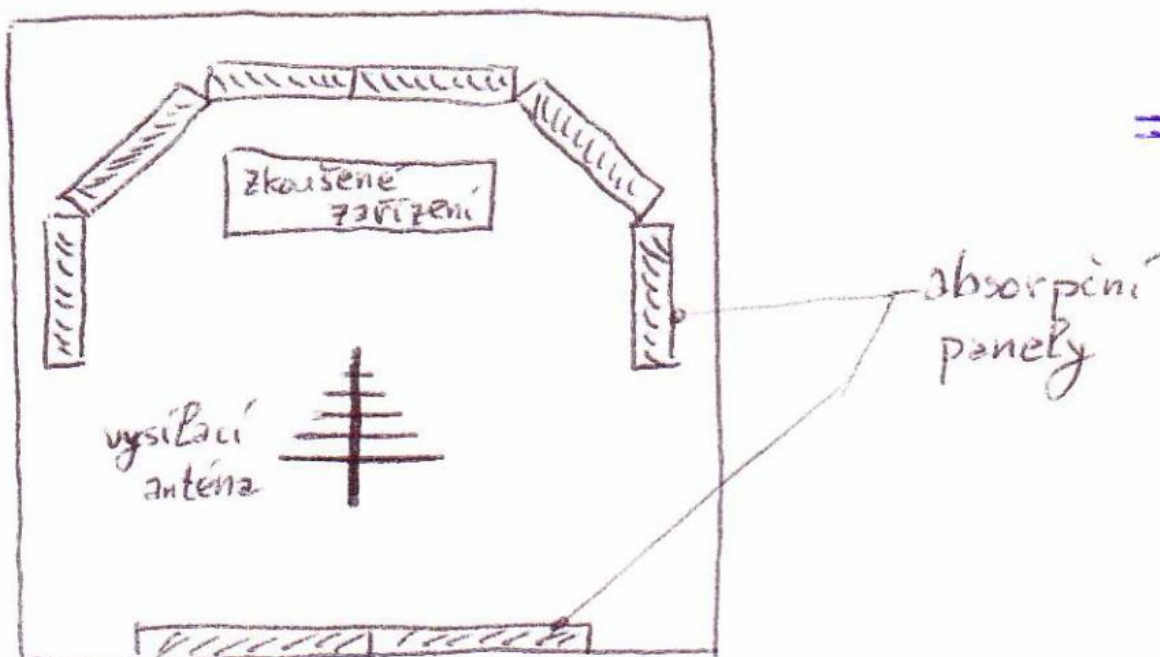
16. Požadavky na zajištění experimentů v oblasti vysokých frekvencí

- zkoušky odolnosti vůči VF elektromagnetickým polím se provádějí dle normy ČSN EN 61000-4-3 v pásmu 80 -1000MHz
 - pro zkušební úrovně elektrického pole o hodnotách 1, 3, 10 a 30mV, případně vyšší dle požadavků výrobce
 - úrovně odpovídají efektivních hodnotám intenzity harmonického pole nemodulovaného signálu
 - pro vlastní zkoušku odolnosti je signál amplitudově modulován do hloubky 80% NF harmonickým napětím 1kHz

základní technické a přístrojové vybavení pro zkoušky odolnosti vůči VF polím

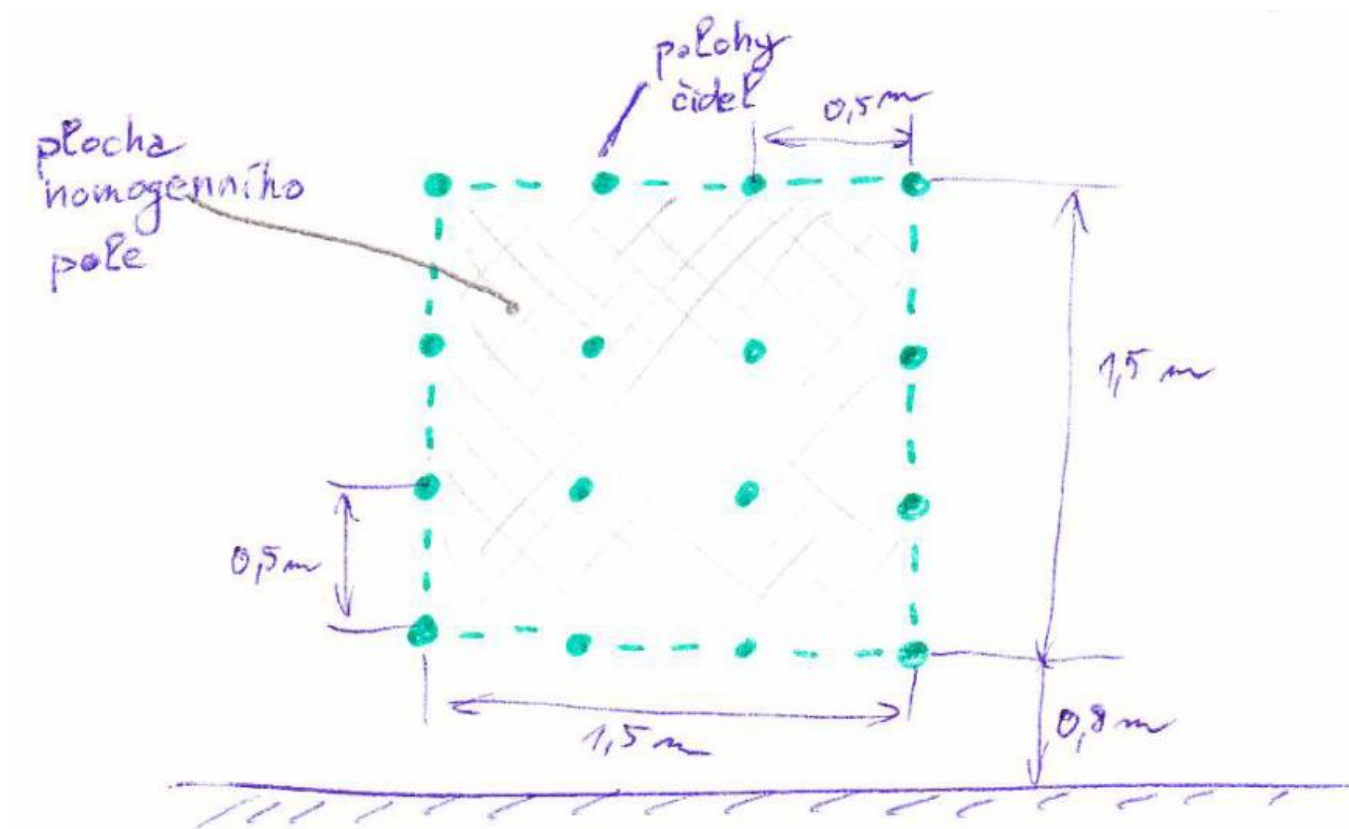
- **VF signální generátor**
 - pro požadované pásmo kmitočtů s možností amplitudové modulace sinusovou vlnou 1kHz do hloubky 80%
- **širokopásmový výkonový zesilovač**
 - k dosažení patřičného výkonu zkušebního signálu – modulovaného i nemodulovaného
- **vysílací směrová anténa (antény)**
 - pro daný rozsah kmitočtů a schopností vyzářit potřebný výkon
 - obvyklými typy jsou bikonická a logaritmicko-periodická anténa
- **elektrické filtry**
 - zapojené ve všech vstupech a výstupech kabelů a vedení do zkušební komory
- **pomocná elektrická zařízení**
 - ke kontrole a vyhodnocování funkčnosti zkoušeného zařízení, případně k zajištění dalších funkcí během zkoušky

zkušební pracoviště pro zkoušky odolnosti vůči VF poli



kalibrace zkušebního pole

- provádí se podle ČSN EN 61000-4-3 nemodulovaným harmonickým signálem měřením velikosti generovaného pole v tzv. ploše homogenního pole
 - o je to vertikální plocha o velikosti 1,5 x 1,5 m ve výšce 0,8m nad podlahou
- pole v uvedené ploše je považováno za homogenní, kolísá-li jeho měřená velikost o méně než $\pm 3\text{dB}$ na 75% plochy, tj. alespoň ve 12 z celkových 16 měřených bodů
- kalibrace se provádí v celém měřicím kmitočtovém pásmu v horizontální i vertikální polarizaci generovaného pole



17. Zkoušky odolnosti proti elektromagnetickému rušení, principy, přehled

- experiment – napodobení provozních podmínek
- nelze odstranit všechny skutečné či potenciální zdroje rušivých signálů → nutno zajistit, aby technická zařízení správně fungovala i za jejich přítomnosti, tj. aby zařízení byla dostatečně odolná vůči všem druhům rušení

způsoby vyhodnocení

- o emise – porovnání s přípustnou mezí (normy)
- o imunita – sledování reakce zkoušeného zařízení (kritéria)

podmínky zkoušek

- o reprodukovatelnost zkoušky
- o prostorové uspořádání
- o definované elektromagnetického prostředí
 - je obtížné ho dosáhnout, v okolí je mnoho zdrojů signálů → nutné odstínění, bezodrazové komory

EMISE

- ⇒ měřicí přijímač
- ⇒ prostorem
- ⇒ po vodičích

měření:

- norma ČSN EN 55016
- do 30MHz → rušení po vodičích
- nad 30MHz → prostorem

- měřicí přijímač, spektrální analyzátor, osciloskop

ELEKTROMAGNETICKÁ ODOLNOST (IMUNITA)

- ⇒ zdroje rušivého signálu
- ⇒ znalost pracovního elektromagnetického prostředí
- ⇒ rušivé signály

- o **interní** = odolnost systému vůči rušivým zdrojům nacházejících se uvnitř vlastního systému
- o **externí** = odolnost systému vůči vnějším zdrojům elektromagnetického rušení

- rozdělení systémů dle typu odolnosti:

- o **Rozlehlé (distribuované) systémy**
 - jednotlivé části systému jsou od sebe navzájem geograficky vzdálené
- o **Lokální (místní) systémy**
 - jednotlivé části systému jsou dislokovány v rámci jednoho místního areálu, budovy či místnosti
- o **Systémy přístrojového typu**
 - individuální kompaktní celky

1) externí elektromagnetická odolnost (imunita)

- velké množství potenciálně možných zdrojů rušení
- uvažují se jen nejpravděpodobnější a potenciálně nejnebezpečnější zdroje rušení
- mez externí odolnosti se stanovuje pro každý vybraný typ rušení zvlášť

2) interní elektromagnetická odolnost přístroje závisí na

- obvodovém řešení a rozložení elektronických prvků
- návrhu desek plošných spojů, uspořádání spojů a kabeláží
- typu napájení, rozložení napájecích a signálových bloků přístroje
- návrhu a provedení vnitřního stínění a zemnění
- volbě a konstrukci stykových prvků k vnějším systémům

celková elektromagnetická odolnost

- interní elektromagnetická odolnost systému je závislá na interní odolnosti jeho dílčích subsystémů
 - **výsledná interní** elektromagnetická odolnost systému je určena elektromagnetickou odolností jeho „nejslabšího článku“, tj. subsystému s nejnižší vlastní elektromagnetickou odolností
 - **výsledná externí** elektromagnetická odolnost systému může záviset na jeho interní elektromagnetické odolnosti, neboť zde může docházet k negativnímu skládání různých rušivých vlivů, a tím ke snižování celkové odolnosti systému
- důležitý parametr – vstupní impedance

KRITÉRIA ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI

(jakožto definované meze narušení funkcí technického zařízení či systému)

➤ Kvantitativní mez odolnosti

- dosažení určité hodnoty (určitých hodnot) vybrané měřené veličiny (veličin)

➤ Kvalitativní (funkční) kritérium EM odolnosti

- posouzení změny provozního stavu či ovlivnění funkčnosti zařízení

základní funkční kritéria:

○ kritérium A

- v podmínkách elektromagnetického rušení si zkoušené zařízení zachovává všechny vlastnosti garantované technickými podmínkami
- 100% odolné vůči danému rušení

○ kritérium B

- dojde ke krátkodobému snížení provozuschopnosti zkoušeného zařízení, avšak jen po dobu působení rušivého signálu
- po vypnutí rušivého signálu se automaticky (tzn. bez zásahu obsluhy) obnoví všechny funkce garantované technickými podmínkami – nesmí dojít ke změně navoleného stavu, tedy již zadané parametry a výstupní signály nezmění navolený stav

○ kritérium C

- v podmínkách elektromagnetického rušení dojde k takové disfunkci zkoušeného zařízení, že opětovné zprovoznění si vyžádá zásah obsluhy, např. restart

○ kritérium D

- v podmínkách elektromagnetického rušení dojde ke zhoršení činnosti nebo ke ztrátě funkce, která není odstranitelná v důsledku poškození zařízení, programového vybavení, nebo ztrátě dat

kategorie požadované odolnosti:

- úroveň odolnosti 1:
 - běžné prostředí s nízkou úrovní rušení, příp. dobře chráněné prostředí, v němž lze užívat citlivé přístroje
- úroveň odolnosti 2:
 - prostředí s mírnou úrovní rušení, příp. částečně chráněné prostředí (domácnosti, obchody, kanceláře)
- úroveň odolnosti 3:
 - náročné prostředí s vysokou úrovní rušení, tj. typické průmyslové prostředí
- úroveň odolnosti 4:
 - speciální prostředí s velmi vysokou úrovní rušení, příp. nechráněné průmyslové prostředí (těžký průmysl, elektrárny, rozvody)

METODIKA ZKOUŠEK ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI

- stanovení rušivých elektromagnetických vlivů, které mohou vyšetřované zařízení v daných pracovních podmínkách ovlivňovat.
- určení možných bran vstupu rušivých signálů do zařízení.
- stanovení kategorie požadované odolnosti zkoušeného zařízení.
- definice přípustných rušivých účinků pro zkoušené zařízení.



- ✓ simulace rušivých signálů, vazba do zkoušeného objektu
- ✓ provedení vlastních zkoušek a testů dle specifikace
- ✓ dílčí vyhodnocení po každé zkoušce
- ✓ vypracování dokumentace o provedených zkouškách

ZÁKLADNÍ DRUHY RUŠIVÝCH ELMAG. VLVŮ

- jsou odvozeny ze skutečných elektromagnetických jevů v prostředí, v němž je dané zařízení provozováno
- nízkofrekvenční rušení v napájecí rozvodné síti nízkého napětí
- přechodné (transientní) jevy a vysokofrekvenční rušení
- elektrostatické výboje (nízkoenergetické a vysokoenergetické)
- magnetická rušení
- rušení vyzařovaným elektromagnetickým polem

TESTY ODOLNOSTI PROTI RUŠENÍ

- elektrostatickým výbojem (ČSN EN 61000-4-2)
- vyzařovaným VF elektromagnetickým polem (ČSN EN 61000-4-3)
- rychlým přechodovým jevům /burst/ (ČSN EN 61000-4-4)
- rázovému impulzu napětí a proudu /surge/ (ČSN EN 61000-4-5)
- VF rušení šířenému vedením (ČSN EN 61000-4-6)
- magnetickému poli 50Hz (ČSN EN 61000-4-8)
- impulsnímu magnetickému poli (ČSN EN 61000-4-9)
- tlumenému oscilujícímu magnetickému poli (ČSN EN 61000-4-10)
- krátký přerušením a pomalým změnám napětí (ČSN EN 61000-4-11)
- oscilačním vlnám (ČSN EN 61000-4-12)

- kolísání napětí
- nesymetrickým rušením 0-150 kHz šířením po vedení
- zvlněním na SS vstupu
- nesymetrii
- kolísání síťového kmitočtu
- ...

18. Testování odolnosti elektrostatickým impulzem ČSN EN 61000-4-2

- simulace elektrostatického výboje

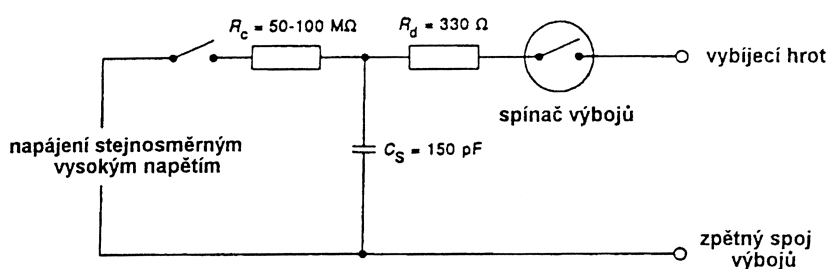
elektrostatický výboj

- přenos elektrostatického náboje mezi tělesy o různém elektrostatickém potenciálu, který nastává při přiblížení nebo přímém dotyku těles
- vzniká tam, kde se vyskytuje třecí pohyb mechanických částí (kovových nebo dielektrických – pevných, kapalných či plyných)

Charakteristika výboje

- vysoké průrazné napětí – až 15 kV, někdy i stovky kV
- vysokofrekvenční obsah impulsního rušení – až 1 GHz
 - vř účinky výboje pronikají prostřednictvím parazitních impedancí a zářivou složkou elektromagnetického pole
- energie výboje – do 10 mJ

Schéma zkušební generátoru:

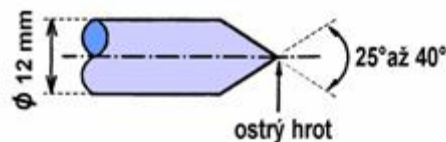
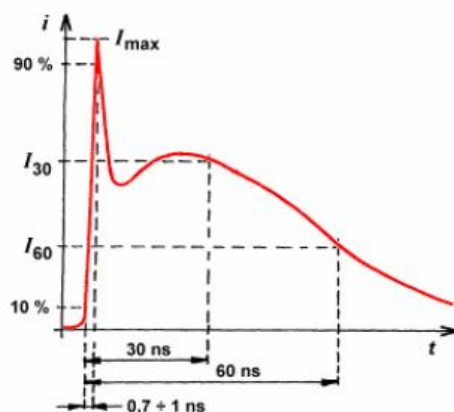


kontaktní výboj

- vybíjecí elektroda má ostrý hrot
- aplikace na vodivé kryty
- vybíjecí elektroda se dotýká ZO a výboj se provede vybíjecím spínačem v generátoru
- testují se všechna místa přístupná obsluze – je-li tam výrobcem deklarovaná izolační vrstva
- max. napětí 8kV
- tato metoda se preferuje

Tab. 7.2. Parametry proudového impulsu ESD

Výstupní napětí [kV]	I_{max} [A]	I_{30} [A]	I_{60} [A]
2	7,5	4	2
4	15	8	4
6	22,5	12	6
8	30	16	8



Tři druhy zkušebních výbojů

Výboj vzduchovou mezerou

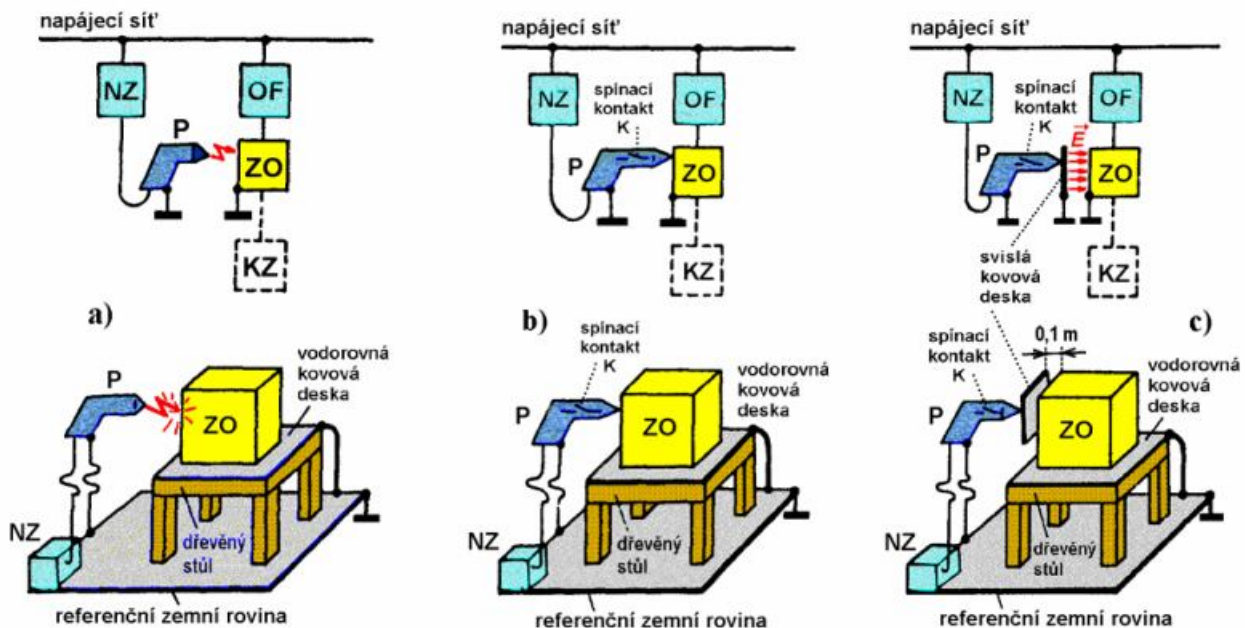
- tvar vybíjecího proudu je velmi proměnný a závislý na mnoha faktorech (rychlost přiblížování hrotu, vlhkost, teplota, tlak, konstrukce zkoušence) – malá reprodukovatelnost výsledků zkoušek

Kontaktní výboj

- velmi dobrá reprodukovatelnost průběhu vybíjecího proudového impulsu (vznikajícího ve zkoušeném objektu při sepnutí kontaktu generátoru) - preferovaná metoda zkoušek

Nepřímý výboj prostřednictvím vazební desky

- postihuje rušivé účinky vznikající při nepřímém elektrostatickém výboji do kovových předmětů nacházejících se v blízkosti zkoušeného zařízení v důsledku elektromagnetické indukce

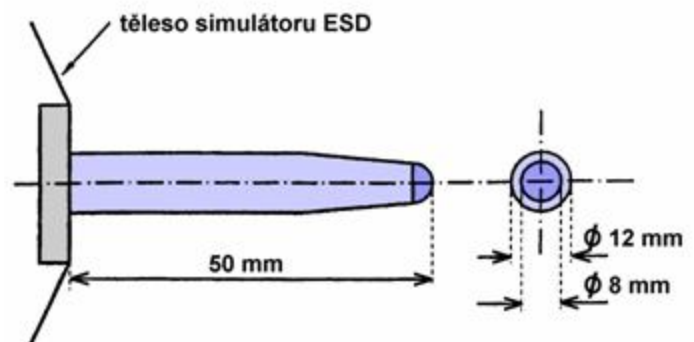


Obr. 7.17. Zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům: a) výboj vzduchovou mezerou; b) kontaktní výboj; c) nepřímý výboj na svislou vazební desku
(NZ – napájecí zdroj vysokého napětí, OF – oddělovací filtr, P – pistole simulátoru ESD, ZO – zkoušený objekt, KZ – kontrolní zařízení) [7]

vzduchový výboj

- vybíjecí elektroda se přibližuje k ZO a výboj se uskuteční jiskrou na ZO
- přiblížení musí být co nejrychlejší
- elektroda má kulatý hrot
- používá se na nevodivé povrchy až do 15kV

- přímé působení
- nepřímé působení
 - provádění zkoušky na vazební desku v blízkosti ZO (10cm)
 - horizontální
 - vertikální
 - desky musí být spojeny se zemí referenční deskou



Rozsah zkušebních úrovní pro elektrostatický výboj			
Kontaktní výboj		Vzduchový výboj	
Úroveň	Zkušební napětí kV	Úroveň	Zkušební napětí kV
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
x	zvláštní	x	zvláštní

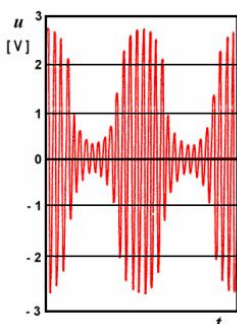
Výběr zkušebních úrovní

Třída	Nejnižší relativní vlhkost %	Antistatický materiál	Syntetický materiál	Nejvyšší napětí kV
1	35	x		2
2	10	x		4
3	50		x	8
4	10		x	15

19. Testování odolnosti VF signálem šířeným prostorem

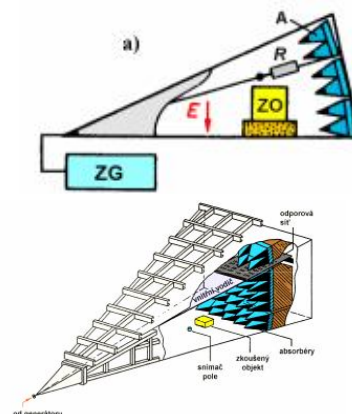
ČSN EN 61000-4-3

- technické vybavení pro tuto zkoušku je velmi drahé
- rozsah frekvencí
 - o nejčastěji v rozsahu 80MHz až 1000MHz
 - o v současnosti rozšířen až do 2GHz
- v pásmu (80 – 1000) MHz norma předepisuje zkušební úrovně intenzity elektrického pole 1, 3, 10, 30 V/m
- úrovně odpovídají efektivním hodnotám intenzity pole harmonického nemodulovaného signálu
 - o pro zkoušku odolnosti je tento signál amplitudově modulován do hloubky 80% harmonického napětí 1kHz



- časový průběh zkušebního vf.signálu (zkušebního pole)
- zvolený typ modulační plně vyhovuje pro posouzení odolnosti zařízení i vůči jiným rušivým vf.signálům
- amplitudová modulační vlnou 1kHz je realizačně jednoduchá, univerzální a co do výsledků zkoušek odolnosti tak přísná jako jiné typy modulační, např. pulzních

- principem je ozařování zkoušeného objektu příslušnými úrovněmi pole pomocí vhodných antén
- různé intenzity elektromagnetického pole – 3 úrovně rušení
- různá poloha zkoušeného objektu a antény
- různá polarizace antény
- měření v samostatně elektromagneticky stíněné místnosti
 - o Faradayova klec
 - o bezodrazová komora
- **vybavení:**
 - o VF generátor
 - o zesilovač
 - o anténa – všesměrová
 - o filtry na kabelech z komory
 - o vyhodnocovací zařízení
- vzdálenost min. 1m
- pole musí být homogenní → musí se kalibrovat
- **nevýhody:**
 - o vazba rozměrů zkoušeného objektu na rozměry pracoviště
 - o vznik stojatých vln → odrazy od okolních stěn
- zkoušenec na nevodivém stole
 - o od antény 3m
 - o od stěn 1m
- pro malé zkoušené – testování odolnosti pomocí **G-TEM buněk**
 - zkouška velmi náročná – finančně, prostorově, časově



20. Testování odolnosti skupinou pulzů

ČSN EN 61000-4-4

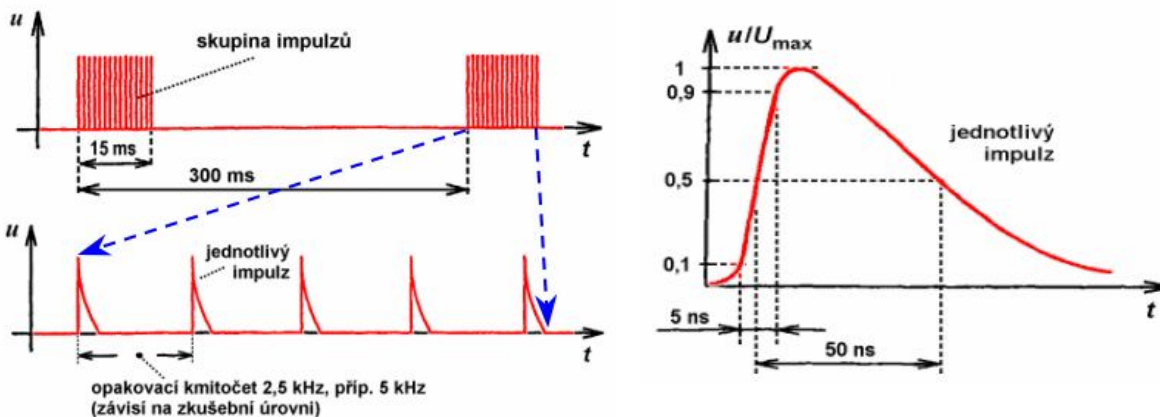
rušivé impulzy s malou energií ve formě skupin krátkých přechodných jevů (burst)

- vznikají:

- o vlivem indukčností při spínacích obvodech v napájecích, signálových či datových sítích
- o vlivem odskakování kontaktů elektromechanických relé
- o při spínání vysokonapěťových vypínačů

- vlastnosti:

- o velmi krátká náběžná hrana
- o krátké trvání
- o celkově malá energie (10^{-3}J)
- o vysoká četnost opakování
- nepůsobí přímé poškození elektronických zařízení
- svým spektrálním rozsahem až o kmitočtů cca 200MHz vyvolávají významné VF elektromagnetické rušení
- jedna z nejpoužívanějších metod pro její výhodnost a bezpečnost → málokdy dojde k destrukci
- rychlé elektrické přechodové jevy seskupené do přesně definovaných skupin impulzů (tzv. burst)



- o náběžná hrana každého impulzu je 5 ns
- o délka impulzu 50 ns
- o počet impulzů v každé skupině je stejný a je dán dobou 15 ms, po kterou generátor jednotlivé skupiny vytváří
- o opakovací kmitočet impulzů ve skupině 5 kHz a opakují se po 300 ms
- ⇒ parametry platí pro výstupní zátěž generátoru 50Ω

21. Testování odolnosti rázovým impulzem

ČSN EN 61000-4-5

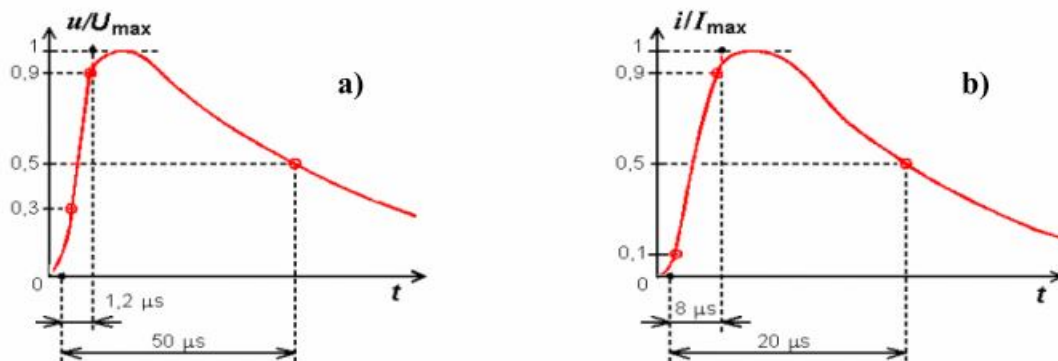
- původ

- bleskový výboj
- přepětové jevy

- charakter rázové vlny – vysoká energie 50J, které se mohou projevovat i tepelnými účinky
- kmitočtové spektrum – do 1MHz

- rázový puls – dle impedance zdroje a impedance zkoušeného zařízení

- impuls napětí (naprázdno) = SURGE
 - vstupní impedance na napájecích svorkách ZO je velká ve srovnání s výstupní impedancí zdroje
- impuls proudu (nakrátko)
 - vstupní impedance je relativně malá



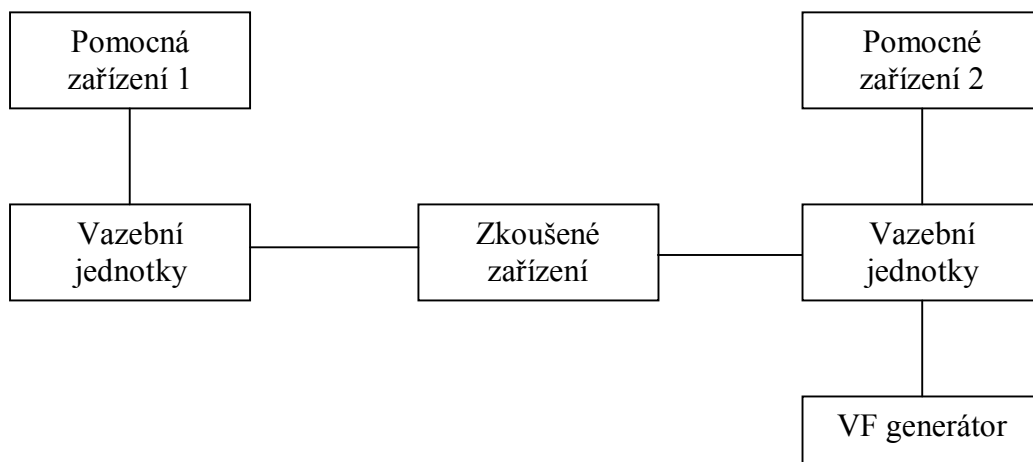
Obr. 7.11. Zkušební signál rázové vlny napětí naprázdno (a) a rázové vlny proudu nakrátko (b)

- zkouška:

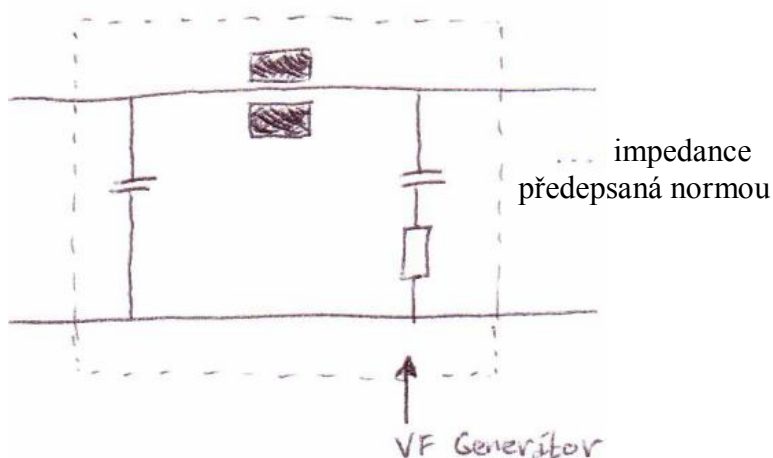
- 5 kladných, 5 záporných impulzů
- superponují se na základní harmonickou s posunutím o $0^\circ, 90^\circ, 270^\circ$
- zkoušení izolačního stavu zařízení

22. Testování odolnosti VF signálem šířeným po vodičích ČSN EN 61000-4-6

- rušení indukované VF polem a šířená po vedení
- rozsah kmitočtu: 1kHz – 270MHz
- různé úrovně rušivého signálu



- **zkušební pracoviště:**
 - zdroj VF pole – generátor, zesilovač, vazební členy
 - oddělovací členy – eliminace vnějších rušivých polí
 - přístroje pro měření úrovně rušení
 - přímá aplikace – odpor 100Ω
 - nepřímá aplikace – speciální kleště
- **vazební jednotka**
 - zajistí reprodukovatelnost zkoušky
 - plní úlohu filtru
- **problémy**
 - impedanční přizpůsobení v širokém frekvenčním rozsahu
 - řeší se pro malé zkoušence GTEM



- **výhody**
 - žádné speciální požadavky
 - menší náročnost na zařízení
- **nevýhody**
 - impedanční přizpůsobení v širokém frekvenčním rozsahu

23.-25. Testování odolnosti elektromagnetickým polem

ČSN EN 61000-4-8

ČSN EN 61000-4-9

ČSN EN 61000-4-10

- elektronická zařízení pracující v blízkosti rozvodů nízkého či vysokého napětí, v průmyslových a elektrárenských provozech (příp. v blízkosti středně- a vysokonapěťových zařízení), jsou pod vlivem silných magnetických polí vyvolaných proudy těchto zařízení

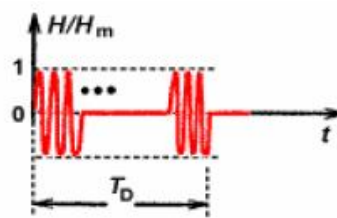
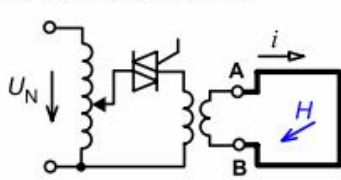
○ pole

▪ harmonická o síťovém kmitočtu

• ČSN EN 61000-4-8

- magnetické pole síťového kmitotu
- **původ** – provozní proud, poruchový proud
- určené pro zařízení průmyslové instalace v elektrárnách a rozvodnách VN, VVN a veřejných, distribučních sítí

nf. síťového kmitočtu



Ustálený provoz

$$H_m = 1 \dots 100 \text{ A/m}$$

T_D = doba zkoušky

Krátkodobý provoz

$$H_m = \dots 1000 \text{ A/m}$$

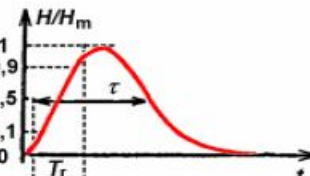
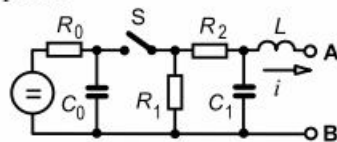
$T_D = 1 \dots 3 \text{ s}$

▪ pulzní s krátkou dobou trvání

• ČSN EN 61000-4-9

- vznikající:
 - důsledkem poruchových stavů a zkratových proudů zařízení
 - důsledkem proudových impulzů blesku

pulzní



$$H_m = \dots 1000 \text{ A/m}$$

$$T_r = 6,4 \mu\text{s}$$

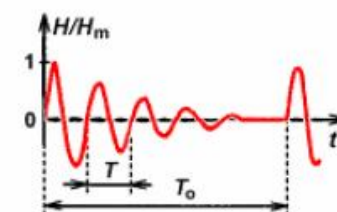
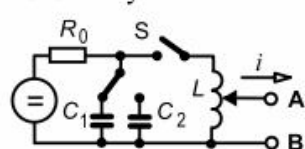
$$\tau = 16 \mu\text{s}$$

▪ VF exponenciálně tlumená

• ČSN EN 61000-4-10

- tlumené kmity magnetického pole
- **původ** – přechodový jev při spínání sběrnic – simulace spínacích procesů

tlumené kmity



$$H_m = \dots 100 \text{ A/m}$$

$$H = 0,5 H_m$$

po 3 až 6 periodách

$$f = 1/T = 0,1/1 \text{ MHz}$$

$$f_o = 1/T_o = 40/400 \text{ Hz}$$

⇒ ve všech 3 testech je testované zařízení vkládáno do magnetického pole v podobě cívky napájené různým zdrojem proudu → normovaná anténa = rám 1x1m, přikládáme k objektu ze všech 3 rovin

Teoretický úvod:

1) Magnetické pole síťového kmitočtu:

Příčinou vzniku magnetického pole síťového kmitočtu je přítomnost vodičů, přístrojů nebo systémů protékanych proudy síťového kmitočtu. Zkouška se používá pro všechny typy zařízení určených pro veřejné nebo průmyslové sítě nn a pro rozvodny.

Pro zkoušení zařízení malých rozměrů se k vytvoření magnetického pole používá jednozávitová cívka normalizovaných rozměrů (čtverec o délce strany 1 m). Pro zkoušky větších zařízení jsou v normě ČSN EN 61000-4-8 popsány další možnosti provedení indukčních cívek. Zdroj proudu sestává z regulátoru napětí, proudového transformátoru a jednozávitové cívky.

2) Pulzní magnetické pole:

Příčinou vzniku pulzního magnetického pole je přítomnost vodičů, přístrojů nebo systémů protékanych proudy způsobených atmosférickými výboji. Zkouška se používá pro všechny typy zařízení určených pro veřejné nebo průmyslové sítě nn a pro rozvodny.

Pro zkoušení zařízení malých rozměrů se k vytvoření magnetického pole používá jednozávitová cívka normalizovaných rozměrů (čtverec o délce strany 1 m). Pro zkoušky větších zařízení jsou v normě ČSN EN 61000-4-9 popsány další možnosti provedení indukčních cívek.

Zkušební generátor je jednorázový generátor impulzního proudu obou polarit v rozsahu 100 až 1000 A, s dobou čela $6,4\mu\text{s} \pm 30\%$, dobou trvání půltýlu $16\mu\text{s} \pm 30\%$. Zdroj musí být synchronizovatelný s napětím sítě. Tyto parametry splňuje generátor rázových impulzů (surge generátor).

Zkušební úrovně: (dle normy: ČSN EN 61000-4-8, resp. ČSN EN 61000-4-9)

1) Magnetické pole síťového kmitočtu:

Úroveň	Spojité H [A/m]	Krátkodobé (1-3s) H [A/m]
1	1	---
2	3	---
3	10	---
4	30	300
5	100	1000

2) Pulzní magnetické pole:

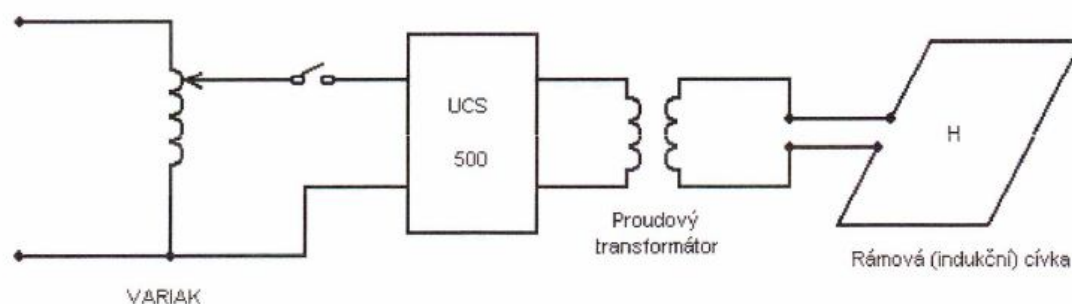
Úroveň	H [A/m]
1	---
2	---
3	100
4	300
5	1000
x	X

Zadání měření:

Proveďte měření vlivu magnetických polí (síťového kmitočtu a pulzního) ponornou metodou na zkoušený objekt – monitor; vyhodnoťte kritérium vlivu a poškození zařízení pro obě magnetická pole a obě polarity.

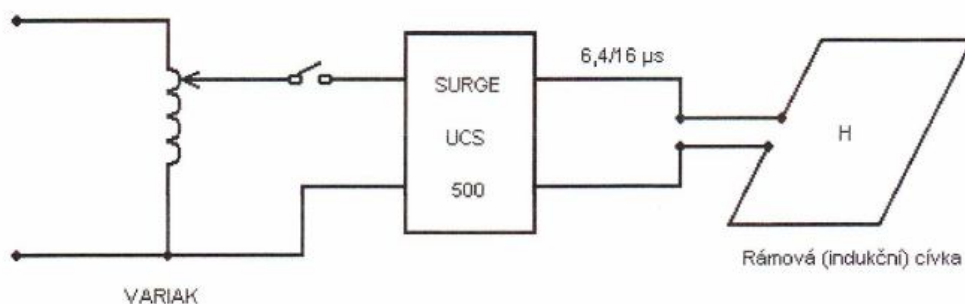
Schéma měření:

1) Zkušební sestava pro měření odolnosti proti magnetickému poli síťového kmitočtu:



- zkušební cívka: - rozměr: čtverec o délce strany 1 m
- faktor cívky: $F = \frac{H}{I} = 0,91 \text{ m}^{-1}$
- zkušební objem cívky $\pm 3 \text{ dB} \dots (60 \times 60 \times 50) \%$

2) Zkušební sestava pro měření odolnosti proti pulznímu magnetickému poli:



Měřicí přístroje:

- 1) Magnetické pole síťového kmitočtu: - simulátor rušení UCS 500
- proudový transformátor MC 2630
- jednozávitová cívka MS 100
- zkoušený objekt - monitor
- 2) Pulzní magnetické pole: - simulátor rušení VCS 500 (UCS 500)
- jednozávitová cívka MS 100
- zkoušený objekt - monitor

Měření:

1) Magnetické pole síťového kmitočtu:

a) *cívka v poloze kolmo k zemi (zkoušený monitor uvnitř cívky, obrazovka rovnoběžně s plochou cívky):*

$H [A/m]$	Kriterium	Slovní popis vlivu H
3	B	obraz lehce bliká
10	B	obraz více bliká
30	B	obraz bliká výrazně (kmitá)

b) *cívka v poloze kolmo k zemi (zkoušený monitor uvnitř cívky, obrazovka kolmo k ploše cívky – otočení monitoru o 90° vlevo):*

$H [A/m]$	Kriterium	Slovní popis vlivu H
3	B	obraz lehce bliká
10	B	obraz bliká výrazně (kmitá ve svislém směru)
30	B	obraz kmitá ve svislém směru a mění se barvy

c) *cívka v poloze rovnoběžně k zemi (zkoušený monitor uvnitř cívky – poloha jako v případě a), tedy zpět o 90°):*

$H [A/m]$	Kriterium	Slovní popis vlivu H
3	B	obraz lehce kmitá
10	B	obraz se vlní
30	B	obraz se vlní velmi výrazně

2) Pulzní magnetické pole:

a) *cívka v poloze rovnoběžně k zemi – zkoušený monitor uvnitř cívky – poloha jako v případě 1) a)*

Polarita	$H [A/m]$	Kriterium	Slovní popis vlivu H
-	100	B	řádkový přeblik
-	300	B	řádkový přeblik (silnější intenzity)
-	1000	B	řádkový přeblik (silnější intenzity)
+	100	B	řádkový přeblik
+	300	C	změna barev obrazu → „duha“ (nutná demagnetizace monitoru – „DEGAUSS“)
+	1000	C	řádkový přeblik a změna odstínu barev obrazu (nutná demagnetizace monitoru)

b) cívka v poloze kolmo k zemi (zkoušený monitor uvnitř cívky, obrazovka rovnoběžně s plochou cívky):

<i>Polarita</i>	<i>H [A/m]</i>	<i>Kriterium</i>	<i>Slovní popis vlivu H</i>
+	100	B	lehký řádkový přeblik
+	300	B	řádkový přeblik
+	1000	C	změna barev obrazu → „duha“ (nutná demagnetizace monitoru)
-	100	B	řádkový přeblik
-	300	B	řádkový přeblik
-	1000	C	změna barev obrazu → „duha“ (nutná demagnetizace monitoru)

Závěr:

Prováděli jsme zkoušky odolnosti monitoru proti magnetickým polím – magnetickému poli síťového kmitočtu a pulznímu magnetickému poli. Z výsledků měření a slovního hodnocení jednotlivých vlivů (uvedeno v příslušných tabulkách) vyplývá, že na eltech. zařízení má větší vliv pulzní magnetické pole. Především ve zkušebních úrovních 4 a 5 při kladné polaritě (výraznější vliv než při záporné polaritě) je nutná obnova zařízení – demagnetizace monitoru, tedy došlo k ovlivnění kritériem C.

26. Testování odolnosti proti krátkodobým poklesům, krátkým přerušením a pomalým změnám napětí ČSN EN 61000-4-11

krátkodobé poklesy

- náhlá změna napětí, libovolný fázový úhel začátku i konce
- úrovně: 0 – 40 – 70% U_0
- doba trvání: 0,5 – 1,5 – 10 – 25 – 50 period
- norma podrobně předepisuje zkušební postup

přerušení napětí

- výpadek napájení do 1min
- úroveň výpadku 100 – 60 – 30 % U_0
- norma podrobně předepisuje zkušební postup

pomalé změny napětí

- pokles napětí – doba sníženého napětí - doba vzestupu napětí na 100% U_0
- norma podrobně předepisuje zkušební postup

působ hodnocení obvykle – 4 kritéria (A, B, C, D)

další testy odolnosti proti rušení

- kolísání napětí
- nesymetrickým rušením 0 – 150Hz šířeném po vedení
- zvlněním na SS vstupu
- nesymetrií
- kolísáním síťového kmitočtu
- krátkodobým poklesem a přerušením na vstupech SS U

Úloha č. EMC 6N: Testování odolnosti dle ČSN 61000-4-11 – krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení, pomalé změny napětí

Teorie

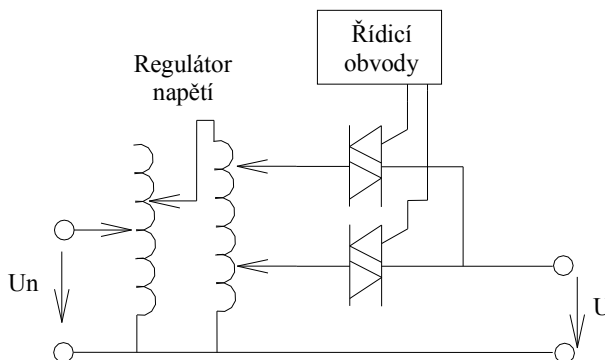
Poklesy a krátká přerušení napětí jsou způsobena poruchami v síti nízkého, vysokého i velmi vysokého napětí (zkraty, zemní spojení) nebo náhlými velkými změnami zatížení. Jejich důsledkem je vypínání stykačů, nesprávná funkce regulačních přístrojů, chyby v komutaci měničů nebo ztráta dat v pamětech počítačů. Mohou být charakterizovány hodnotami odchylky od jmenovitého napětí a dobou trvání.

Krátkodobé poklesy napětí jsou příležitostná snížení napětí přesahující 10 % – 15 % U_N s dobu trvání 0,5 periody – 50 period.

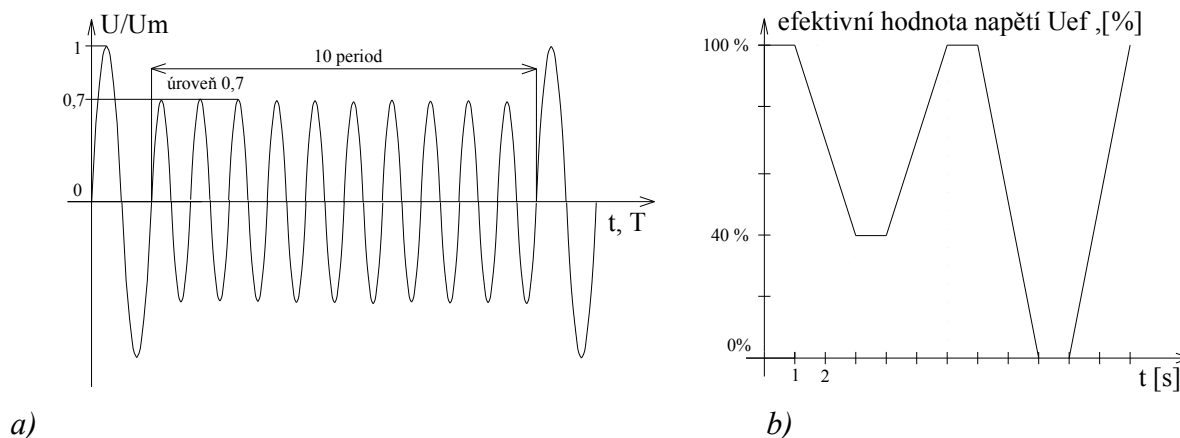
Krátká přerušení jsou krátkodobé poklesy napětí o hodnotě 100 %.

Pomalé změny napětí jsou takové změny, kdy velikost napájecího napětí klesá na 40 %, příp. 0 % U_N na dobu 1 s, přičemž doba klesání a zpětného stoupání velikosti napětí činí 2 s.

Cílem testování je prověřit odolnost zařízení napájených ze sítě nn s odběrem proudu do 16 A vůči výše uvedeným jevům. Principiální schéma zapojení je uvedeno na obr. 1. Na obr. 2a je pak uveden průběh krátkodobého poklesu napětí a na obr. 2b průběh pomalých změn napětí.



Obr.1. Schéma generátoru napěťových změn



Obr. 2 Průběhy zkušebních napětí a) krátkodobý pokles b) pomalé změny

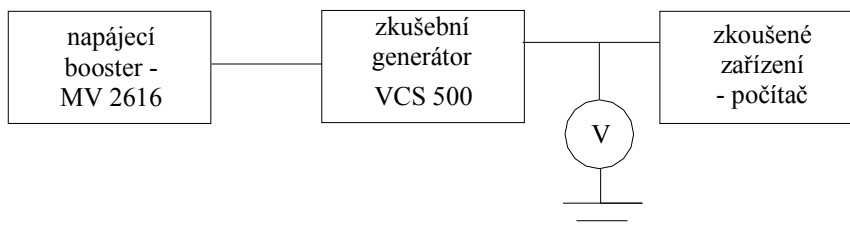
Zadání

1. Zjistěte odolnost vybraných elektrických zařízení proti krátkodobým poklesům, krátkým přerušením a pomalým změnám napájecího napětí.
2. Při měření krátkodobých poklesů napětí stanovte pro různé doby trvání těchto poklesů napěťovou hranici, do níž je zkoušené zařízení plně funkční.
3. Při měření úplného přerušení napájení stanovte maximální dobu přerušení, při které ještě nedojde vlivem výpadku k přerušení funkce zkoušeného zařízení.

Použité přístroje

generátor změn napětí	EM – TEST VCS – 500	v. č. 0402 – 37
napájecí booster	MV 2616	v. č. 1101 – 16
voltmetr	METRA MIT 16S	
počítač		

Schéma zapojení pro měření



Obr. 3 Blokové zapojení přístrojů pro měření změn napájecího napětí

Postup měření

Zkoušeným zařízením je osobní počítač, zdrojem napěťových změn je zkušební generátor VCS 500 M4 s napájecím boostrem.

Při měření krátkodobých poklesů napětí se na zkušebním generátoru nastaví hodnota, na kterou má napájecí napětí poklesnout a doba, po kterou bude tato snížená hodnota napětí na napájecí svorky zkoušeného zařízení připojena. Velikost napětí se postupně snižuje (normou ČSN 61000-4-11 je doporučeno 40 a 70 % U_N) a sleduje se odezva testovaného zařízení. Měření se provádí také pro různou dobu trvání poklesu napětí (normou je doporučeno 10, 20, 100, 200, 500 a 1 000 ms). Měření krátkých přerušení napájecího napětí se provádí stejně jako měření krátkodobých poklesů, velikost napájecího napětí je 0 % U_N . Sleduje se doba, po kterou nedojde k přerušení funkce zkoušeného zařízení.

Při měření pomalých změn napájecího napětí se na generátoru nastaví hodnota poklesu (40 % U_N), doba trvání sníženého napětí (normou doporučena 1 s ± 20 %) a dále doba klesání a doba stoupání (doporučeny 2 s ± 20 %). Sleduje se chování zkoušeného zařízení. Provozoschopnost při všech zkouškách se určí podle funkčních kritérií, uvedených v úvodu této kapitoly.

Naměřené hodnoty

zjišťování meze výpadku počítače při velikosti napájecího napětí 0% U_N :

t_d [ms]	projev změny	kritérium
150	beze změny	A
200	beze změny	A
350	beze změny	A
400	restart PC	B

Závěr

Při testu odolnosti dle ČSN 61000-4-11 jsme zjišťovali mez odolnosti počítače při výpadku napětí. Při postupném prodlužování doby přerušení napájení jsme zjistili, že počítač přestává být ve stabilním stavu při době přerušení rovné 400ms.

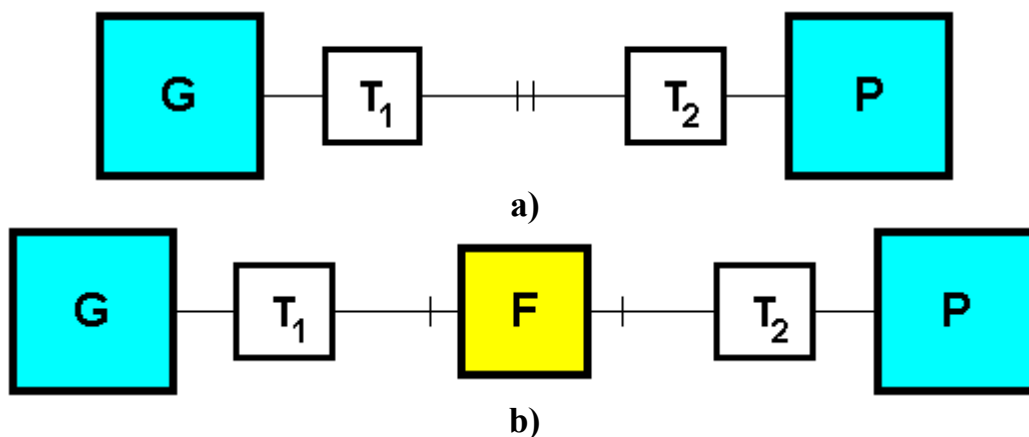
27. Měření tlumících vlastností filtrů

- základní metody a postupy měření odrušovacích filtrů včetně definice základních pojmů z této oblasti jsou obsaženy v české technické normě **ČSN CISPR 17 „Metody měření útlumových charakteristik pasivních vysokofrekvenčních filtrů a odrušovacích součástek”**

- vznikla v roce 1981 překladem mezinárodní normy CISPR 17
- rozlišuje **dvě varianty měření útlumových charakteristik filtrů:**
 - **měření filtru bez zátěže**
 - proměřovaný odrušovací filtr není zatížen i nominálním pracovním napětím a proudem užitečného (napájecího) signálu
 - **měření filtru při (plné) zátěži**
 - filtr je při měření současně zatížen plným pracovním proudem a napětím, pro nějž je určen
 - žádoucí provádět zejména u napájecích (síťových) odrušovacích filtrů
 - velké provozní proudy a napětí mohou způsobit změnu parametrů i hodnot použitých tlumivek a kondenzátorů proti stavu bez nominální zátěže
- metodika měření základních útlumových parametrů je stejná pro měření filtrů bez zátěže i při jejich zatížení provozním proudem a napětím.
- norma nepředepisuje zcela jednoznačně kmitočtový rozsah měření útlumových charakteristik odrušovacích filtrů
 - většinou proměřovány v kmitočtovém pásmu 10 kHz až 1 GHz, při měření síťových filtrů
 - při určování symetrické složky vložného útlumu v kmitočtovém rozsahu do 30 MHz
 - pro získání úplné představy o chování filtru v celém možné pracovním kmitočtovém pásmu jsou dnes měření prováděna v rozsahu minimálně **od 100 Hz do 1 GHz**, případně výše
- **2 základní metody z hlediska obecného postupu měření vložného útlumu**
 - **absolutní metoda**
 - měření, při níž je měřena velikost napětí na výstupu filtru a z ní – a z předchozí kalibrace měřicího systému – je pak počítána hodnota vložného útlumu
 - při použití moderního měřicího vybavení s výraznými automatizačními prvky
 - provozně jednodušší
 - rychlejší
 - mnohonásobně přesnější
 - s podstatně lépe reprodukovatelnými výsledky
 - **substituční metoda**
 - útlum měřeného filtru je srovnáván s nastaveným útlumem přesného kalibrovaného zeslabovače (atenuátoru) pro dosažení stejné úrovně výstupního napětí
 - vyžaduje – kromě standardního přístrojového vybavení – ještě použití širokopásmového, proměnného a dostatečně přesně kalibrovaného zeslabovače (nastavitelný útlumový člen), příp. dalších komponent, jako jsou koaxiální přepínače apod.

○ základní uspořádání měřicí aparatury pro měření vložného útlumu filtru

- absolutní metodou bez jeho výkonové zátěže
 - měření na každém kmitočtu se zde provádí ve dvou krocích
 - v prvním kroku
 - zkoumaný filtr **F** se z měřicí trasy odstraní, tj. generátor **G** se s měřicím přijímačem **P** spojí přímo pomocí vhodného kabelu a případných útlumových či transformačních členů **T**
 - při nastavené úrovni výstupního napětí U_G generátoru **G** se čte údaj napětí na vstupu měřicího přijímače **P**, tj. hodnota U_{20}
 - do nezměněné měřicí trasy (tj. do trasy se stejnými kabely a útlumovými členy) se pak zapojí filtr **F** a při nezměněné výstupní úrovni U_G generátoru **G** se čte nová hodnota napětí U_2 na vstupu měřicího přijímače **P**



Obr.2. Měření vložného útlumu filtru bez výkonové zátěže absolutní metodou:
a) kalibrační (referenční) obvod; b) měřicí obvod.

28. Měření vlastností přepět'ových ochran

= součástky, popř. jejich kombinace, sloužící k potlačení či omezení napět'ového přepětí vznikajícího na přenosových vedeních v důsledku některých rušivých elektromagnetických dějů, např. blesku, elektrostatických výbojů, spínacích pochodů apod.

- **základní rozdělení:**

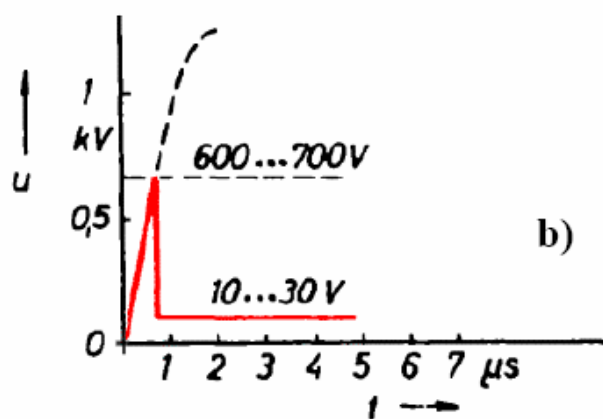
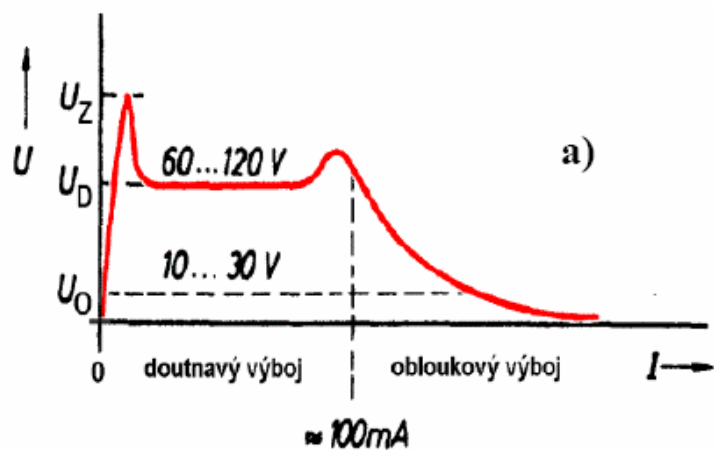
1. Prvky pro hrubou přepět'ovou ochranu

vzduchové jiskřiště

- historicky nejstarší přepět'ová ochrana
- určeno k ochraně proti vyšším napětím (řádově od 1kV do několika MV)
- tvořeno dvěma elektrodami ve vzduchu, mezi nimiž při přepětí dochází k výboji
- **nevýhoda**
 - o nízká reprodukovatelnost procesu vzduchového výboje (hodnota ochranného napětí, tj. napětí, při které dochází k výboji, je silně závislé na konstrukci elektrod jiskřiště, vlhkosti a tlaku vzduchu mezi elektrodami)
- **použití:**
 - o jen jako nepřesné (hrubé) ochranné prvky
 - např. vnějších spojových vedení v podobě jednoduchého kovového pásku odděleného vzduchovou mezerou přibližně 1mm od druhého pólu

plynem plněné výbojky (bleskojistky)

- dokonalejší a dnes nejčastěji používanou hrubou přepět'ovou ochranou
- elektrody jsou umístěny v keramickém či skleněném pouzdru naplněném vzácným plynem (argon, neon) pod slabým tlakem
- používají se jako přepět'ová ochranná součástka nebo jako galvanické oddělení vodičů, které za normálního provozu nemají být vzájemně vodivě spojeny
- přesáhne-li napětí na výbojce hodnotu tzv. **zápalného napětí** U_Z (v rozmezí několika desítek V do několika kV) => „zapálení“ výbojky => odpor výbojky prudce klesá až o deset řádů
 - o výbojka přitom přechází do režimu **doutnavého výboje** (napětí mezi elektrodami omezeno na hodnotu 60 – 120V)
 - o umožní-li impedance obvodu aby jí protékal vyšší proud než asi 100mA, přejde výbojka do režimu **obloukového výboje** (napětí klesne na nízké hodnoty 10-30V)
- velikost zápalného napětí U_Z závisí silně na strmosti časového nárůstu přicházejícího napět'ového impulsu
 - o statické zapalovací napětí U_{zstat}
 - definováno pro nárůst napětí pomalejší než 100V/s
 - typické hodnoty podle typu a konstrukce výbojky 90 – 1200V
 - o dynamické zapalovací napětí
 - definováno pro nárůst napět'ového impulsu $\frac{du}{dt} = 1kV / \mu s$
 - hodnota souvisí s reakční dobou bleskojistky a bývá v rozmezí 600 – 700V
- **nevýhoda**
 - o dlouhá doba odezvy (jednotky až 100μs)
 - o velká závislost zapalovacího napětí na strmosti nárůstu napětí
 - o nízké napětí na oblouku, které zatěžuje samovolné zhasnutí oblouku po odeznění přepětí
- **výhoda**
 - o vysoké sváděné proudy
 - o vysoká výkonná zatížitelnost
 - o velmi malá vlastní kapacita

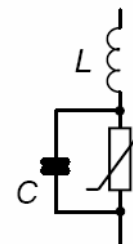
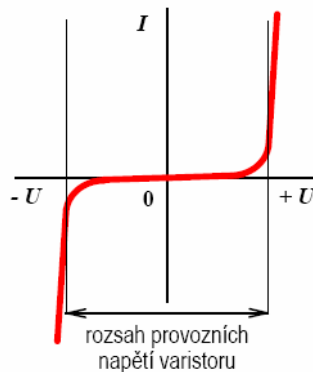


a) Statická V-A charakteristika
plynem plněné výbojky; b) časový průběh
strmého napěťového impulsu na výbojce

2. Prvky pro jemnou přepětovou ochranu

varistory

- označované jako odpory VDR
- = nelineární napětově závislý polovodičový rezistor se symetrickou A-V charakteristikou
- omezí nebezpečné přepětí na vstupu chráněného zařízení na určitou hodnotu téměř nezávislou na protékajícím proudu
- vyrábí se z kysličníku zinečnatého ZnO nebo z karbidu křemičitého SiC
- oba druhy se liší především strmostí své charakteristiky – průběh lze vyjádřit vztahem:



K...konstanta závislá na geometrii variátoru
 α ...dán použitým materiálem:

$$I = K \cdot U^\alpha$$

$$\text{SiC} \Rightarrow \alpha = 3 - 7$$

$$\text{ZnO} \Rightarrow \alpha = 25 - 40$$

- rozsah provozních napětí (neboli velikost ochranného napětí variátoru) - dle konstrukce jednotky V až jednotky kV
 - o odpor varistoru hodnoty řádu $10^{12}\Omega$
 - o variátorem protéká jen zanedbatelný proud
- při překročení velikosti ochranného napětí
 - o odpor varistoru prudce klesá na velikost 1-10 Ω
 - o variátorem může protékat proud až desítek A
- reakční doba varistoru – desítky ns
- vlastní kapacita varistoru – poměrně velká (0,4 – 40nF)
- nepříjemná vlastnost – při dlouhodobé zátěži se zvětšuje jejich svod a roste svodový proud

Zenerova dioda



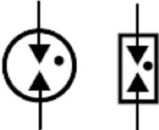
- užívané v elektronický omezovačích a stabilizátorech napětí
- pro přepětové ochrany – hodnotami Zenerova, tj. ochranného napětí od 3V do 200V

lavinové diody (křemíkové)

- pro ochranu vůči rychlým přepětovým impulzům
- vykazují vyšší proudovou zatížitelnost v závěrné Zenerově oblasti
- kratší reakční doba oproti Zenerově diodě (řádově jednotky až desítky ps)
- schopnost absorbovat větší energii signálu

▪ supresorové diody (TAZ diody)

- zapouzdřeny jako pár diod zapojených antisériově proti sobě => bipolární součástka se symetrickou V-A charakteristikou (podobnou charakteristice varistoru)
- rozsah ochranných napětí – 6 – 440V
- vysoká vlastní kapacita – až 1500pF – ztěžuje použití jako ochranného prvku ve vysokofrekvenčních systémech
- **výhoda**
 - o krátká reakční doba, která je předurčuje k ochraně zařízení i vůči velmi rychlým (krátkým) přepětovým impulzům

Název	Plynem plněné bleskojistky (výbojky)	Varistory (Voltage Dependent Resistors – VDR)	Klasické Zenerovy diody	Supresorové diody (Transient Absorbing Zener – TAZ diody)
Schematická značka				
Ochranné napětí [V]	10 ÷ 12 000	6 ÷ 2 000	2,4 ÷ 200	6 ÷ 440
Maximální proud po dobu 1 ms [A]	500	120	10	200
Max. absorbovaná energie [J]	60	2 000	0,1	1
Přípustné výkonové zatížení [W]	800	2	50	5
Vlastní kapacita [pF]	0,5 ÷ 10	40 ÷ 40 000	5 ÷ 15 000	300 ÷ 15 000
Doba reakce [ns]	> 1 000	25	10	0,01
Druh ochrany	hrubá	hrubá	jemná	jemná

29. Zásady topologie elektrických zařízení z hlediska EMC

- citlivé části vzdálit od zdrojů rušení
- oddálení silových a signálových vodičů
- minimalizace souběhů
- příchytky pro stínění (z vodivých materiálů) dávat zevnitř
- vhodné konektory – z hlediska stínění a zemnění
- krátké spoje pro zemnění
- stínění křížících se vodičů propojit
- výsuvné části – musí splňovat všechny požadavky + umožnit vzájemný pohyb

30. Zásady zemnění a pospojování

- úplné vodivé spojení se zemí
 - o provozní
 - o ochranné → bezpečnost zařízení – určité části nesmí být pod napětím

typy zemnění:

- ⇒ nízkofrekvenční zemnění
 - o ~50Hz – 10kHz
 - o od 10kHz se neuplatňuje skinefekt (proud je vytlačován k povrchu)
- ⇒ vysokofrekvenční zemnění
 - o nad 10kHz – umožňuje skinefekt a vlnové pochody

nízkofrekvenční pracovní zemnění

- ustálené napětí proti zemi i proti vzniku napětí > 1000V do sítě
- proti vzniku napětí vznikajícím při bleskových jevech

nízkofrekvenční ochranné zemnění

- propojení živých částí (společná uzemněná soustava)
- $U_{\text{dotykové}} < 65\text{V}$ – mezi zemničem a místem, kde se osoba dotýká země

zemniče = zařízení svedená do země (slouží k vodivému spojení se zemí)

- Strojené – obvodové sítě
- Nahodilé- pouze jako pomocné

zemní odpor = odpor mezi zemničem a zemí (stálá místa spoje = koroze)

vysokofrekvenční zemnění

- absorpce elektrického náboje, který vzniká při provozu zařízení
 - stálost hodnoty zemního potenciálu (snaha o udržení)
- při analýze EMC nezapomenout, že VF signál se šíří i prostorem > analýza možná pouze na modelu topologického prostoru
- ideální zemnicí plocha :

- malá L - připojení jednotlivých částí > krátké přívody
- velká C - jímací prostor náboje
- dostatečně velké rozměry
- nízkaimpedanční materiál > velká vodivost

typy zemnění:

- bez galvanického spojení
- jednobodový zemnicí systém
- vícebodový zemnicí systém

zásady:

- citlivé obvody zemnit jako NF a VF systémy
- zemní spoj co nejkratší a s co největším povrchem
- zemnění nepoužívat jako zpětný vodič
- zemnit na místa s minimálním potenciálem
- 1 bodové používat i pro stínění kabelů
- délka spoj. Vodiče < 1/6 vlnové délky »když se používá vícebodové zemnění

31. Elektromagnetické stínění, principy a vlivy

- důležitý odrušující prostředek EMC » vytvoření přepážky

- zmenšení rušivého vyzařování na straně zdrojů rušivých signálů
- zvýšení EM odolnosti na straně přijímačů rušivých signálů

materiál – látky, které jsou odrazuschopné – kovové materiály

- rozhraní lom/odraz: $n_2/n_1 = \sin \alpha_1 / \sin \alpha_2$ (index lomu)

- mechanická krytí – ochrana před vnějšími vlivy – klima, teplo, chemické vlivy...
- elektromagnetické stínící kryty – bariéry – nutná další hlediska

- stínění se používá až po vyčerpání ostatních metod EMC

$$\text{koeficient stínění } K_s = \frac{E_s}{E_{BEZ}} = \frac{H_s}{H_{BEZ}}$$

E_s, H_s ...intenzita v určitém bodě stínícího prostoru

E_{bez}, H_{bez} ...intenzita pole dopadajícího na stínící překážku (bez stínící plochy)

- logaritmická míra koeficientu stínění K_s :

$$= \text{účinnost stínění } SE = 20 \log \frac{1}{K_s} \quad [\text{dB}]$$

- při různých stíněních jsou na obou stranách stínění různé výsledky pro E a K

- **konstanta šíření** (= vlnové číslo) rovinné elektromagnetické vlny ve vodivé prostředí stínící

překážky: $\gamma = \sqrt{j\omega\mu\sigma}$

EM vlna

- část se odrazí
- část pronikne do stínící vrstvy - část se změní na teplo
- část se utlumí

$$SE = R[\text{dB}] + A[\text{dB}] + M[\text{dB}]$$

Útlum odrazem = R

- závisí na vodivosti překážky (velikosti impedance $Z_0 \gg Z_M$)
- odrazení R vzniká vlivem částečného odrazu energie vlny na impedančním rozhraní

$$R = 20 \log \left| \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4Z_0 Z_M} \right| \quad [\text{dB}] \quad Z_0\text{-impedance prostředí; } Z_M\text{- impedance materiálu}$$

Útlum absorpcí = A

- omezení přeměnou na jinou energii – teplo

$$A = 20 \log \left| e^{-\gamma t} \right| = 20 \log e^{\frac{t}{\delta}}$$

$$\text{- závisí na tloušťce překážky } t \text{ a hloubce vniku } \delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}$$

Mnohonásobný odraz

- je-li tloušťka stínění $\gg \delta$ hloubka vniku ($t \gg \delta$) → můžeme vícenásobný odraz zanedbat

$$SE \sim R + A$$

- je-li $t \ll \delta$ → je útlum záporný [-dB] => snižuje celkovou účinnost stínění překážky

Netěsnosti stínění – otvory, netěsnosti, ventilace, přívodní kabely, sklo (průhled)...

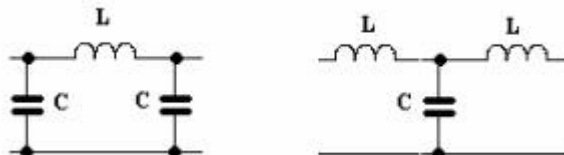
- stínění nesmí být zpětným vodičem
- lepší více malých děr než-li jedna velká byť o stejné ploše
- lepší pletené stínění než kompaktní

32. Filtrace s použitím kapacitních prvků - kondenzátory, průchodky

- kondenzátor se používá v nejpoužívanějším filtru → síťový filtr (50-60Hz, 250V, 0,5-16A)

Dolnofrekvenční (obvykle zvaná dolní) propust

- zadrží všechny vyšší kmitočty a dobře propouští kmitočty nízké (protože je v sérii cívka, která pro vyšší kmitočty představuje postupně stále větší odpor)
- vyšší kmitočty se přes ní nedostanou, ale naopak jsou svedeny kondenzátorem, který jim klade malý odpor, na druhý konec vedení (zem)
- dolní propusti tvaru P a T



Hornofrekvenční (obvykle zvaná horní) propust

- propouští dobře vysoké kmitočty a zadržuje nízké kmitočty (stejnoseměrný proud nepropustí vůbec)
- pro nízké kmitočty
 - o kondenzátor představuje velký odpor, tyto kmitočty tedy zadrží
 - o cívka ale naopak představuje malý odpor a proto je svede na druhý konec vedení (zem)
- horní propusti tvaru P a T



- **podmínka:** $Z_L \gg Z_C \ll Z_R$

Z_L ...velikost vnitřní impedance sítě

Z_C ...impedance odrušovacích kondenzátorů

Z_R ...vnitřní impedance zátěže

- kondenzátory jsou zapojeny paralelně k odrušovacímu systému

druhy kondenzátorů:

Odrušované kmitočtové pásmo	Doporučené hodnoty odrušovacích kondenzátorů
10 kHz – 0,5 MHz	5 – 4 – 2 – 1 – 0,5 μ F
0,5 – 6 MHz	0,5 – 0,25 – 0,1 μ F
6 – 30 MHz	100 nF až 1 000 pF
nad 30 MHz	méně než 1000 pF

čím vyšší kmitočet, tím nižší impedance

$$\left(X_C = \frac{1}{2\pi f C} \right)$$

elektrolytické

- pro odrušování se nepoužívají
- pro nižší teploty
- dimenzované pro SS obvody
- nízké napětí a vysoké kapacity
- **typy:**
 - o tantalové – malé rozměry
 - o hliníkové – filtrace do 25kHz; silně závislé na teplotě

keramické

- nejčastěji používané pro odrušování
- velká spolehlivost
- velký rozsah kmitočtů, kapacit a napětí

plastové

- dielektrikum – polystyren polykarbonát, polypropylen
- velký rozsah kmitočtů, kapacit a napětí (pro $f > 16\text{Hz}$)
- pro speciální účely – pro VF impulzy ($1000\text{V}/\mu\text{s}$)
- velký rozsah teplot

papírové

- ideální dielektrikum
- pro zlepšení vlastností se kombinuje s plasty
- často se používá

konstrukční provedení

- dle normalizace IEC 384-14 (ČSN 358282)

dvoupólové

- 2 vývody
- potlačení symetrických složek rušivého napětí
- pro 0 - 100MHz
- paralelně k odrušovacímu obvodu

čtyřpólové

- přes polepy protéká jmenovitý proud obvodu
- i pro vyšší než 100MHz
- odrušení symetrických i nesymetrických složek rušení

- koaxiální i nekoaxiální provedení
- **kombinované** – určeno pro domácí spotřebiče
- **speciální** – pro rušení na plošných spojích, kapacitní sběrnice, kapacitní mnohohran

bezpečnost

- třída X – případný průraz nemůže ohrozit člověka
- třída X1 – pro napěťové špičky nad 2,5kV
- třída X2 – pro napěťové špičky pod 2,5kV

- třída Y – bezpečnostní
- odrušování nesymetrických složek rušení

zásady použití

- samostatně
- ve filtrech
- minimální délka přívodů
- nad 1kHz se doporučují přechodové koaxiální kondenzátory
- rozhoduje materiál dielektrika

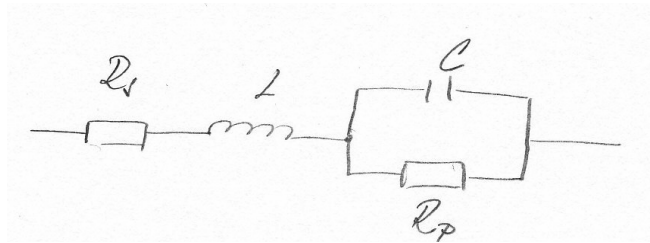
- ztráty – určuje **ztrátový činitel** $\text{tg}\delta = \frac{R_s}{X_c} = R_s \omega C$

$\text{tg}\delta = f(\text{kapacity, materiálu dielektrika, teploty, kmitočtu, napětí, technologie})$

náhradní schéma:

R_p ...svodový odpor $> 1\text{MHz}$

- čím vyšší kapacita, tím nižší R_p
- indukce – elektrody + přívody
- R_s – přívody – kontakty

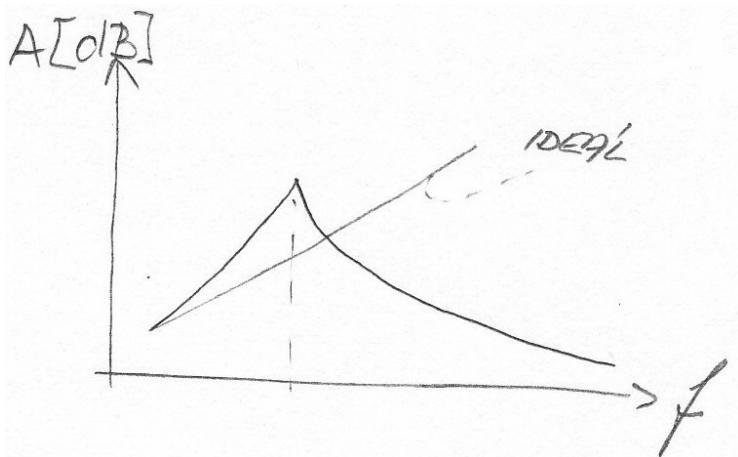
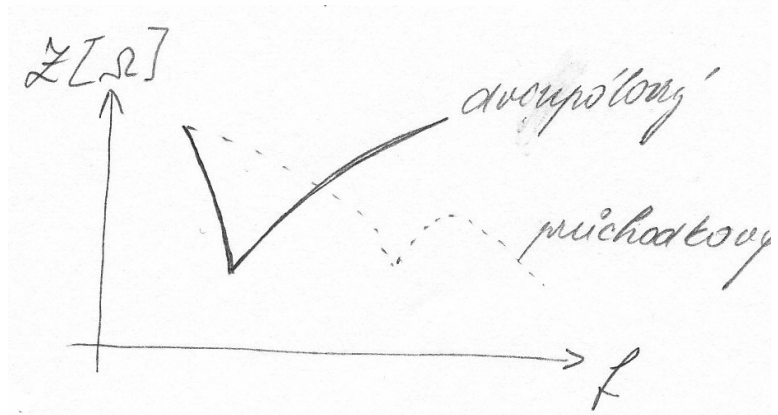


- při zanedbání R_p :

$$|Z_0| = \sqrt{R_s^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \approx A \dots \text{útlum [dB]}$$

- rezonance:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



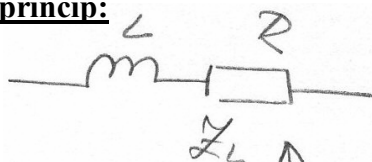
33. Filtrace s použitím indukčních prvků

- tlumivky, transformátory, feristory

TLUMIVKY

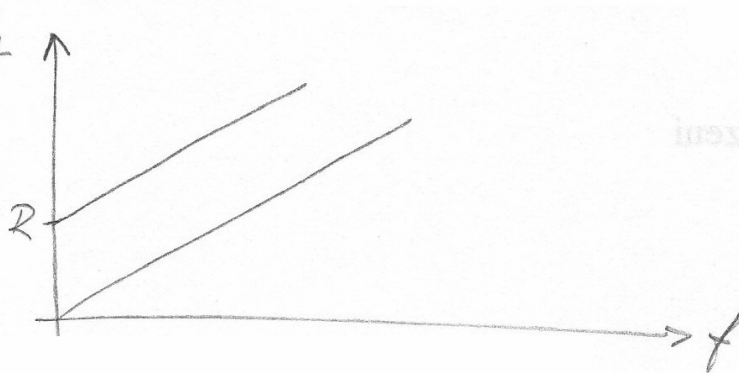
- obecně:
 - velký objem
 - vysoká cena
 - široký výběr na trhu
- z velké části nelineární prvky (feromagnetika)
- **odrušovací efekt** je funkcí proudu – vědomě je závislý na frekvenci a frekvence ovlivňuje impedanční poměry
- nutné brát v úvahu uplatnění dalších parametrů (RLC obvod, vliv kmitočtu, teploty, zatížení)
- výpočet může být perfektní → skutečnost může být jiná
- lepší postup: orientační výpočet → praktické ověření → úpravy → doladění

- princip:



$$X_L = 2\pi fL$$

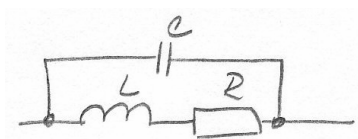
- tlumivka - lineárně závislá impedance na frekvenci



dva druhy:

- potlačení symetrické složky rušení
- potlačení nesymetrické složky rušení (tlumivky s proudovou kompenzací)

- náhradní schéma



$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$X = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

R ... činné ztráty tlumivky

C...celková kapacitance (mezi závity, proti zemi, proti jádru)

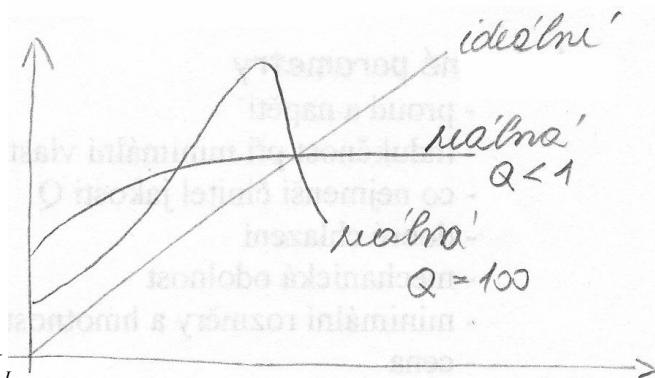
při určité frekvenci: $X_L = X_C$

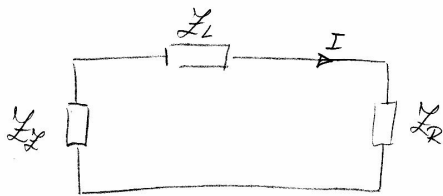
$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- rezonance: $Z = R$

- **rezonanční kmitočet:** $f_0 = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

- ztráty – ztrátový činitel, **jakost tlumivky:** $Q = \frac{2\pi fL}{R} = \frac{X_L}{R}$





L...tlumivka
R...zdroj rušení
Z...zdroj napájení

tlumí když: $Z_R \ll Z_L \gg Z_Z$

- **činitel potlačení:** $K = \frac{Z_R + Z_Z}{Z_R + Z_Z + Z_L}$
- **vložený útlum tlumivky:** $A = 20 \log \frac{1}{K}$
- **mezní dolní kmitočet:** $f = \frac{Z_Z + Z_R}{2\pi L}$

vlastnosti tlumivek

- optimalizace návrhu – rozměry, váha, cena
- vysoký rezonanční kmitočet
- velké činné ztráty (činitel jakosti $Q < 1$)
- úbytek napětí co nejmenší (ve vztahu k I)

zásady pro návrh

- východisko
 - druh odrušovaného zařízení
 - specifické požadavky
- hlediska
 - výkon a napájecí napětí
 - kmitočtové spektrum
 - požadovaný útlum

členění

- tlumivky malých výkonů pro potlačení symetrické složky rušení
- tlumivky malých a velkých výkonů pro potlačení nesymetrické složky rušení, tzv. kondenzační (kompenzace magnetických toků pro pracovní kmitočet)
- tlumivky velkých výkonů pro potlačení symetrické složky rušení

sledované parametry

- proud a napětí
- indukčnost při minimální vlastní kapacitě
- co nejmenší činitel jakosti Q
- dobré chlazení
- mechanická odolnost
- minimální rozměry a hmotnost
- cena
- co nejvyšší rezonanční kmitočet
- co nejvyšší činné ztráty mimo oblast síťových kmitočetů
- nesmí se přesycovat

konstrukce

- jednovrstvé válcové
- ploché vzduchové (min. použití)
- vícevrstvé z feromagnetickým jádrem

TRANSFORMÁTOR

- charakter indukčního odrušovacího prvku → velká indukčnost + el. obdélníkový obvod
- ekonomicky výhodné
- technicky elegantní řešení

FERISTOR

- toroid, který lze nasadit na vodič za účelem odrušení
- vodič se nesmí přerušit
- prstýnek z feromagnetického materiálu
- technologie lisování prášku
- dosahuje se poměrně dobré účinnosti
 - princip:
 - tlumivka s jedním závitem – velká počáteční permeabilita, velké ztráty
 - $Z_{Fe} \sim 100 - 200 \Omega$ při $f > 100\text{Hz}$
- účinné pouze pro obvody s nízkou impedancí – napájecí obvody, rezonanční, spínací obvody polovodičových součástek, výkonné zesilovače,...
- účinnější kombinace – feristor + průchodkový kondenzátor
- násobení účinku zvětšením počtu feristorů (max. 3kusy)

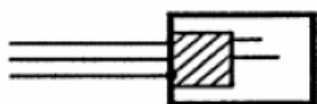
34. Odrušovací filtry, principy, druhy

- k dokonalejší ochraně před působením vysokofrekvenčního rušení šířícího se po vedení
 - o nejčastěji filtry LC typu dolní propust, které bez potlačení propouštějí signály (proudy) s kmitočtem nižším než je určitý mezní kmitočet f_m a naopak tlumí složky, jejichž kmitočet je vyšší než tento mezní kmitočet

síťový odrušovací filtr

= filtr zapojený do energetické napájecí sítě či do napájecího vstupu přístroje

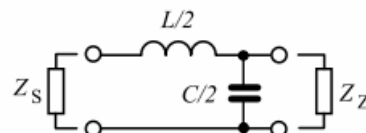
- v současné praxi EMC nejčastější filtr
- důležitá konstrukce i správné umístění na odrušovacím zařízení
- odrušovací prvky zabudované do kovových stínících krytů



správné!!!

- vlastnosti filtru a velikost jeho vloženého útlumu závisí jednak na jeho vlastních parametrech, jednak na impedančních parametrech zdroje i přijímače rušení
- použití filtru na energetickém napájecím vstupu zařízení nesmí zhoršit provozní podmínky vlastního zařízení ani napájecí sítě nebo ohrozit jejich správnou činnost

- výpočet síťového odrušovacího filtru spíše orientační charakter
- většina dnes navrhovaných a používaných síťových filtrů LC je sestavena ze základních Zobelových článků typu L, Γ , T či Π a jejich kombinací
- volba vhodného typu článku závisí zejména na známých či předpokládaných velikostech impedancí připojené sítě Z_S a zátěže filtru $Z_Z \rightarrow$ výchozí LC článek

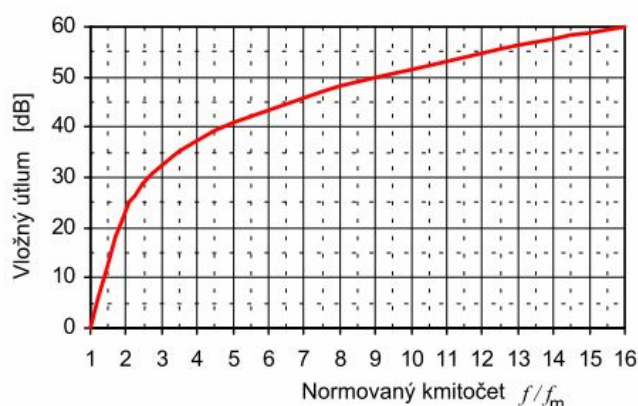


- při výpočtu hodnot prvků L a C článků dolních propustí vycházíme z požadované hodnoty mezního kmitočtu f_m a z požadované velikosti vloženého útlumu na určitém kmitočtu f v pásmu nepropustnosti

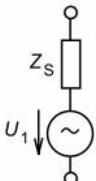
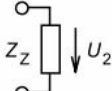
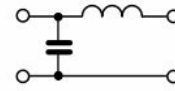
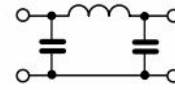
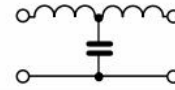
- pro hodnoty prvků filtru platí:
$$L = \frac{2R}{\omega_m}; C = \frac{2}{R\omega_m}$$

- charakteristický odpor R se volí tak, aby byl přibližně roven vnitřnímu odporu

- ω_m ... mezní kmitočet filtru
$$\omega_m = \frac{2}{\sqrt{LC}}$$



Obr. 4.13. Vložený útlum základního jednoduchého článku T a Π typu dolní propust v pásmu nepropustnosti

Sít'	Impedance sítě	Struktura základního článku filtru	Impedance zátěže	Zátěž
	nízká		vysoká	
	vysoká		nízká	
	neznámá, asi vysoká		neznámá, asi vysoká	
	neznámá, asi nízká		neznámá, asi nízká	

filtry NEMP, LEMP (EMP)

= zvláštním druhem síťových odrušovacích

- pro ochranu elektronických zařízení proti působení rušivých impulzů velké intenzity
- na vstupu zapojeny ještě součástky omezující přepětí (bleskojistky, varistory, ochranné diody apod.)
- použití – tam, kde je nebezpečí výskytu přepětíových pulzů v důsledku bouřek, spínacích pochodů apod. schopných ohrozit správnou funkci zařízení

filtry TEMPEST

- slouží k zamezení úniku informací předávaných telekomunikačními zařízeními a zařízeními pro přenos dat, které mohou být zneužity nepovolanými osobami
- tajná specifikace filtrů a liší se filtr od filtru
- velmi jakostními parametry:
 - vysoký útlum 80 až 100 dB ve velmi širokém kmitočtovém rozsahu (od 10kHz až 1GHz)
- tvořen mnohastupňovým řetězcem článků LC umístěných ve vysoce kvalitním elektromagneticky stíněném a hermeticky uzavřeném pouzdru se speciálními vstupními a výstupními konektory

datové filtry

- k omezení rušení na datových a signálových vedeních
- základní odlišností od síťových filtrů je nižší pracovní proud a napětí
- požadavkem je velká strmost útlumové charakteristiky mezi propustným a nepropustným pásmem (u síťových odrušovacích filtrů je tato vlastnost nepodstatná) - lze splnit jen pomocí vícestupňového filtru LC
- zapojují se přímo na desky plošných spojů telekomunikačních zařízení

35. Způsoby řešení problémů s výpadky napájení

UPS = „záložní zdroj energie“

= „nepřerušitelný zdroj energie“

- zařízení nebo systém, který zajišťuje souvislou dodávku elektřiny pro zařízení, která nesmějí být neočekávaně vypnuta
- obvykle zapojen mezi primární zdroj elektřiny a vstup napájení chráněného zařízení
- mezi nejčastěji chráněné systémy patří:
 - telekomunikační zařízení
 - počítačové systémy
 - systémy zajišťující chod letišť
 - nemocniční přístroje
 - ...
- funguje na principu akumulátoru
 - pokud není dodávka elektřiny z primárního zdroje přerušena, je UPS udržován v nabitém stavu
 - v okamžiku přerušení dodávky elektřiny zajišťuje napájení zařízení až do svého vybití nebo obnovení dodávky
 - doba, po kterou UPS udrží zařízení v chodu, je dána kapacitou akumulátorů a dalšími parametry; pohybuje se od několika minut po několik hodin
- slouží jako ochrana proti dalším problémům rozvodné sítě

Typy UPS

Off-line

- nejjednodušší typ
- proud prochází ze vstupu přímo na výstup, při přerušení napájení se pomocí relé přepne na výstup z měniče napětí
- není schopen žádné úpravy napětí

Line-interactive

- poměrně mladý, nejpoužívanější typ
- dokáže provádět úpravu napětí i bez použití akumulátorů
 - např. pomocí funkce boost (posílení) či buck (potlačení) dokáže zvyšovat resp. snižovat výstupní napětí, aby se co nejvíce blížilo předepsanému napětí

Online UPS

- nejpokročilejší a zároveň nejdražší
- při provozu napětí nejdříve projde filtry, poté se sníží a usměrní a poté se zase zvýší na 230V
 - jelikož je potřeba snížit a usměrnit obrovské proudy na akumulátorové napětí
 - jsou tyto UPS velmi drahé
 - mají větší „výhřevnost“
 - hodí se jen na velmi specifické použití
- jedou prakticky pořád z baterií (které se neustále dobíjejí), tudíž na výstupu je vždy onstantní napětí

Typy problémů

- existuje 9 obecných typů problémů s napájením z veřejné elektrovodné sítě, které UPS mohou eliminovat s možnými nebezpečími při nepoužití UPS:

Ztráta napájení (blackout)

- úplná ztráta napájecího napětí po dobu delší než 2 sinusové cykly
- způsobí, že připojená zátěž přestane fungovat

Krátkodobý pokles

- velmi krátkodobý pokles napětí o 15-20% („bliknutí světel“)
- většinou neškodné

Napětíová špička

- krátkodobé přepětí o více než 10%
- může způsobit poškození zařízení

Dlouhodobé podpětí (brownout)

- dlouhá linie nízkého napětí
- může způsobit nadměrné opotřebování spotřebičů, popř. nefunkčnost citlivých zařízení

Dlouhodobé přepětí

- dlouhá linie vysokého napětí
- způsobuje poškození/ rychlé opotřebování spotřebičů

Rušení v síti (šum)

- způsobuje elektromagnetické rušení

Změna frekvence

- odchylka od standardní frekvence (50Hz, způsobuje např. změnu rychlosti motorů, „spadnutí“ počítače)

Napětíové rázy

- mžiková špičky až 20 000V
- způsobovány přeskokem jisker při spínání a elektrostatickými výboji
- mohou mít za následek chyby dat nebo i poškození počítačů

Harmonické zkreslení

- harmonické zkreslení sinusového průběhu
- obvykle způsobeno nelineární zátěží (motory...)
- způsobuje chyby v komunikaci nebo i poškození hardware

36. Zásady ochrany proti přepětí

přepět'ové ochrany

= součástky, popř. jejich kombinace, sloužící k potlačení či omezení napět'ového přepětí vznikajícího na přenosových vedeních v důsledku některých rušivých elektromagnetických dějů, např. blesku, elektrostatických výbojů, spínacích pochodů apod.

- **základní rozdělení:**

1. Prvky pro hrubou přepět'ovou ochranu

vzduchové jiskřiště

- určeno k ochraně proti vyšším napětím (řádově od 1kV do několika MV)
- tvořeno dvěma elektrodami ve vzduchu, mezi nimiž při přepětí dochází k výboji

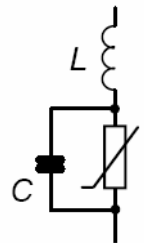
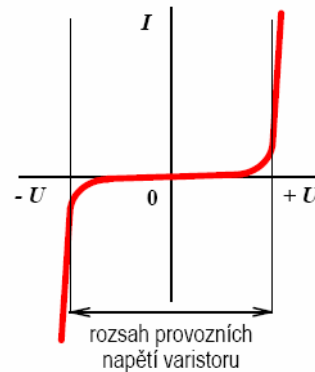
plynem plněné výbojky (bleskojistky)

- elektrody jsou umístěny v keramickém či skleněném pouzdu naplněném vzácným plynem (argon, neon) pod slabým tlakem

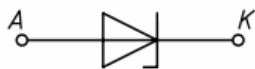
2. Prvky pro jemnou přepět'ovou ochranu

varistory

- = nelineární napět'ově závislý polovodičový rezistor se symetrickou A-V charakteristikou
- omezí nebezpečné přepětí na vstupu chráněného zařízení na určitou hodnotu téměř nezávislou na protékajícím proudu
- rozsah provozních napětí (neboli velikost ochranného napětí variátoru) - dle konstrukce jednotky V až jednotky kV



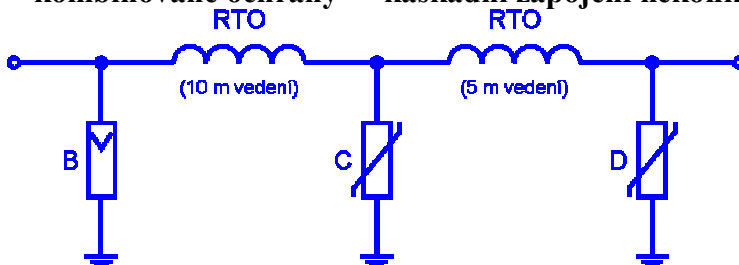
Zenerova dioda



- pro přepět'ové ochrany – hodnotami Zenerova, tj. ochranného napětí od 3V do 200V

účinná přepět'ová ochrana

= kombinované ochrany -> kaskádní zapojení několika typů ochranných prvků



B...hrubá ochrana bleskojistky v hlavním rozvaděči

C...jemná ochrana varistory v podružných rozvaděčích

D...jemná ochrana chráněné zásuvky, prodlužovačky, filtry, atd.