

TEMATICKÉ OKRUHY Z PŘEDMĚTU EMC pro školní rok 2007/2008 - LS

1. Cíle činnosti a základní opatření EMC. Charakteristické parametry signálů. → 1,2,3,4,5,6,7,8,9
2. Interní zdroje rušení (elmag. procesy v technických systémech).
3. Externí zdroje rušení (bleskový výboj, elektrostatický výboj, nukleární elmag. pulz).
4. Technické, ekonomické a legislativní aspekty EMC el. zařízení. Prohlášení o shodě. → 237-242
5. Přehled normalizace v oblasti EMC. → 173; 225-236 (237-242); 243-253
6. Elektromagnetické vazby, přehled. → 34
7. Galvanická vazba. → 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44
8. Kapacitní vazba. → 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51
9. Induktivní vazba. → 52, 53, 54
10. Vazba elektromagnetickým polem. → 55
11. Principy zvyšování odolnosti proti rušení. → 56, 57
12. Principy měření úrovně elektromagnetického rušení. → 116-172
13. Zařízení pro měření úrovně elektromagnetického rušení.
14. Pomocná zařízení pro měření úrovně elektromagnetického rušení (umělá síť, sonda).
15. Pomocná zařízení pro měření úrovně elektromagnetického rušení (antény, sondy blízkého pole).
16. Požadavky na zajištění experimentů v oblasti vysokých frekvencí. → 220
17. Zkoušky odolnosti proti elektromagnetickému rušení, principy, přehled. → 179-195 -200
18. Testování odolnosti elektrostatickým impulzem (ČSN EN 61000-4-2). -208-214
19. Testování odolnosti vf signálem šířeným prostorem (ČSN EN 61000-4-3). -213-224
20. Testování odolnosti skupinou pulzů (ČSN EN 61000-4-4).
21. Testování odolnosti rázovým impulzem (ČSN EN 61000-4-5). → 201-202
22. Testování odolnosti vf signálem šířeným po vodičích (ČSN EN 61000-4-6).
23. Testování odolnosti elektromagnetickým polem (ČSN EN 61000-4-8).
24. Testování odolnosti elektromagnetickým polem (ČSN EN 61000-4-9). } 215-218
25. Testování odolnosti elektromagnetickým polem (ČSN EN 61000-4-10).
26. Testování odolnosti proti krátkodobým poklesům, krátkým přerušení a pomalým změnám napětí (ČSN EN 61000-4-11). → 200
27. Měření tlumících vlastností filtrů.
28. Měření vlastností přepětových ochran.
29. Zásady topologie elektrických zařízení z hlediska EMC.
30. Zásady zemnění a pospojování.
31. Elektromagnetické stínění. → 32-115
32. Filtrace s použitím kapacitních prvků. Kondenzátory, průchodky. → 63-75;
33. Filtrace s použitím indukčních prvků. Tlumivky, transformátory, feristory. → 58, 62;
34. Odrušovací filtry. → 70-80
35. Způsoby řešení problémů s výpadky napájení. ... BONUS – může se zeptat na cokoliv
36. Zásady ochrany proti přepětí. → 81-31

174-178

116-172

250
253

200-206
208-214-224

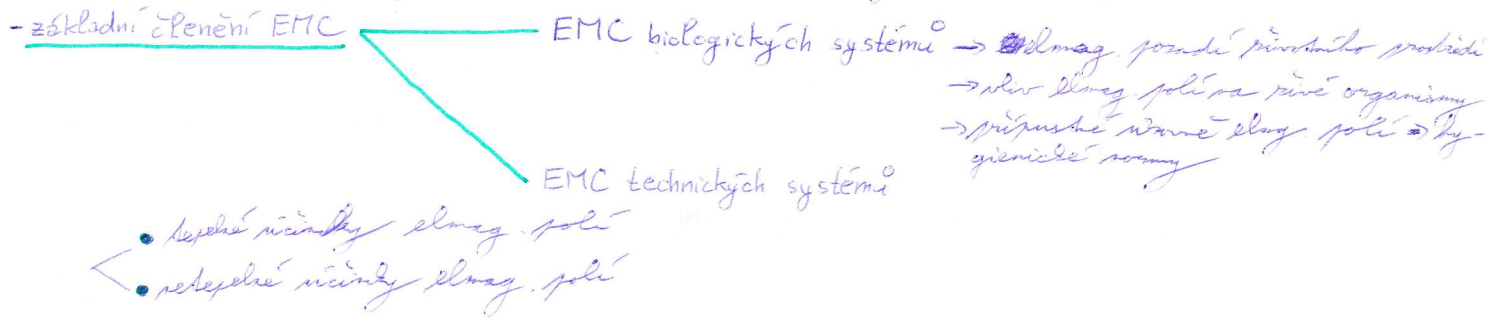


1. Cíle činnosti a základní opatření EMC. Charakteristické parametry signálu.

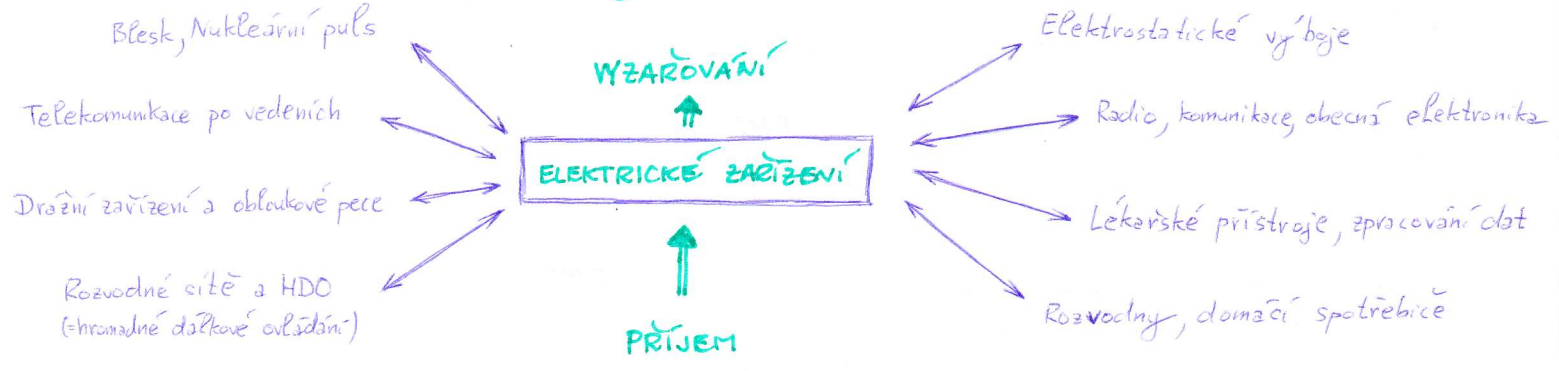
kompatibilita = schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elmag. prostředí bez vytváření nepřijatelného elmag. rušení pro ostatní v tomto prostředí

→ spolehlivost a EMC jsou neoddelitelné součásti systému → souvisí spolu

EMC = schopnost zařízení, systému či přístroje vykonávat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elmag. signálů (přirodní či umělé), a současně svou vlastní "elmag. činností" nepřijatelně neovlivňovat své okolí, tj. reprodukovat signály, jež by byly nepřijatelné rušivé pro jiná zařízení

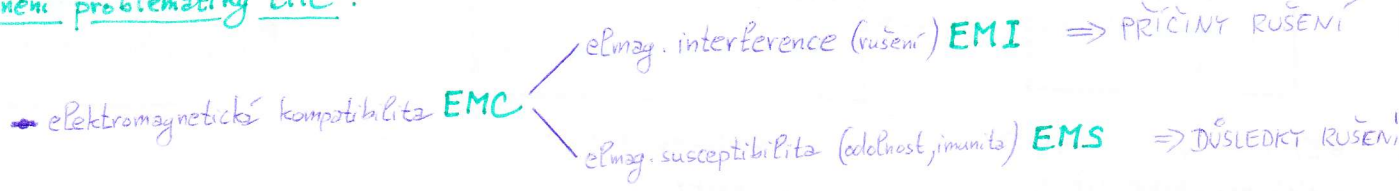


Elektromagnetické okolí



- elektromagnetické pulsy**
- NEMP → nukleární elektromagnetický puls
 - SEMP → spínací elmag. puls (switching)
 - LEMP → světelný elmag. puls (lightning)

základní členění problematiky EMC:

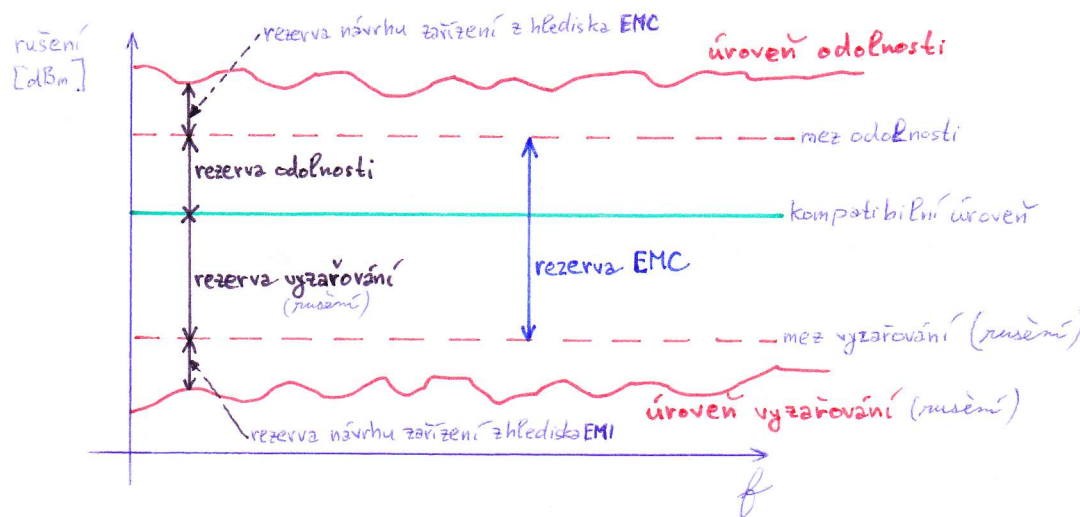


význam legislativy v oblasti EMC:

- technické
- všeobecné a právními dopadem (závažnost problematiky)
- směrnice EU 336/89 "o blízkosti podniků... EMC" - platnost v EU od 1.1.1996 (prohlášení o shodě; symbol CE)
- v ČR zákon č. 22 (z 24.1.1997) "o technických požadavcích na výrobky..." a nařízení vlády č. 196 z 25.6.1997 "Technické požadavky na výrobky z hlediska EMC" - platnosti od 1.9.1997 (prohlášení o shodě; symbol CeZ)

- charakteristika zdrojů rušení: → maximální elmag. pole:
 - blesk 20000 V/m ⇒ elektrické pole
 - vrtáčka 500 A/m ⇒ magnetické pole

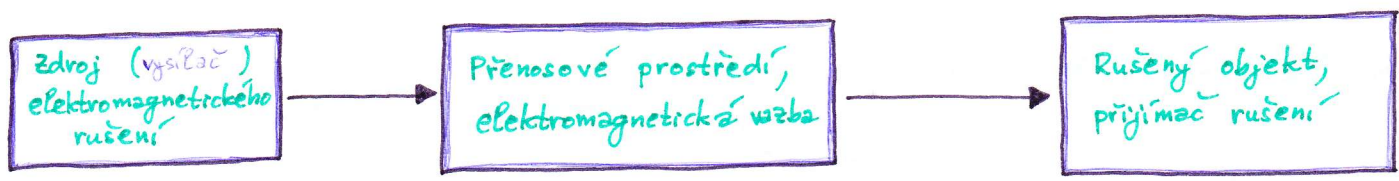
• základní pojmy EMC: → Mezinárodní elektrotechnický slovník ČSN IEC 50 - kapitola 161 „*elektromagnetická kompatibilita*“



mez odolnosti ⇒ mez vyzařování (rušení) ... zajistění rezervy kompatibility !!!

- ODOLNOST = schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elmag. prostředí bez vysvazení nepřijatelného elmag. rušení pro osobu v dané prostředí
- RUŠENÍ = vyzařování - (interference, emise) ... **EMI**
 - vedením po napájecí síti
 - vedením po datové, signální a řídicí síti
 - vyzařováním elektrického a magnetického pole
- ODOLNOST PROTI RUŠENÍ - (imunita, susceptibilita) ... **EMS**
 - proti impulsnímu rušení
 - proti VLF signálu šířeném prostorem
 - proti VLF signálu šířeném prostředím

• základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí:



- EM procesy v atmosféře
- elektrostatické výboje
 - motory, spínací, relé
 - energetické rozvody
 - polovodičové měniče
 - pářivky
 - oblačné pory, výboje
 - domácí spotřebiče
 - počítače
 - číslicové systémy
- vzdušný prostor
- zemnění
 - energetické kabely
 - napájecí vedení
 - stínění
 - signálové vodiče
 - datové vodiče
 - společná napájecí síť
- číslicová technika
- počítače
- měřicí přístroje
- automatické prostředí
- telekomunikační systémy
- systémy přenosu dat
- noklasové přijímače
- sledovací přijímače

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

- interní elmag. odolnost = odolnost systému vůči rušivým zdrojům nacházejícím se uvnitř vlastního systému
- rozlehlé systémy → jejich jednotlivé části jsou od sebe navzájem geograficky vzdálené
 - jednotlivé části mohou při svém provozu vnášet do signálových cest celého rozlehlého systému různé signály
 - př: dálkové zpracování dat
- lokální místní systémy → části jsou v jednom místním areálu
 - zdroj rušení jsou kromě vlastních signálových a napájecích vodičů i další elektrické subsystemy v daném areálu (technologické zařízení, výtahy, omeškaní)
 - př: výpočetní střediska; řídicí centra
- systémy přístrojového typu → individuální kompaktní celky
 - př: mobilní elektronika, měřicí přístroje, počítače

CELKOVÁ ELMAG. ODOLNOST

interní EM odolnost = odolnost systému vůči rušivým zdrojům nacházejícím se uvnitř vlastního systému
externí EM odolnost = odolnost systému vůči vnějším zdrojům elmag. rušení

- rozlehlé (distribuované) systémy → jednotlivé části systému jsou od sebe navzájem geograficky vzdálené
- lokální (místní) systémy → jednotlivé části systému jsou dislokované v rámci jednoho místního areálu, budovy či místnosti
- systémy přístrojového typu → individuální kompaktní celky
- externí elmag. odolnost (imunita):
 - velké množství potenciálně rušivých zdrojů rušení
 - většinou se jedná o nepravděpodobnější a potenciálně nejbezpečnější zdroje rušení
 - při externí odolnosti se stanovuje pro každý vybraný typ rušení určitá
- interní elmag. odolnost přístroje závisí na:
 - druhovém 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
 - velikosti konstrukce skříně prvků k vnějším systémům

celková elmag. odolnost (EXTERNÍ ↔ INTERNÍ):

- Interní elmag. odolnost systému je závislá na interní odolnosti jeho jednotlivých subsystemů.
- Výsledná interní elmag. odolnost systému je určena elmag. odolností jeho „nejslabšího článku“, tj. subsystemu s nejnižší vlastní elmag. odolností.
- Výsledná externí elmag. odolnost systému může záviset na jeho interní elmag. odolnosti, neboť zde může docházet k negativnímu sledování různých rušivých vlnění, a tím ke snížení celkové odolnosti systému.

- kritéria elmag. odolnosti ⇒ definované meze rušení funkcí technického zařízení či systému
 - kvantitativní mez odolnosti → dosažená určitá hodnota (bodů) vybrané měřené veličiny (útlum)
 - kvalitativní (funkční) kritérium EM odolnosti → posouzení změny provozního stavu či ovlivnění funkčnosti zařízení

-3 základní funkční kritéria:

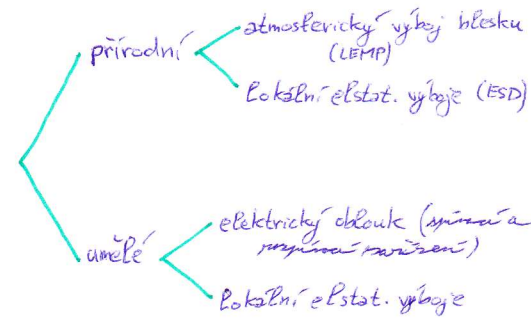
- Funkční kritérium A → není dovoleno žádné porušení činnosti zařízení či ztráta jeho funkce během zkoušky ani po ukončení zkoušky.
- Funkční kritérium B → je dovoleno porušení činnosti zařízení během zkoušky, ne však změna provozního stavu zařízení ani změna dat v paměti. Po skončení zkoušky není dovoleno žádné porušení činnosti zařízení či ztráta jeho funkce.
- Funkční kritérium C → je dovolena dočasná ztráta funkce zařízení, pokud se po skončení zkoušky odolnost obnoví sama nebo může být obnovena vnitřním systémem či zásahem operátora dle návodu k používání zařízení.

3. Externí zdroje rušení (bleskový výboj; elstat. výboj; nukleární elmag. pulz)

rušivé signály a jejich zdroje:

- ← přírodní (přirozené)
- ← umělé (technické)
- ← funkční
- ← nefunkční (parazitní, nežádoucí)
- ← impulzní (měřkové)
- ← spojitě
- ← kvazi-impulzní
- ← úzkopásmové
- ← širokopásmové
- ← nízkofrekvenční
- ← vysokofrekvenční (radiové)

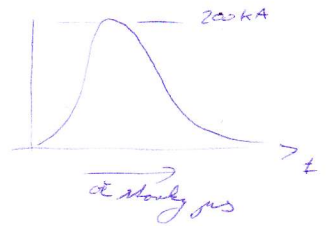
zdroje napětového přepětí:



bleskový výboj:

LEMP

- eldtrický výboj mezi centry blesku a pásového náboje jednoho nebo více oblaků, mezi oblaky a zemí
- po přechodu protibleskové elektrické výboje se vytvoří viditelný kanál ionizovaným a ionizovaným (plysnem) vzduchem
- z elektrických účinků blesku vyplývají účinky světelné, tepelné, akustické (na hřímění), mechanické a chemické
- rušivý nářez až do vzdálenosti cca 4 km
- velikost proudového impulzu blesku až 200 kA
- maximální proud až do kmitočtu cca 100 MHz
- úroveň blesku
 - ← přímý (nízký)
 - ← nepřímý



elektrostatický výboj:

- elektrostatika = část nauky o elektrické, která se zabývá jevy v elektrostatickém poli v okolí elektrických nábojů, které v závislosti na čase vznikají a svou velikostí, ani svou polohou
- přítomnost elstat. nábojů často vyvolává nežádoucí jevy:
 - nepříjemné fyziologické účinky na člověka (výboje v místnostech a nevhodnou podlahovou krytinou)
 - nebezpečí výbuchu a požáru
 - poškození elektronických součástí

• lokální elstat. výboje → vznikají tam, kde se vyskytuje buď pohyb neelektrických částí (kovových a nebo dielektrických - prach, kapalých a plynných)

- vlivy:
 - pracovní obsluhy mají nevhodné oblečení a kůže, umělé vysokého elstat. napětí
 - tvrdé stoli, židle, podlahové krytiny jsou z měkkých kůží s vysokým izolačním odporem
 - v místnosti je málo vlhkost vzduchu

nukleární elmag. pulz: ... NEMP

↳ polostmí rušení → dosah nářek až tisíce km
→ širší spektrum 100 kHz - 100 MHz

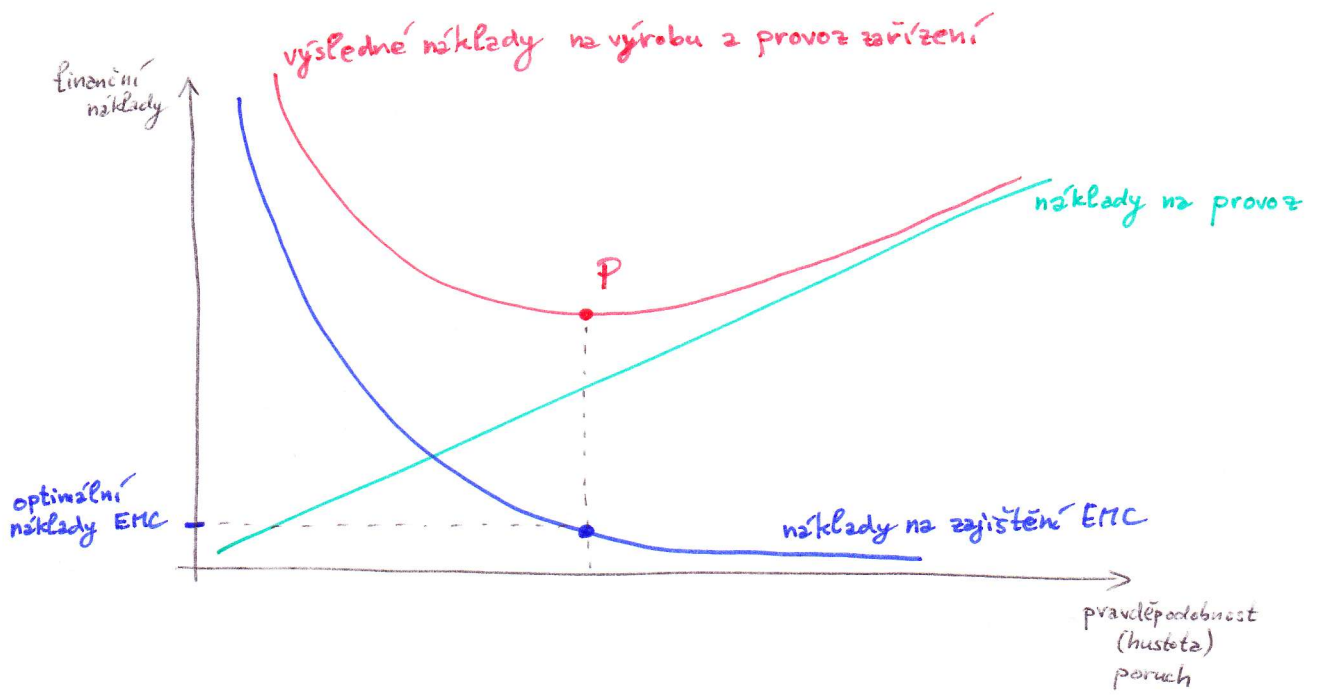
srovnání parametrů LEMP a NEMP:

	E_{max} [kV/m]	H_{max} [A/m]	nábožná hrana [ns]	kmitočtové spektrum	dosah účinku
LEMP	10-100	100-1000	100-1000	1kHz - 5MHz	jednotlivý km
NEMP	30-100	100-1000	5-8	0,1MHz - 100MHz	stovky až tisíce km

1) LEGISLATIVA V OBLASTI EMC. PROHLÁŠENÍ O SHODĚ

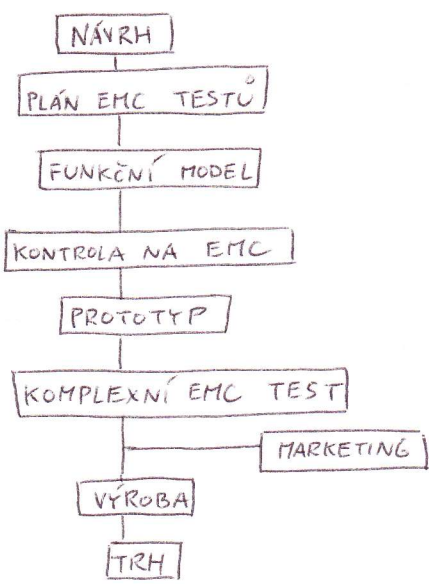
- Evropská unie v rámci příprav společného trhu správných oblastí obličejní právních káctví jednotlivých členu
- Směrnice Rady EU č. 89/336/EEC - o obličejní zákoni členských státi slyhající z EMC
- platnost v EU od 1.1.1996 → od tohoto data musí výrobci zboží předávat na evropský a mezinárodních úroveň resp. všechny úrovně směrnici
- od 1.8.1996 musí být výrobce zboží vlastní obličejní a namontované předávání a provozování v zemích EU označeny značkou shody CE (která výrobce navrhuje, při který výrobce vyhovuje normativním předpokladům kladným na který výrobce)
- ČR
- zákon č. 22/1997 Sb. - o technických předpokladech při výrobě
- nařízení vlády č. 169/1997 Sb. - kterým se stanoví technické předpokladě na výrobě z hlediska země EMC
- výrobky před uvedením na trh musí být označeny českou značkou shody (CCZ)

• optimalizace finančních nákladů pro zajištění EMC zařízení:



① TECHNICKÁ, EKONOMICKÁ A ORGANIZAČNÍ OPATŘENÍ K ZAJIŠTĚNÍ EMC EL. ZAŘÍZENÍ

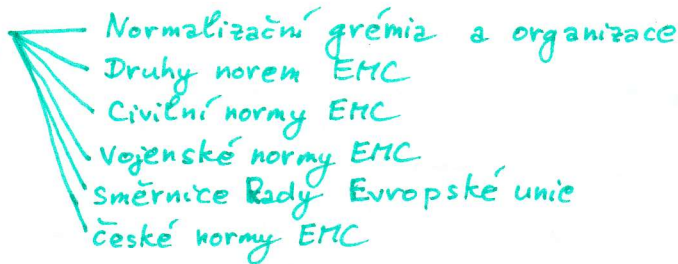
- likvidace složitého rušení - možnost omezení
- největší odlehlost objektu rušení (ne vždy → vč, rama)
- eliminace nejdůležitějšího ovlivňování pomocí přenosu
- možnost eliminace rušivých vlivů - u zdrojů
 - na přenosové části
 - u objektu rušení
- prostředky k potlačení rušivých vlivů
 - provedení úprávy - co nejdale od sebe - min. působení na sebe
- - tavnění
 - odrušovače - skřínky, kondenzátory, filtry, kompenzátory
 - ochranné přepěťové - napětí ochrany
 - odněmání
 - vhodné provedení kabelů - izolace, kabely
- zásady při řešení EMC - vhodné koncepte ochrany a topologie systému
 - symetrický přístup
 - spolupráce: kabinář - výrobce
- - optimální postup při řešení EMC - etapy
 - koncepční - určení rušivých vlivů, předložení kritických vln, odlišných částí zařízení
 - definování - kvantitativní vyhodnocení nejdůležitějších vlivů
 - vyvození - vyhodnocení tvárně pomocí kontroly EMC
 - realizace - respektování všech předchozích parametrů
 - vyhodnocení - preventivní kontrola během vývoje a realizace



5) Přehled normalizace v oblasti EMC

- systém norm je zpracovaný a kompilovaný
- normy → 3 části
 - ← základní
 - ← kmenové
 - ← výrobkové
- průběh vývoj → normy se postupně překládají
- harmonizované normy → v souladu s evropskými normami
- **základní normy** → pro definování speciální terminologie, popis a klasifikaci prostředí; definice a popis jednotlivých rušivých jevů, měřicích a srovnávacích metod; ...
 - jsou naměřeny na složky vyzařování rušení a odolnosti
- **kmenové (všeobecné) normy** → definují požadavky na složky
 - stanoví minimální soubor požadavků a testovacích metod považovaných pro výroby
 - pro spíšťování a certifikaci slovy výrobků
- **výrobkové normy** → definují složky a požadované měře vyzařování i odolnosti pro konkrétní výrobky
- české normy jsou označeny ČSN a následují označení přejímané mezinárodní normy

• Normalizace v oblasti EMC



- všeobecné normy EMC (EMC Standards)
- normy pro VĚ elmag. rušení (RFI Standards)
- normy pro elmag. odolnost (Immunity standards)
- **normy EMC**
 - ← normy rušivého vyzařování (normy pro EMI) → nejstarší a zároveň
 - ← normy elmag. odolnosti → podstatně mladší, rovněž zároveň
 - ← normy pro odrušovací prostředky → obvykle pozdě dopracované

- normalizační grémia a organizace:

- celosvětová úroveň: IEC - Mezinárodní elektrotechnická komise → TC (Technická komise) → SC (subkomise)
 - CISPR - Výbor pro rádiovou interferenci
 - ISO - (International Standard Organization) - Mezinárodní organizace pro normalizaci
 - ITU - Mezinárodní telekomunikační unie
- evropská úroveň: CEN - Evropská komise pro normalizaci
 - CENELEC - Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice
 - ETSI - Evropský institut pro normalizaci v telekomunikacích - normy ETS (a EMC)

→ cílem evropských normalizačních orgánů je vytvoření celoevropské sítě platných jednotných (harmonizovaných) norem.
- národní úroveň: ČSN - Český normalizační institut
 - ↳ Technická normalizační komise TNK 47 "Elektromagnetická kompatibility"
 - ↳ reviduje existující české (všeobecné) normy ČSN v oblasti EMC
 - ↳ přebírá a předkládá světové a evropské normy EMC
 - ↳ harmonizované normy ČSN - ČSN IEC; ČSN CISPR; ČSN EN; ČSN ETS

• druhy civilních norem EMC:

- **ZÁKLADNÍ NORMY** (Basic Standards) → určují všeobecné podmínky pro dosažení EMC konkrétních technických produktů. Byly normy ustanovují konkrétní měře rušení či měře odolnosti, ani žádná vyhodnocovací kritéria.
 - např.: ČSN-EN-61000-2(3;4); ČSN CISPR 16

- KŘEŤOVÉ NORMY - (specie standards) → určují minimální požadavky a testovací metody EMC pro výrobky EMC pro všechna technická zařízení podle typu elektromagnetického prostředí (obyčejná, průmyslová, speciální, ...)

- mají: všeobecné normy ČSN EN 50081, ČSN EN 50082

- PŘEDMĚTOVÉ NORMY - (Product Standards) → definují detailní požadavky a testovací metody EMC pro jednotlivé výrobky a skupiny podobných výrobků a zařízení (dev. normy výrobce; případně normy skupin výrobků)

- mohou být povazovány za následující skupiny výrobků:
 - mobilní telefony pro domácnost, kancelářské stroje a přístroje, přenosné elektronické přístroje, apod.
 - průmyslová zařízení; lékařská zařízení
 - zařízení informační techniky a telekomunikací
 - televize; dopravní a průmyslová zařízení; vojenské a testovací zařízení

• civilní normy EMC ← **závažné** = mají charakter zákona (nařízení Rady EU č. 89/336/EEC)
doporučené = mají charakter doporučení (normy profesionálních sdružení organizací, ...)

• vojenské normy EMC → nejprůkazovanější pro univerzálnost → převládají vojenská NATO

- rozdíly vůči civilním:
 - povahou detekce spíchovejch hodnot (PEAK) → civilní = kvazispíchovejch (QUASIPK)
 - dlouhší nížší povolené mezí hodnoty elmag. rušení
 - dlouhší větší povolené úrovně elmag. odolnosti
 - dlouhší širší komitativní rozsah měření a testování

- Normy EMC lze rozdělit do 4 oblastí:

• všeobecné normy EMC → ČSN EN 50081 - EMC - všeobecná norma týkající se rušení
 → ČSN EN 50082 - EMC - všeobecná norma týkající se odolnosti

- tyto všeobecné normy lze považovat jen tehdy, když pro dané zařízení neexistují příslušné normy → pokud ano, mají přednost!
- platí v pásmu 0 Hz - 400 GHz a neztlačují se na zařízení s vyřazením elmag. vln pro radioelektronické vlny

• normy pro NF elmag. rušení → ČSN IEC 1000-2-1 - Úroveň prostředí - elmag. prostředí pro NF rušení široké vedení a signály nevojenských rozvodných sítí
 → ČSN IEC 1000-2-2 - Kvalitativní úroveň pro NF rušení široké vedení a signály nevojenských RStříd místního rozsahu
 ...
 (ČSN IEC 1000-2-3; ČSN EN 61000-2-4; ...)

• normy pro VF elmag. rušení

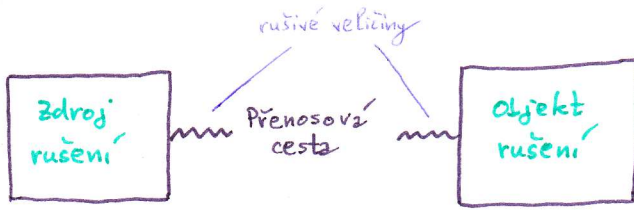
- zařízení třídy A → el. zařízení k používání ve všech oblastech mimo domácnost, přírodní regiony vyjma se soustavou sítí NN složených budov
- zařízení třídy B → vhodné k použití v domácnostech a oblastech připojených k soustavě sítí NN složených budov

• normy pro elmag. odolnost

- ČSN EN 61000-4-1 - Průhled ohledně odolnosti → uvádí přehled existujících způsobů odolnosti včetně jejich stručného popisu
- ČSN EN 61000-4-2 - Elektromagnetický výboj
- ČSN EN 61000-4-3 - Vyvolané VF EM pole
- ČSN EN 61000-4-4 - Rychlé elektromagnetické přechodné jevy / impulzy
- ČSN EN 61000-4-5 - Průběhy impulzů
- ČSN EN 61000-4-6 - Odolnost proti rušení širokého vedení, indukovanému VF poli
- ČSN EN 61000-4-8 - Magnetické pole přirozeného kmity
- ČSN EN 61000-4-9 - Pulzy mag. pole
- ČSN EN 61000-4-10 - Sluneční kmity mag. pole
- ČSN EN 61000-4-11 - Magnetické pulzy, přechodné přenosy a pomalé změny magnetického pole
- ČSN EN 61000-4-12 - Oscilační elmag.

6. Elektromagnetické vazby, přehled.

• vzájemné působení dvou objektů → ovlivňování:



→ rušivé veličiny jsou směrem přenosu
 → zdroj rušení a objekt rušení jsou buď samostatné objekty nebo část součásti nebo soustavy, ale pak je třeba oddělit „výrobce“ a „příjemce“ rušení

• Formy přenosu (VAZBY)

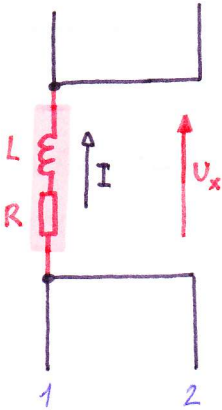
GALVANICKÁ VAZBA (= vazba společnou impedancí)

KAPACITNÍ VAZBA

INDUKČNÍ VAZBA

VAZBA ELEKTROMAGNETICKÝM POLEM (= vazba vyzařováním)

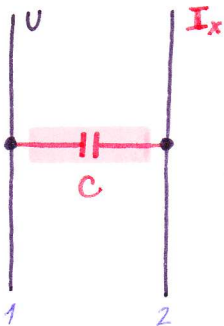
• GALVANICKÁ VAZBA: (= vazba společnou impedancí)



$$U_x = R \cdot I + L \cdot \frac{dI}{dt}$$

→ galvanická vazba je charakterizována existencí společné impedance odpovídající charakterem (převládá R nad ωL)

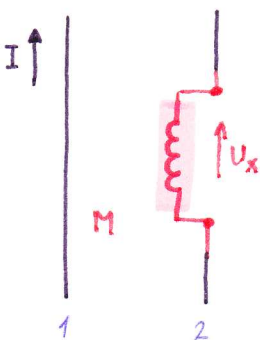
• KAPACITNÍ VAZBA:



$$I_x = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

→ ovlivňování magnetickým polem přes kapacitní velkou impedanci u obvodu s velkou vnitřní impedancí
 - při: mezi svodem kromosvodu a vedením

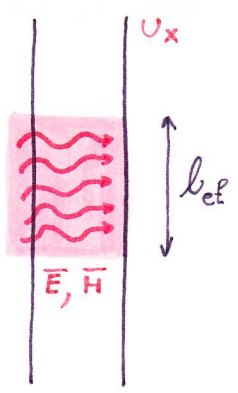
• INDUKČNÍ VAZBA: (= indukční)



$$U_x = M \cdot \frac{dI}{dt}$$

→ s malou impedancí, navzájemné proudy elektromagnetickým polem → přenos elmag. signálu na vzdálenost větší než úroveň délka přeneseného elmag. signálu
 → vytvoření smyčky, na ní působí magnetická složka elmag. pole
 → indukční vazba je dvojíma
 ← vodič + zem
 ← vodič + vodič

• VÁZBA VYZAŘOVÁNÍM = VÁZBA ELEKTROMAGNETICKÝM POLEM:

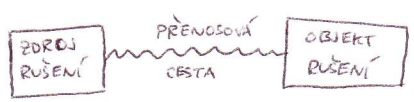


$$U_x = E \cdot l_{eff}$$

⇒ v praxi se vazby (formy přenosu) uplatňují kombinovaně, ale s převahou galvanické → eliminací procesy

- zajištění EMC → likvidace zdrojů rušení
- zvýšit odolnost objektu rušení
- eliminace vzájemného ovlivňování pomocí přenosu

• ELMAG. VÁZBY - PŘEHLED



- rušivé veličiny jsou úměrné přenosu
- zdroj rušení a objekt rušení jsou samostatné objekty a součásti jednoho zařízení, ale je třeba oddělit „vyrobce“ a „příjemce“ rušení

- Formy přenosu (vazby)
- galvanická
 - kapacitní
 - indukční
 - elmag. polem

- galvanická → charakterizováno existencí společné impedance odporového charakterem
- kapacitní → ovlivňování mag. polem přes kapacitu velkou impedancí u obvodu s velkou vnitřní impedancí
 - přesivodem kromosvodu a vedením
- indukční → u obvodu s malou impedancí, navinutované prvky
 - vytvoření smyčky, na níž působí mag. složka elmag. pole
 - dvojice
 - vodič + zem
 - vodič + vodič
- elmag. polem → přenos elmag. signálu na vzdálenosti větší než dlouhá délka přivázaného elmag. signálu

⇒ v praxi se uplatňují kombinovaně, ale s převahou galvanické

- zajištění EMC
- likvidace zdrojů rušení
 - zvýšit odolnost objektu rušení
 - eliminace vzájemného ovlivňování pomocí přenosu

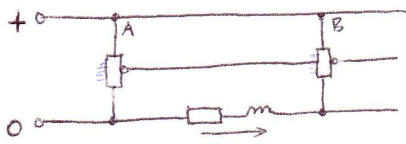
7. Galvanická vazba

- vylučení pomocí společné impedance

• příklady různých způsobů:

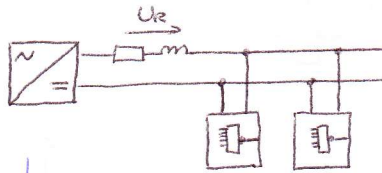
$$U_R = R \cdot di + L \cdot \frac{di}{dt}$$

a) společným proudem:



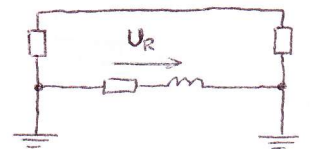
↳ ~~společný~~ vedení proudů společně

b) společným napájením:



↳ ~~společný~~ vedení napájení

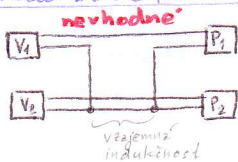
c) uzemňovacím systémem:



↳ se více bodem uzemnění

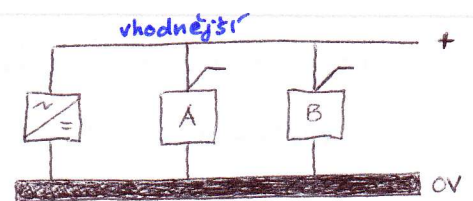
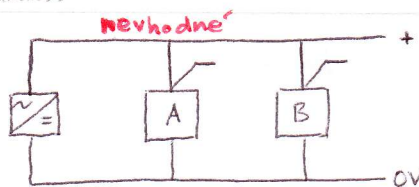
• eliminace galvanického ovlivňování: (přísty minimalizace vzeš společnou impedanci)

a) u signálových vodičů → dva samostatné obvody bez společné impedance: → redukovat společný vodič signálových vodičů

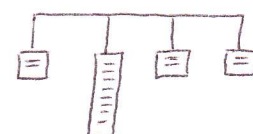
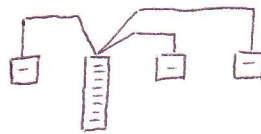


b) napájecí systém:

↳ dostatečně dimenzovat společný zemnicí vodič ⇒ zmenšit plochu

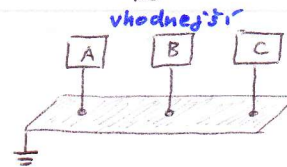
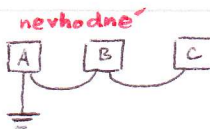


c) propojení referenčních potenciálů:



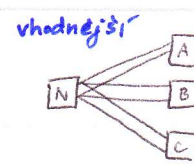
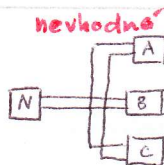
d) propojení uzemnění:

↳ ~~společné uzemnění~~ jednotlivé body připojit k ~~společnému~~ zemnicímu systému pomocí cestou minimální vodičů



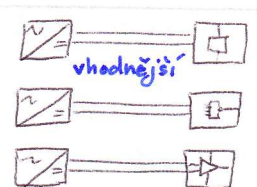
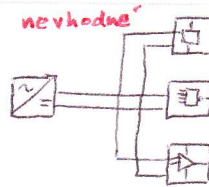
e) připojení bloku k napájecímu zdroji:

↳ vystrážit společné části napájecího přívodu k jednotlivým blokům



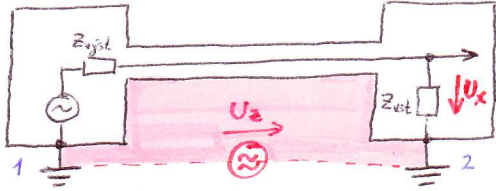
f) napájení bloku ~~na~~ různých generacích technologií:

↳ elektronická zařízení různých technologií rozdílně vybavit samostatnými napájecími zdroji



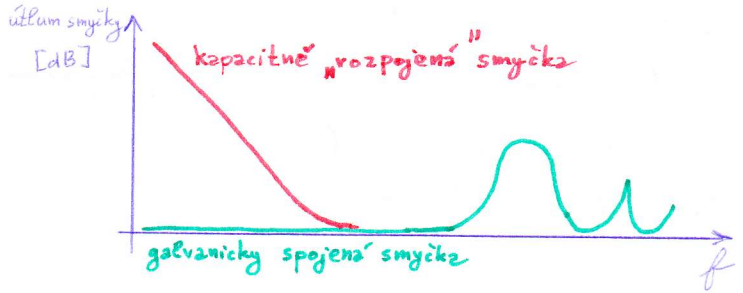
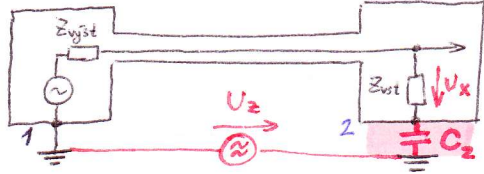
parazitní vazba zemní smyčkou: → v případě pevně dvan systému v nízkých kódech

• galvanická parazitní vazba ^{uzemnění} zemní smyčkou:



- principy zmenšení rušivého napětí → zvýšení impedance (útlum) smyčky
→ „úplně“ přerušení smyčky

• rozpojění zemní smyčky:



způsoby potlačení parazitní vazby zemní smyčkou:

- oddělovací transformátor → zemní smyčka je galvanicky rozpojena. Glynbová parazitní vazba existuje pouze ve vyšších kmitočtech přes rozptylové kapacity C transformátoru.
→ vazba přes rozptylové kapacity C transformátoru lze zmenšit parázemím sekundního „bojníku“ pro rušivý proud mezi primárním a sekundárním vinutím transformátoru

- neutralizační transformátor, BALUN → vinutí n_1 a n_2 jsou navinuty na společném jádru v opačném směru. Magnetické toky signálových proudů se vzájemně kompenzují, magnetické toky rušivých proudů se sčítají. Neutralizační transformátor šed zvýšuje impedanci zemní smyčky pro rušivé signály, avšak mění její impedanci pro pracovní signál

- keramické kroužky, případně keramické perličky

- vedení s útlumovým pláštěm → účinek je stejný jako u povrchu feritových kroužků. Plášť vedení je vytvořen ze silně ztrátového materiálu (strátoná pryč, strátoné dielétrikum apod.) absorbujícího zsmg. rušivé signály

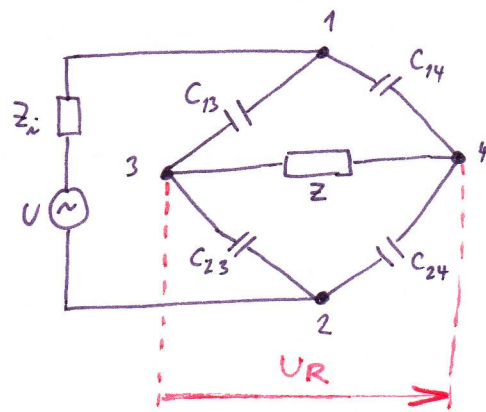
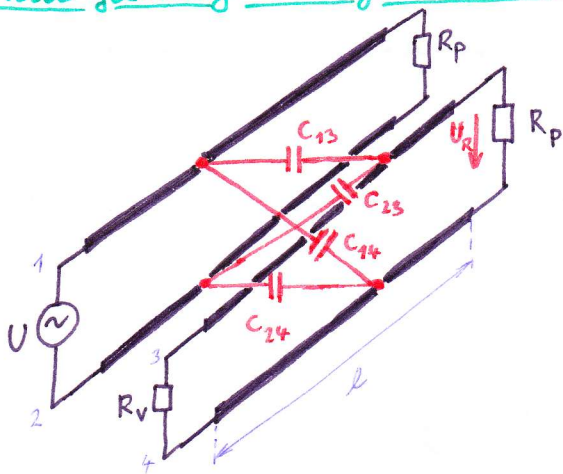
- elektromechanické relé → lze použít jen pro přenos binárních systémů. Rozptylová kapacita C má hodnotu až 5 pF.

- optičten → provádí zejména při přenosu úsilicových náhledných signálů. Rozptylová kapacita C má hodnotu až 1 pF, napětová ztráta 0,5 až 10 kV.

- optický kabel, optická linka → pro analogové i úsilicové signály
→ velmi odolné vůči elektromagnetickému šumu

8. Kapacitní vazba

• kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů:

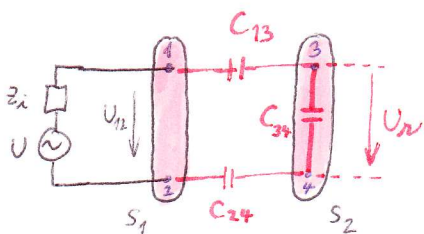


→ k mušive vazbě vedoucímu přirovnáním můstek:

$$\frac{C_{13}}{C_{23}} = \frac{C_{14}}{C_{24}}$$

- vypáření kapacitního můstku (např. $C_{13} \approx C_{23}$ a $C_{14} \approx C_{24}$) ⇒ přiblížení dvou párn vodičů (vodiče 1 a 2 a rovněž vodiče 3 a 4) případně axon směrem vedení, tj. vodičů 3 a 4

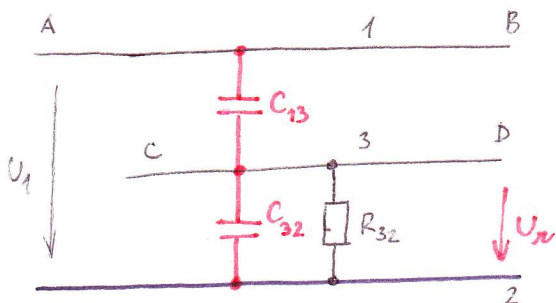
- posvětí dvoustranného stínění:



$$U_{R} = U_{12} \cdot \frac{1}{1 + \frac{C_{34}}{C_{13}} + \frac{C_{34}}{C_{24}}}$$

$$C_{34} \gg C_{13} \text{ a } C_{34} \gg C_{24}$$

• kapacitní vazba mezi obvody se společným (vzájemným) vodičem:



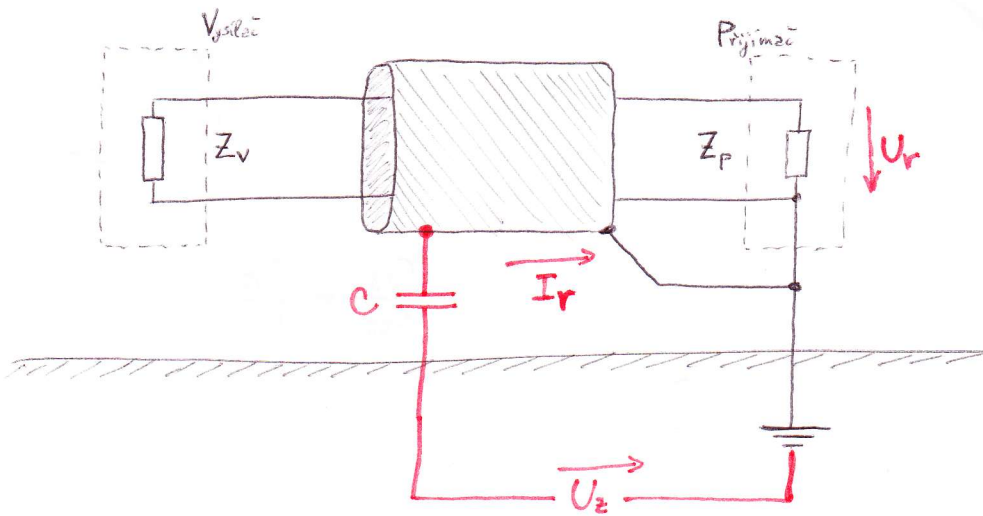
$$U_{R \max} = U_1 \cdot \frac{C_{13}}{C_{13} + C_{32}}$$

- zásady zmenšení tohoto druhu parazitní kapacitní vazby:

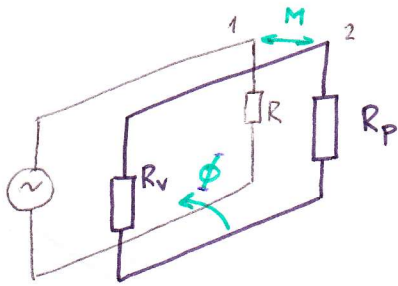
- Zmenšit parazitní kapacitní vazební kapacitu C_{13} oddělením dvou vodičů 1 a 3, co největší současně vedení, případně zmenšení jejich současně vedení, co nejmenší průřez dvou vodičů a co nejmenší hodnota permitivity izolace mezi vodiči, případně permitivity materiálu desky plošného spoje.
- Co největší kapacita C_{32} , která se vstupu ovlivňovaného obvodu omezí velikostí přeneseného množství nabití (např. stíněním publikem a stíněním vodiče 3 se vzájemným vodičem 2).
- Nízkochmové impedanční poměry v navázaném (ovlivňovaném) obvodu, tedy hodnota R_{32} udržovat minimální.

- Rychlost časových změn všech signálů (signálů) v obvodu $\Delta u / \Delta t$ omezit na minimální možnou hodnotu, postačující ke správné činnosti daného obvodu.
- Vzájemně elektricky odstínit oba odlišující se vodiče buď stíněním vodiče 3, nebo zavedením pomocného "stínícího" spoje s nulovým potenciálem na desce plošné spoje mezi vodiče 1 a 3.

• kapacitní vazba vůči zemi: → vyvolaná velkou kapacitou např. přívodu obvodu vůči společné zemi



9. Induktivní vazba



→ jsou protékány relativně velkými proudy

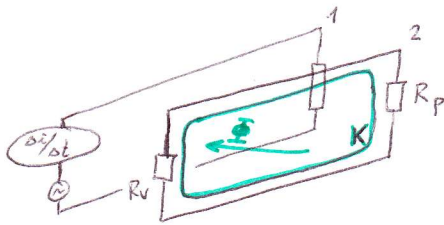
$$U_R = -\frac{d\Phi}{dt} \approx -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -S \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} = -\mu_0 \cdot S \cdot \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

$$H = \frac{I}{2\pi r} \Rightarrow U_r = -\frac{\mu_0 \cdot S}{2\pi r} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

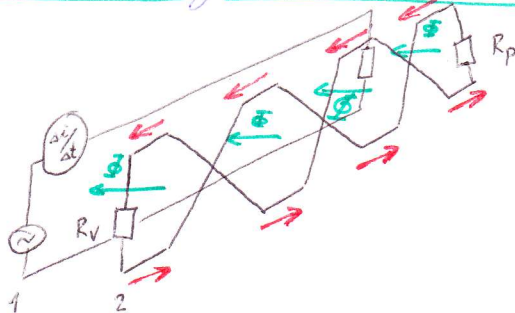
- minimální délka souběžně probíhající vodičů obou obvodů
- maximální vzájemná vzdálenost r obou vodičů
- minimální velikost proudové smyčky S rušeného obvodu (obvodu přijímače)
- minimální rychlost časových změn všech proudů (signálů) v obvodu $\frac{\Delta I}{\Delta t}$

• způsoby omezení indukční vazby:

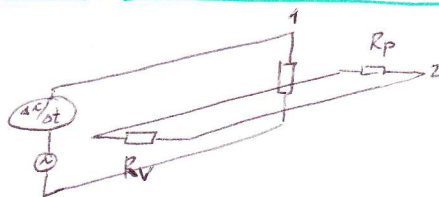
a) omezení indukční vazby pomocí pávítu K nakrútko → do rušeného obvodu se vloží pávít nakrútko ⇒ vytvoří se v něm proud, který musí účinně vytláčet



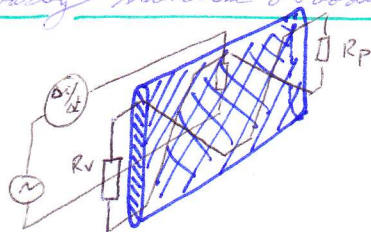
b) kompenzace indukční vazby sbrácením vodičů obvodu přijímače → převrácení směru proudu ⇒ elektromagnetické síly v jednotlivých smyčkách působí v opačném směru



c) minimalizace vazby kulovým natocím vazebních smyček → emisní plochy, do kterých se indukují elektromagnetická síla

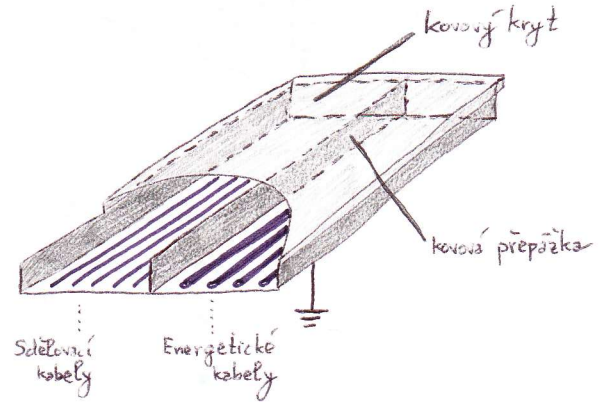
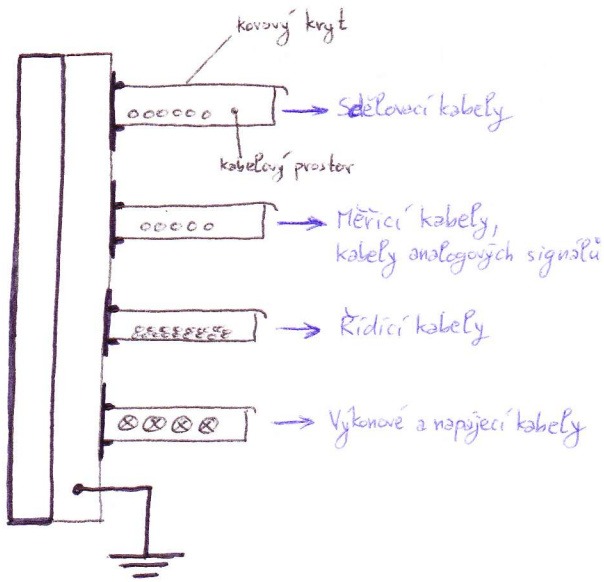


d) minimalizace vazby stíněním obvodu přijímače → stínění vodičů rušení a přeměna ho na jiný druh energie

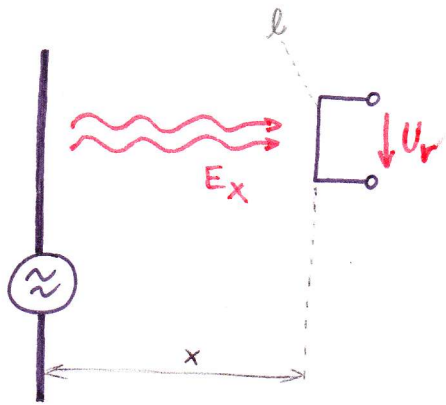


omezení parazitních kapacitních a induktivních vazeb mezi souběžnými kabely:

⇒ provádí se vedením kabelů ve stíněných schránkách



10. Vazba elektromagnetickým polem = vazba vyzařováním



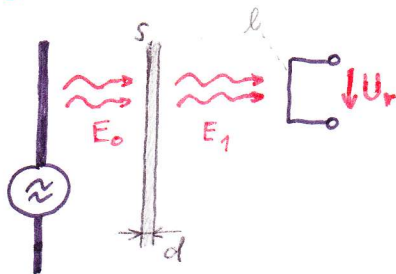
$$E_x = 0,3 \cdot \frac{\sqrt{P}}{x} \quad [V/m; kW, km]$$

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

→ zdroj je představován zdrojem elmag. signálu s jistou vnitřní impedancí (čím je větší, tím více převládá elektrická složka vlnění)



• elektromagnetické stínění = nánná ochrana (eliminace šíření vlny vyzařováním)



→ záleží na parametrech vlnění → frekvenci, charakteru

- velké elektrické složky → vodivé materiály Cu, Al
- velké magnetické složky → magneticky měkké materiály s nízkou permeabilitou
- vysokefrekvenci → vodivé materiály
- nizkofrekvenční → magneticky měkké materiály

- princip stínění → část vlnění se odrazí (vrací) do prostoru odkud přichází
→ část se pohltí ~~stínicí~~ a mění se v teplo ve stínicí ploše (materiálu)
→ část projde

- principy stínění se uplatňují i u plustků (+ přidání vodivých částic; + polovodičů)

11. Principy zvyšování odolnosti proti rušení

- eliminace (odrušování) prostředky :

- účel → snížení úrovně rušení od zdroje
→ zvýšení odolnosti zařízení proti rušení

- specifičnost zařízení - špatná aplikace → zvýšení rušení
→ ohrožení funkce zařízení
→ ohrožení bezpečnosti obsluhy

- druhy odrušovacích prostředků :

- indukční prvky → tlumivky; útlumové feromagnetické členy; síťové transformátory
- kapacitní prvky → kondenzátory vhodné pro odrušení; průchodky
- LC filtry

Způsoby omezování rušení

- odrušovací prostředky :

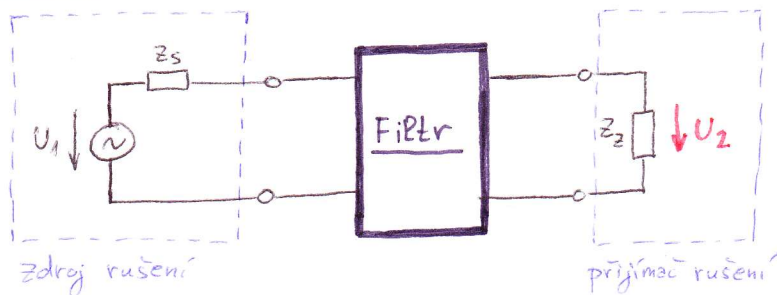
- odrušovací tlumivky a jednoprvkové tlumivkové filtry
- odrušovací kondenzátory a kondenzátorové filtry
- pasivní odrušovací filtry LC
- přepětové ochranné prvky (bleskozárky; splyn přechod ~~vyběhy~~ výběhy, varistory, omešovací diody)
- elektromagnetické, elektrické a magnetické stínění

- rušení na vedení: - odrušovací tlumivky, kondenzátory, limitátory filtry LC a omešovací přepětí

- rušení vyzařováním: - elektromagnetické stínění

→ základním parametrem každého odrušovacího prvku (filtru) je vložný útlum L :

• vložný útlum L :



$$L = 20 \cdot \log \frac{U_{20}}{U_2} \quad [\text{dB}]$$

$$L [\text{dB}] = U_{20} [\text{dB}_{\mu\text{V}}] - U_2 [\text{dB}_{\mu\text{V}}]$$

12. Principy měření úrovně elektromagnetického rušení

- experiment, pokud je dobře připraven, většinou rychleji respektuje a vysvětluje chování objektu v provozu ⇒ lépe než teorie a výpočty
- zkusobnictví → sleduje a zkoumá produkci rušivých sil na oběti
 - měření emisí (úrovně rušení) - měří se veličiny, které mají vyhovovat s tím, co se produkuje do okolí
 - kontrola schopnosti odolávat rušivým vlivům ⇒ testy odolnosti
- ideální je zkoušet objekt během provozu ⇒ je to složitější (je to málo náhodný charakter)
 - je nutná reprodukovatelnost (opakovatelnost) zkoušek pro porovnání
- metodika principů testů odolnosti - skupina sestavených metod, kterými se načrtnou rušivé vlivy vyvolávající se za provozu
 - skupina testů odolnosti, kde každý test reprezentuje skupinu rušení
- je nutné → definovat druhý elmag. prostředí = druh rušivého signálu a jeho úroveň
 - určit způsob vyhodnocování - metodika posouzení výsledku testu
 - cílem je posadit chování zařízení
- kritéria pro posouzení reakce skoušeného zařízení → posoudit buď na základě doby z výjimečné síly na základě dokonalosti daného zařízení
- obecná pravidla pro vyhodnocování testů:
 - kritérium A → skoušené zařízení na rušivý vliv reaguje
 - zařízení je imunné
 - v podmínkách elmag. rušení si skoušené zařízení zachovává všechny vlastnosti definované výrobcem
 - kritérium B → výrobky reagují na rušivý signál přechodně a po vypnutí zdroje rušení se sám vrátí do původního stavu
 - dojde ke krátkodobému snížení provozuschopnosti → jen po dobu původního rušivého signálu
 - po vypnutí rušivého signálu dojde bez zásahu obsluhy do původního stavu
 - kritérium C → návrat do původního stavu až po zásahu obsluhy („RESET“)
(např. reset u PC, degrass u monitorů)
 - kritérium D → trvalá porucha daného stavu zařízení

ZPŮSOBY A METODY MĚŘENÍ

- Přenos vedením (např. napájecím či datovým vedením daného zařízení). Měřenými veličinami jsou rušivé napětí U_r , rušivý proud I_r , případně výkon P_r rušivého signálu.
- Přenos elektrickou či magnetickou vazbou (blízkým elektrickým či magnetickým polem) mezi dvěma blízkými objekty. Parazitní vazba charakterizujeme intenzitou rušivého elektrického pole E_r nebo intenzitou rušivého magnetického pole H_r .
- Přenos vyzařováním elmag. vln (vzdáleným polem) mezi vzdálenými objekty na úroveň kmitocitách. Měřenými veličinami jsou intenzity elektrického či magnetického pole E_r, H_r , případně hustota vyzařovaného výkonu P_r rušivého signálu (velikost Poyntingova vektoru rušivého elmag. pole).

• snímače vyzařovaných rušivých signálů:

- měřicí anténa pro blízké elektrické pole E_r (pultová, dišolová)

- měřicí anténa pro blízké magnetické pole H_r (feritová, pásová)

- měřicí anténa pro vzdálené elektromagnetické pole E_r (křehká, logaritmicke prismatická, bilog)

13. Zařízení pro měření úrovně elmag. rušení

- prostředky
 - měřicí přijímač → frekvencím charakteristika
 - spektrální analyzátor → časové spektrum měřených hodnot
 - osciloskop → časový průběh (pulzů)
 - selektivní voltmetr

- důležitý společný parametr → vstupní impedance → způsob příjmu signálu

- vztah mezi časovým průběhem a frekvencím charakteristikou

$$dB = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_2} (10^6)$$

- jednotky: dB μ V
- dB μ A
- dB μ V/m
- dB μ W

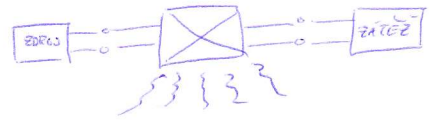
- detektory
 - střední hodnota (AVERAGE) - AV
 - špičková hodnota (PEAK) - P
 - kvazivrcholová hodnota (QUASIPeAK) - QP
 - efektivní hodnota - RMS

- měření úrovně rušení → časová závislost ... $A = f(t)$

→ závislost měřeného signálu na frekvenci $\bar{A} = F(f)$

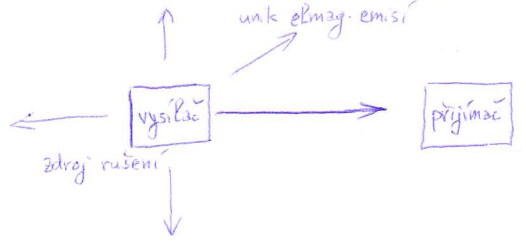
- v měřicím přístroji (přeladováni frekvence dle sledovaného f pásma) ve spektrálním analyzátoru

produkce rušení vodiči - rušení do okolí:



- měření
 - širokopásmová
 - úzkopásmová

• MĚŘENÍ ÚROVNĚ RUŠENÍ (rušivých signálů)



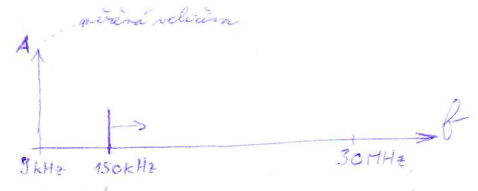
- šíření rušení

- vodiči
- pláštěm

 } měřicí přístroje se liší - liší se způsob připojení

- měřicí přístroje
 - osciloskop
 - měřicí přijímač
 - spektrální analyzátor

1) RUŠENÍ ŠÍŘENÉ PO VODIČÍCH: → měřicí přijímač:



Low komba roznesení signál stanoveny nese → měří se od 150 kHz

- měření elmag. emise:

- prostředky

- měřicí přijímač → frekvenční charakteristika (radio - přeladování)
- spektrální analyzátor → časové spektrum různých hodnot
- osciloskop → časový průběh (průběh)

- důležitý vstupní parametrem ⇒ vstupní impedance

- započítá jejího započítání

- vstřed není časovým průběhem a frekvenční charakteristikou

- měří se střední hodnota, vrcholová křivka (obalová), kvantilová křivka, efektivní hodnota:

- A** ... average - střední hodnota
- P** ... peak - vrchol
- QP** ... quasi peak - kvantilová
- RMS** ... efektivní hodnota

- jednotky (průměr): dB μ V dB μ W

dB μ A dB μ W/m

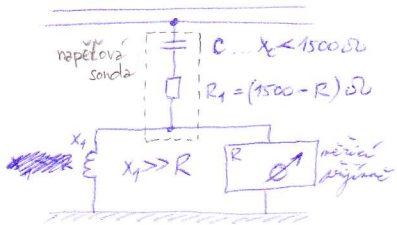
$1V = 120 \text{ dB}\mu V$
 $20 \log \frac{1}{10^{-6}} = 120 \text{ dB}\mu V$

- měření = srovnávání s normou

- každý přístroj (lékařský, průmyslový, světelný, ...) má normu dle normy (limity!)

- rušivý signál se musí převést do měřitelného signálu:

• napěťová sonda (= filtr dolní propust) → měří se proti zemi



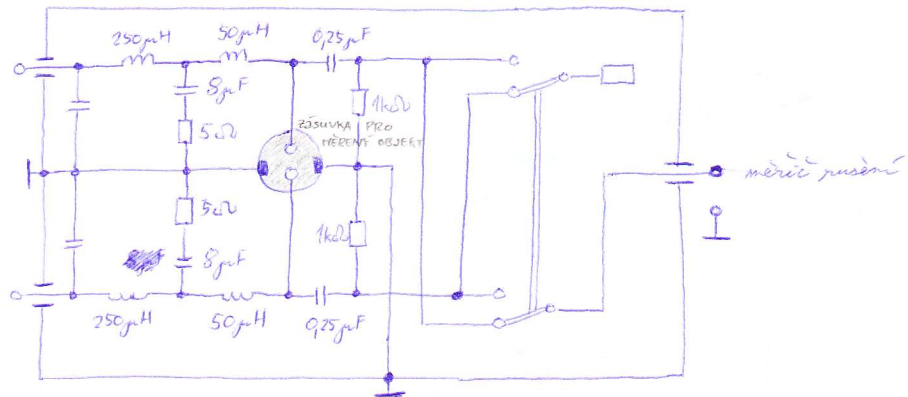
R ... vstupní rezistance měřicího přijímače

$X_c < 1500 \Omega$

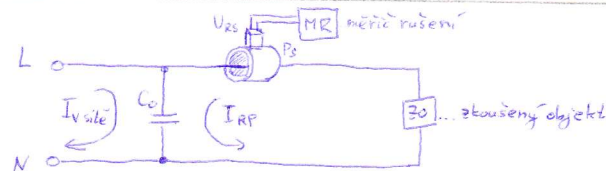
$R_1 = (1500 - R) \Omega$

⇒ nevýhoda → měří měřené rušení v daném místě proti zemi

• umělá síť → složitější (dražší)



• proudová sonda ⇒ toroid



• speciální kleštiny

2) RUŠENÍ PROSTOREM:

→ používají se antény pro měření

- různé druhy antén → dle tvaru (tvar ovlivňuje rozsah kmitočtů)

Druh antény	Rozsah kmitočtů	Měří složku
nábová (magnetová)	1 kHz - 30 MHz	H
proudová (monopol)	1 kHz - 30 MHz	E
symetrická (laděná) dipól	30 - 1000 MHz	E
čokníková	20 - 300 MHz	E
logaritmicko-periódická	200 - 3000 MHz	E
čokníko-logaritmická	200 - 3000 MHz	E
široká vlnopřevodová	30 - 2000 MHz	E
hyperbolické	1 - 40 GHz	E, H

H ... magnetická složka

E ... elektrická složka

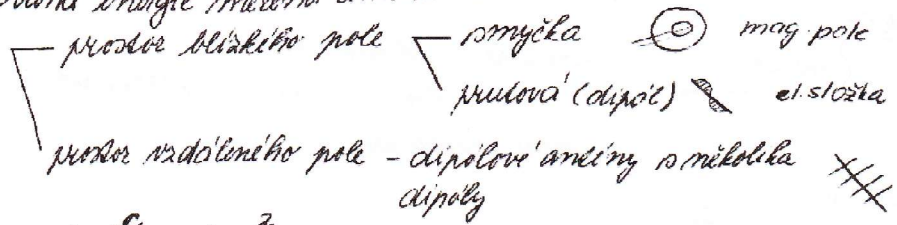
14.

15.

PODMOCNÉ ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ ÚROVNĚ ELIMAG. RUŠENÍ
(UMĚLÁ SÍŤ, SONDY) (ANTÉNY, SONDY BLÍZKÉHO POLE)

- k měření rušení používáme měřicí systém obsahující senzory
 - napojovací pomoci umělé sítě - má kapacitu, abychom v blízkém f pasmu měřili při neměnné impedanci (měří se úroveň rušení)
 - absorpční klesče - měří mag. a el. složku šířemou po vodičích

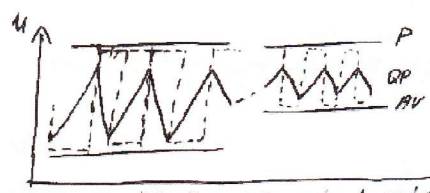
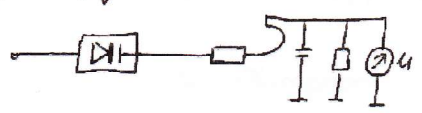
→ vyzařovaná energie měřena anténami



$$\lambda = \frac{c}{f} \quad k = \frac{2}{\lambda}$$

→ vysoke napětí sonda

- principy měření

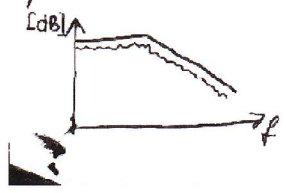


principielní schéma GP detektoru včetně porovnání výstupního signálu
3 různými druhy pro 2 impulsi průběhy

- schéma měřicího přijímače - zakončen digitálním V-měrem
 - úprava signálu - vstupní širokopásmový dělič
 - alternátor
 - směrovač signálu
 - ma rušivé zesilování
- ladiny selektivní zesilovač
- meznífrekvencní zesilovač
- detektor
- oscilátor
- kalibrační generátor

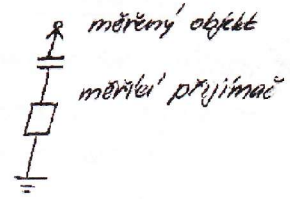
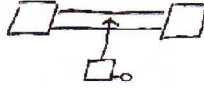
- norma CISPR 16 - obsahuje jaké podmínky musí splňovat detektory, když
měříme rušení

- převodní charakteristika - závislost na f (vynášena na log stupnici)
- zařízení musí překročit určitou povolenou hranici
rušení (hladiny dB pro dané f)

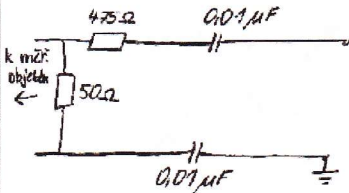


VYSOKONAPĚŤOVÁ SONDA

- měřička - neimpedanční připojení
- výhoda - jednoduchost, paralelní připojení
- měření signálu proti zemi
- většinou slavný do 500V



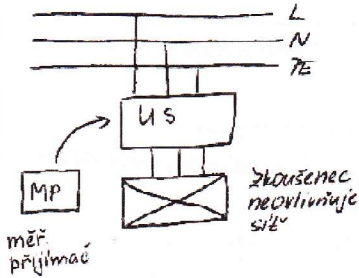
VÁZEBNÍ BLOK



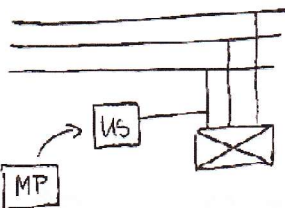
- výhoda - vstupní $R=50\Omega$
- lépe impedanční přizpůsobuje
- není propagační

VIMĚLÉ SÍŤE (US) = LISN

- účel - impedanční přizpůsobení vstupní strany přijímače a měřicího obvodu v širokém pásmu
- jsou pro různé obvody, ale my většinou pracujeme s LIS s vstupní impedancí 50Ω



- LIS - zajišťuje průchod NF napájecího signálu, měla by odstraňovat nežádoucí signály
- zabránit VF průchodu signálu ke měři



- dvě topologie i paralelní - mrazicí se filtrace

- tři typy $V50\Omega / 150\mu H$
- $V50\Omega / 5\mu H + 1\Omega$
- $150\Omega / L1$

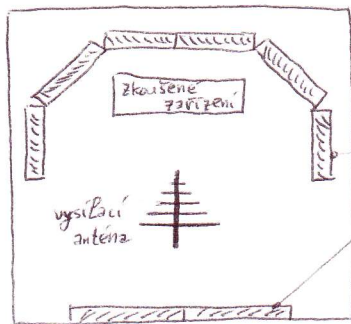
16. Požadavky na zajištění experimentů v oblasti vysokých frekvencí

- zkoušky odolnosti vůči VF elmag. polím se provádějí dle normy ČSN EN 61000-4-3 v pásmu 80-1000 MHz pro standardní úrovně intenzity elektr. pole o hodnotách 1,3, 10 a 30 V/m, případně i vyšší dle předání výrobce. Úroveň odpovídá efektivním hodnotám intenzity pole harmonického 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 předané přímo limitující s možností amplitudové modulace sinusovou vlnou 1kHz do hloubky 80%
- **širokopašmový výkonový zesilovač** - k dosažení potřebného výkonu skutečného signálu, a to jak modulovaného, tak i nemodulovaného.
- **vysílací směrová anténa** (antény) - pro daný rozsah limitující a schopnosti vyprodukovat potřebný vysoký výkon. Obvyklými typy jsou bikonická a logaritmicko-periodická anténa.
- **elektrické filtry** - zapojené ve všech vstupu a výstupu kabelů a vedení do skutečného koncovky.
- **pomocná elektronická zařízení** - ke kontrole a vyhodnocení funkčnosti přousového zařízení, případně k zaplnění dalších funkcí během zkoušky.

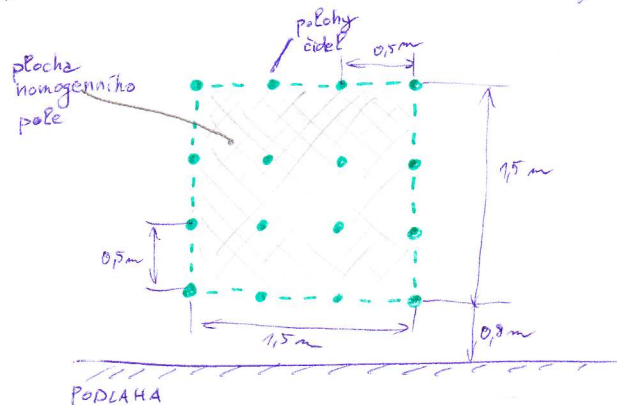
- zkoušební pracoviště pro zkoušky odolnosti vůči VF poli:



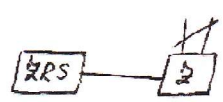
⇒ provizorní zajištění bezodrazovosti skutečného prostoru absorpčními panely

- kalibrace zkušebního pole:

- se provádí podle ČSN EN 61000-4-3 nemodulovaným harmonickým signálem měřením velikosti generovaného pole v bez. ploše homogenního pole. Je to vertikální plocha o velikosti 1,5 x 1,5 m ve výšce 0,8 m nad podlahou.
- pole v uvedené ploše je považováno za homogenní, jelikož -li jeho měření velikost o měř. než ± 3 dB na 75% plochy, tj. alespoň ve 12 z celkových 16 měřících bodů.
- kalibrace se provádí v celém měřicím limitovaném pásmu pro horizontální i vertikální polarizaci generovaného pole.



23 ZKOUŠKY ODOLNOSTI PROTI RUŠENÍ EL MAG., PRINCIPY, PŘEHLED.



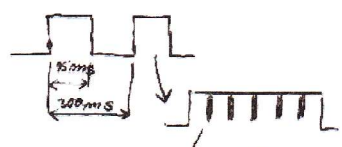
ZRS... zdroj rušivého signálu
Z... zaokruženos

- musí být další předloženo, aby se při zkoušce měřnicily okolní předloženo a okolí (zařízení připojena má společná napájení)
- každý test poskytuje 1 zdroj rušivého signálu
- každý test odolnosti má svou normu, kde je popsáno
- tedy se provádí signály s různými frekv. spektr.
- jednotlivé normy, které popisují příslušný test

- ČSN EN 61000-4 - 1 ... přehled testů
- 2 ... ESD test el. stat. výbojem - jiskra (až 16kV)
 - 3 ... VF šířko pásem - nejnovější
 - 4 ... skup. pulzů
 - 5 ... kurz. impuls
 - 6 ... VF po vidim - dno vyhledávací vlny (má měř. náklady má 3)
 - 7 ... harmonická
 - 8 ...
 - 9 ...
 - 10 ...
- 8-10 ... } zkoušky magnetickým polem
- 11 ... DIPS - přerušeni
 - 12 ... Aluminizovaný kumulon

- všechny zkoušky jsou nákladné - speciální zařízení pro zkoušení
- přímota zařízení
- náklady má zkoušebna

- 4 - kumulace jevi, které kumulují při spínání a mli
 - pulz s vysokou c -> vysoká teplota
 - test má velkou vyrovňovací schopnost
 - má malou energii -> je mírný (mohoušuje el. zařízení)
- sled balík pulzů - při 1 polaritě po 1 min
- pak 2 min - 2 polaritě.



- hodnoty U: 0,5-1-2-4 [kV]
dle provedení

5kHz (2,5kHz pro vyšší U)

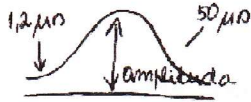
-2- normální metoda - přibližování píslky ke takouto, ale to není opakovatelná

- kontaktní metoda - má kontakt se přívodem $\frac{1}{2}$ u \rightarrow 10x se opakuje

-5- impulsní variace výloži a rdi

- drsnická zkouška - napětová vlna

+ proudová vlny (je-li zařízení vodivé)

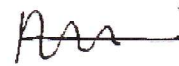


- napětová vlna - přístroj zkouška rozsvijm generátorem

- proudová se 5 krát 1 poloviny

-12- Aod oscilační vlnou

- charaktery signálu < kluzná sinusová vlna



kluzná oscilační vlna

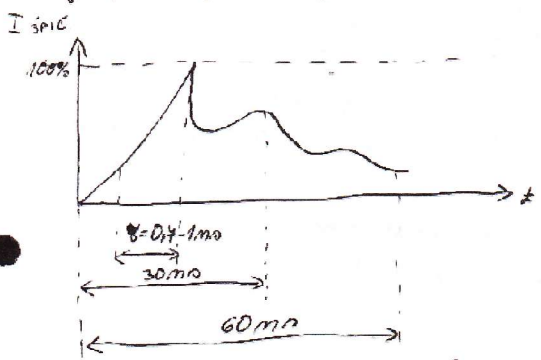


- kombinovaný signál - příkladá napětová vlna

24) TESTOVÁNÍ ODDĚLNOSTI ELEKTAT. IMPULZEM (ČSN EN 61000-4-2)

- normální metoda - je rozdílná míra se provede kontaktní - použije kulové eldy $\Rightarrow U_1$
- kontaktní metoda - má kontakt se provede $\frac{1}{2} U_1$ - kulová elda $\Rightarrow \frac{1}{2} U_1$

- dotyk, pak se vyžle I nebo U impulz
- průběh výstupního proudu generátoru



- I měříme přímo bezprostředně do obvodu k trženi nebo se přenosí do libovolného opoz. indukt.

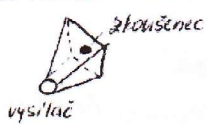
- metoda takování - přiblížením eldy - metodou - trženi mu rychlostí a směru přiblížení
- dotykem eldy taková bod (kontaktní) - lepší
- elektroda vybojí modelujeme do reflexní desky \rightarrow pak je přikládán ke takování
- trženi má konfiguraci, parametry
- trženi rovina - má mi se k tomu dříve takování
- uvést přesně takové podmínky do protokolu (aby se mohlo opakovat)
- k tomu přivést ke provedení takování

ÚROVEŇ	ZKUSEBNÍ U VÝŠTI PO DOTYKU	ZKUSEBNÍ U VÝŠTI VZDUchem [kV]
1	2	2
2	4	4
3	6	8
4	8	15
X	speciální KONTAKTNÍ ZKOUŠENÍ	speciální POMOCÍ KULATÉ ELDY

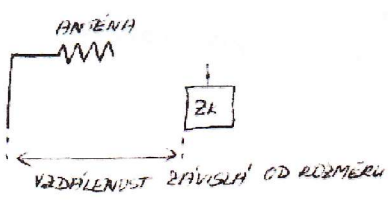
(25)

TESTOVÁNÍ ODDOLNOSTI VF SIGNÁLEM ŠÍŘENÝM PROSTŘEM
(ČSN EN 61000-4-3)

- polem má být více kruhových mřížek (antény)
- proudění do frekvence 16Hz, buď se korigoval
- přičtení vyzařování elmag pole - křesoch 16Hz
 - křesoch intenzity elmag pole (1,3, 10V/m)
 - křesoch polohy zkoušence
 - křesoch polohy antény
 - křesoch polarita antény
- vybavení zkoušebního pracoviště
 - zdroj VF pole - generátor, zesilovač, antény (aleprůhlednosti)
 - eliminace vnějších kruhových poli - stínění, feromagnetická komora
 - měření intenzity elmag pole
- problémy - vada rozměru zkoušence na rozměru pracoviště
 - vlnit rozptýlen vln, ohrady od okolí (stěny)
- řešení pro malé zkoušence GTEM
 - rovová měřiče



- rozměr zkoušence určuje oddělení antény od zkoušeného předmětu



Laboratorní cvičení z předmětu Elektromagnetická kompatibilita

Úloha č. EMC 2N: Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji

Teorie. Popis problematiky

Při dotyku zařízení s obsluhou nebo předmětem, nebo při vzájemném dotyku osob a předmětů v blízkosti elektrického zařízení dochází za určitých okolností k vybití elektrostatického náboje nahromaděného vlivem různých jevů. Jedná se především o pohyb osob po izolačních podlahách nebo předmětech. Náboj jehož napětí může dosáhnout až 15 kV vytváří za příznivých podmínek elektrostatický výboj (všeobecně označovaný ESD – electrostatic discharge). ESD může ovlivnit provoz zařízení nebo poškodit jeho elektronické obvody buď přímým účinkem, nebo nepřímo indukční vazbou nebo zářením.

Tvar vlny proudu závisí na druhu a velikosti zatížení. Doba náběžné hrany se pohybuje mezi 0,7 až 1 ns, doba trvání 60 ns.

Generátor simulující ESD sestává z nabíjecího odporu, kondenzátoru 150 pF a vybíjecího odporu 330 Ω. Pro aplikaci vodivou cestou, tzv. kontaktní výboj je maximální předepsané napětí 8 kV, pro výboj vzduchem 15 kV.

Úroveň zkušebního napětí je závislá na podmínkách pro tvorbu elektrostatického náboje. Jednotlivé předepsané hladiny zkušebního napětí, stejně tak jako uspořádání zkušebních obvodů pro různé situace předepisuje norma ČSN EN 61000-4-2.

Kontaktní výboj je preferovaná zkušební metoda pro svou reprodukovatelnost. Tam, kde nelze použít, provádí se vzduchový výboj.

ESD musí být použit ve všech přístupných bodech zkoušeného zařízení. Aplikují se skupiny 10 ti výbojů obou polarit mezi zkušebními body a zemí s periodou minimálně 1 s.

Zadání.

1. Seznamte se s obsluhou simulátoru ESD.
2. Seznamte se s variantami uspořádání zkušebního obvodu pro zjišťování imunity proti elektrostatickému výboji.
3. Zjistěte odolnost vybraných elektrických zařízení proti elektrostatickému výboji. Při testování dodržujte podmínky stanovené normou ČSN EN 61000-4-2.

Literatura:

Vaculíková, P., Vaculík, E.: „Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů“, Grada 1998
Norma ČSN EN 61000-4-2

Měřicí přístroje

Simulátor elektrostatických výbojů EM Test ESD 30
Pracoviště EMC

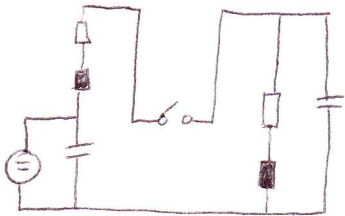
Postup měření

Při měření dodržujte pokyny vyučujícího.

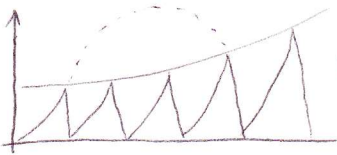
Zhodnocení

Diskutujte naměřené výsledky.

20. Testování odolnosti skupinou pulzů - ČSN EN 61000-4-4

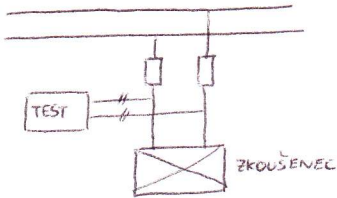


- test se provádí po dobu trvání rušivého signálu 1 min - po dobu 1 polovlny



BURST

→ vlinek spínacího procesu se vytvoří signál - pilovitý
- má VF obsah, jsou tu strmé místní kmitky → dělá LC obvodem



- musíme zajistit napájení; rušivý signál do napájecí sítě nesmí pronikat
- test přístroj musí mít nějaký filtr → zabránění rušivému signálu dostat se do sítě

- musíme zajistit, aby Tester byl připojen ^{na} napájecí síť U → přes kapacitu

- Tester je vybaven vazebnými kapacitami a oddělovacím filtrem

- Burst generátor napájí přes vazebné zařízení, které obsahuje filtr, zkoušeňec
→ délka přívodu měřena

→ někdy filtr není schopný přenést potřebné napětí pakladní harmonické; filtrem probíhá I zkoušeňec, pokud je dané zařízení s velkým P → filtr to nevládá

- elektrodový systém → vzdálen 1m dlouhá, umístěná na elektrody
 $\begin{matrix} \circ & \text{deska kapacity} \\ | & \text{kapacitní vrstva} \\ | & \text{deska} \end{matrix}$

- tam, kde nedá filter → kapacitní vrstva

- rušivý signál je kapacitní vrstvou přenesen do vedení → v cestě vstává filter → ruší oběti

- test je velice vyhodný pro její měřnost, malou nebezpečnost - energie v pulzech je malá (množství k degradaci)

- opakování pulzů se dělá poměrně dříve o zařízení

- zkoušební napětí:

ÚROVEŇ	NAPÁJECÍ VEDENÍ [kV]	SIGNÁLOVÉ, DATOVÉ A ŘÍDÍCÍ VEDENÍ [kV]	FREKVENCE IMPULSU [kHz]
1	0,5	0,25	5
2	1	0,5	5
3	2	1	5
4	4	2	2,5
X	speciální	speciální	

→ frekvence opakování v budoucnu přijde všim - dříve se měřalo

- jednotlivé úrovně jsou charakteristické s prostředím:

- 1... prostředí dobře chráněná, ochrana před bursy (jsem tam filtry); signátové vedení a napájecí signály od sebe odděleny; nezasahují do okolí (PC sítě)
- 2... vnitřní prostory průmyslových zařízení
- 3... vnitřní složky průmyslových prostředků; není zde provedena filtrace; nejsou odděleny síťové od řídicích vedení
- 4... otevřené prostory, rozvodny - nejnebezpečnější úroveň

Laboratorní cvičení z předmětu Elektromagnetická kompatibilita

Úloha č. EMC 3N: Zkouška odolnosti proti rychlým elektrickým přechodovým jevům – skupinám pulzů

Teorie. Popis problematiky.

Rychlé přechodové jevy vznikají při spínání induktivních zátěží nebo vysokonapěťových vypínačů a při odskakování kontaktů relé. Tyto přechodové jevy nejčastěji elektronická zařízení většinou pouze ruší a nezpůsobují často jejich poškození. Nebezpečnost rušení spočívá v jeho vysokofrekvenčním obsahu (2-200 MHz), který způsobuje nesymetrické šoky systému. Dalším nebezpečným faktorem je opakování impulsů v řadě (burst signál). Energie jednotlivých impulsů je nízká (10^{-3} J), ale při jejich opakování může být až o dva řády vyšší a může tedy poškodit méně citlivá polovodičová zařízení. Rušení se váže přímo galvanicky na vodiče napájení, kapacitně na datové a signálové vodiče.

Simulované rušení je reprezentováno skupinou exponenciálních impulsů 5/50 ns s opakovací frekvencí 5 nebo 2,5 kHz, délkou trvání 15 ms a opakovací periodou 300 ms. Maximální amplituda impulsů je 4 kV.

Zadání.

1. Seznamte se s vlastnostmi simulátoru EFT 500.
2. Zjistěte odolnost vybraných elektrických zařízení proti rychlým přechodovým jevům- skupinám pulzů.
3. Stanovte napěťovou mez, při které testované zařízení reaguje na normovaný signál.
4. Zjistěte vliv jednotlivých parametrů zkušebního signálu (frekvence, polarity, délky skupiny pulzů, prodlevy mezi skupinami pulzů) na výsledek testování.
5. Zjistěte vliv způsobu aplikace signálu (galvanicky, nebo kapacitní kleštinou) na výsledek testování.
6. Zjistěte vliv předřazeného filtru na odolnost zkoušeného zařízení.
7. Výsledky měření v dílčích úkolech podrobně zdokumentujte.

Při testování dodržujte podmínky stanovené normou ČSN EN 61000-4-4 a přiložené pokyny.

Literatura:

Vaculíková, P., Vaculík, E.: „Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů“, Grada 1998

ČSN EN 61000-4-4

Měřicí přístroje

Simulátor rušení EFT 500

Kapacitní kleština

Postup měření

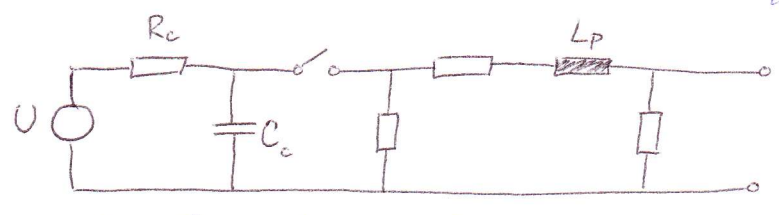
Při měření dodržujte pokyny vyučujícího.

Zhodnocení

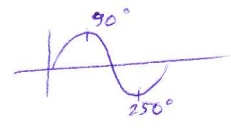
Diskutujte naměřené výsledky.

21. Testování odolnosti rázovým impulzem - ČSN EN 61000-4-5

- impulzy vzniklé vlnou v síti (densita J; 4 kV)
- druzková skouška → rychlostní vlna + proudové vlny (je-li zařízení vodičem)
- kombinovaný generátor poskytl vlnu I nebo U podle typu zařízení



- 5 pulsů se překládá ve vlnových fázích (0°; 50°; 250°)



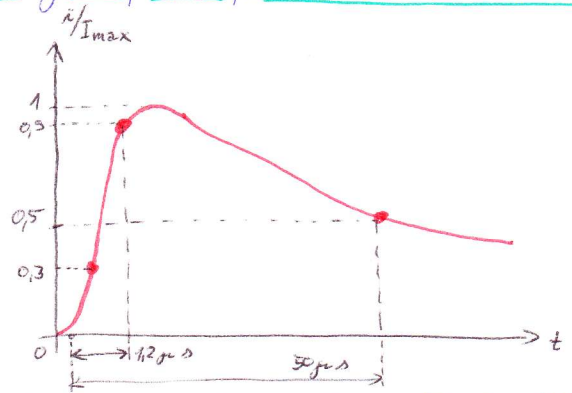
- zdoluhová skouška
- vyhodnocení řídicími zařízeními:

ÚROVEŇ	ZKUŠEBNÍ NAPĚTÍ	
	MEZI VODIČI	PROTI ZEMI
0	N	N
1	N	0,5
2	0,5	1
3	1	2
4	2	4

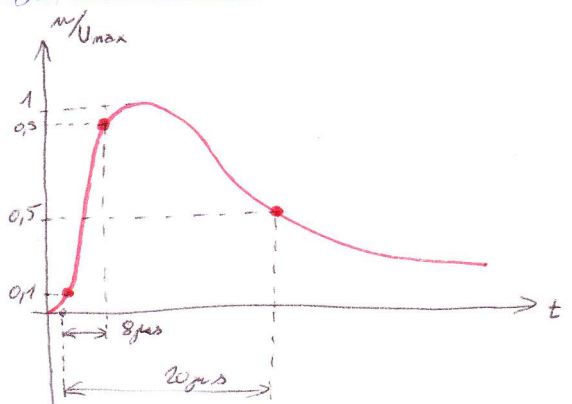
- zkouška se vždy mezi 2 body
- proti zemi → zkouška i izolací systém ⇒ dvojnásobné U

Zkouška rázovým impulsem napětí / proudu 100/1300 μs (IEC 1000-4) ověřuje odolnost přístroje vůči přechodným jevům vznikajícím v napájecí síti okamžitým přeměním proudu, např. při přepálení výkonových spínačů. Zkouška se provede 3x na sebou, časový interval mezi jednotlivými zkušebními musí být dostatečný pro obnovu fce proudových ochranných prostředků zařízení; obvyklá doba je cca 1 minuta.

zkoušební signál rázové vlny napětí napřízmo (dle ČSN EN 61000-4-5):



zkoušební signál rázové vlny proudu nakrátko (dle ČSN EN 61000-4-5):



Laboratorní cvičení z předmětu Elektromagnetická kompatibilita

Úloha č. EMC 4N: Zkouška odolnosti proti rázovému impulsu

Teorie. Popis problematiky.

Příčinou vzniku vysokofrekvenčních širokopásmových impulsů jsou především výboje v atmosféře a jevy při spínání velkých kapacit a indukčností, kde vznikají spínací přepětí. Vyskytují se v obytném i průmyslovém prostředí.

Frekvenční spektrum pulzů se nachází v rozmezí 1 kHz – 1 MHz, energie těchto pulzů je až 50 J. Projevují se především svými energetickými (tepelnými) účinky, mohou však způsobit škody na elektronických zařízeních i bez přímé galvanické vazby, jen prostřednictvím elektromagnetické indukce. Tyto rázové impulsy se projevují různě podle velikosti impedance zdroje a impedance zkoušeného zařízení.

Je-li vstupní impedance na napájecích svorkách zkoušeného zařízení velká ve srovnání s výstupní impedancí zdroje, vytváří zdroj napěťový impuls. Pokud je vstupní impedance objektu relativně malá proti výstupní impedanci zdroje, vytváří zdroj impulsu proudu.

Testovací impulsy jsou vytvářeny skokovým vybíjením kapacity do tvarovacího obvodu. Impulsy jsou exponenciálního tvaru a jsou definovány ve dvou mezních stavech. Při výstupu generátoru naprázdno se jedná o napěťovou vlnu $1,2/50\mu\text{s}$, při výstupu nakrátko je definována vlna proudová $8/20\mu\text{s}$.

Zadání.

1. Seznamte se s vlastnostmi simulátoru VCS 500 (UCS500).
2. Zjistěte odolnost vybraných elektrických zařízení proti rázovému impulsu.
3. Stanovte spodní napěťovou mez, při které testované zařízení reaguje na normovaný signál (rázový impuls).
4. Zjistěte vliv polaritu zkušební signálu na výsledek testování.
5. Pozorujte pomocí oscilografu vývoj reakce přepět'ové ochrany na velikost zkušební signálu.
6. Porovnejte výše uvedeným způsobem různé typy přepět'ových ochrany.

Při testování dodržujte podmínky stanovené normou ČSN EN 61000-4-5.

Literatura:

Vaculíková, P., Vaculík, E.: „Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů“, Grada 1998

ČSN EN 61000-4-5

Měřicí přístroje

Simulátor rušení VCS 500 (UCS 500)

Zkušební vzorky

Osciloskop TDS 460

Postup měření

Při měření dodržujte pokyny vyučujícího.

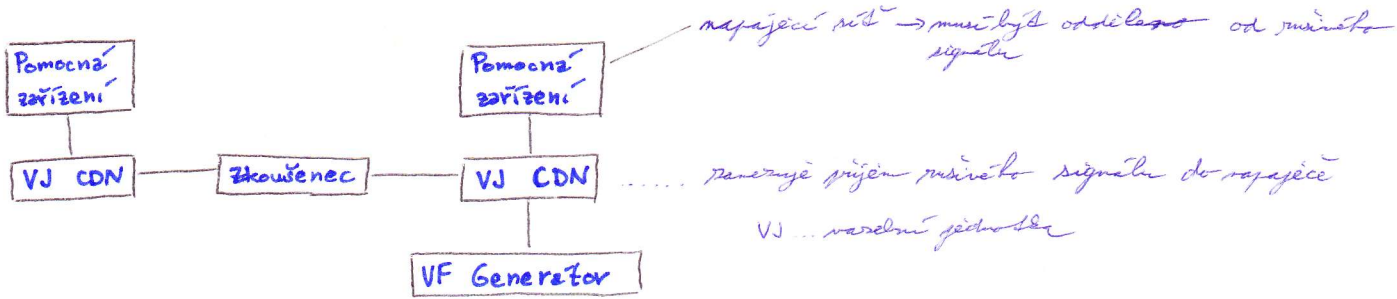
Zhodnocení

Diskutujte naměřené výsledky.

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

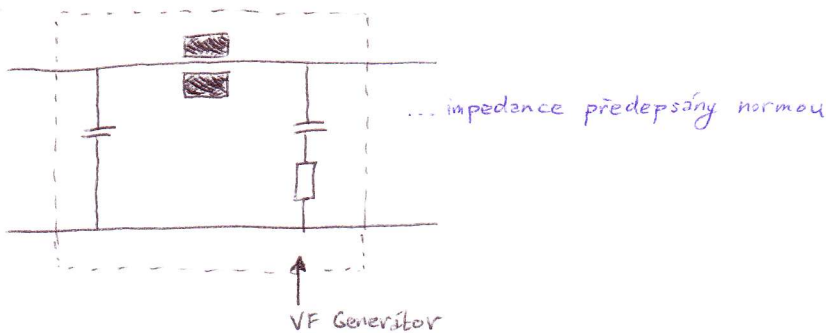
- > provádí se VF signálem, který se aplikuje prostřednictvím vedení (indukuje něco do ~~ve~~ vedení)
- rozsah frekvence 1 kHz - 270 MHz
- mění úroveň rušivého signálu
- vybaveníkušovního pracoviště:

- zdroj VF pole -> generátor, rezistor, vazební členy
- eliminace vnějších rušivých polí -> odstěrovací členy
- měření úrovně napětí
- přímá aplikace ($R=100 \Omega$)
- nepřímá aplikace -> spinační hleďte



- VAZEBNÍ JEDNOTKA -> zajistí reprodukovatelnost zkoušky
- plní úlohu filtru

- problémy -> impedanční přizpůsobení v širokém frekvenčním rozsahu
- řešení pro malé rezonance GTEM



- 23. Testování odolnosti elmag. polem - ČSN EN 61000-4-8 - pro mag. pole síťového kmitočtu
- 24. Testování odolnosti elmag. polem - ČSN EN 61000-4-9 - pro pulzní magnetická pole
- 25. Testování odolnosti elmag. polem - ČSN EN 61000-4-10 - pro tlumená VF magnetická pole

• ČSN EN 61000-4-8 - magnetická pole síťového kmitočtu:

→ magnetická pole síťového kmitočtu → původ - provozní proud, poruchový proud
 - účelo pro parizemí průmyslové instalace v elektrárnách a rozvodnách VN a VVN a veřejných a distribučních sítích MN

• ČSN EN 61000-4-9 - pulzní magnetické pole:

- původ → bleskový proud a přechodné jevy
 - proudová vlna:



• ČSN EN 61000-4-10 - tlumené VF kmitů mag. pole:

→ původ - přechodné jevy při spínání sběrnic
 - princip → cívka → vyjetý jeve ve všech směrech:



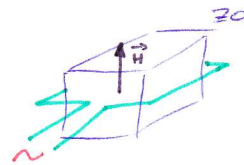
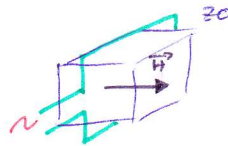
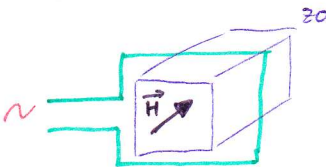
→ způsob vyhodnocení → je do 4 předstých ⇒ 4 skupinová klasifikace kritérií reakce se směry (A, B, C, D)
 - eliminací opatření → stejnorodost → umístění směru členu kousek dale od zdroje

• ZKOUŠKY ODOLNOSTI VŮČI MAGNETICKÝM POLÍM:

- provádějí se dle českých norem: ČSN EN 61000-4-8 → pro magnetická pole síťového kmitočtu
 ČSN EN 61000-4-9 → pro pulzní magnetické pole
 ČSN EN 61000-4-10 → pro tlumená VF magnetická pole

- výstupní proud buď jako generátorem je veden do speciální indukční cívky ve tvaru rámové (jednosměrné) antény, kterou je vybarženo rovinné mag. pole příslušného časového průběhu a prostorového rozložení. Ukládání požadavek je přitom dostatečná prostorová homogennost generovaného mag. pole v o požadovaném prostoru, případně v co největší ploše rovněž cívky.

• jednoduché jednozávitová indukční cívka charakterizována proudem o normalizované délce strany 1m. Magnetické pole s intenzitou až 100 A/m pro dlouhodobé zkoušky a až 1000 A/m pro zkoušky krátkodobé. Vyzkoušený prostor má rozměry jen cca 60x60x50cm. Při zkoušce se testuje odolnost parizemí při všech třech prostorových orientacích mag. pole, tj. rámová anténa nemá vůči zkoušenému objektu (=ZO) postupně svou prostorovou orientaci.



**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY**

23.

24.

ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA



Elektromagnetická kompatibilita

Měřený úkol: Zkouška vlivu magnetických polí - ČSN EN ISO 61000-4-8
- ČSN EN ISO 61000-4-9

Datum měření: 11.3.2008

Vypracoval: **David Bárta**

Ostatní členové měřícího týmu: Martina Krátká
Marek Mužík

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 jednoválcová 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 jednoválcové 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 jednoválcová 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:

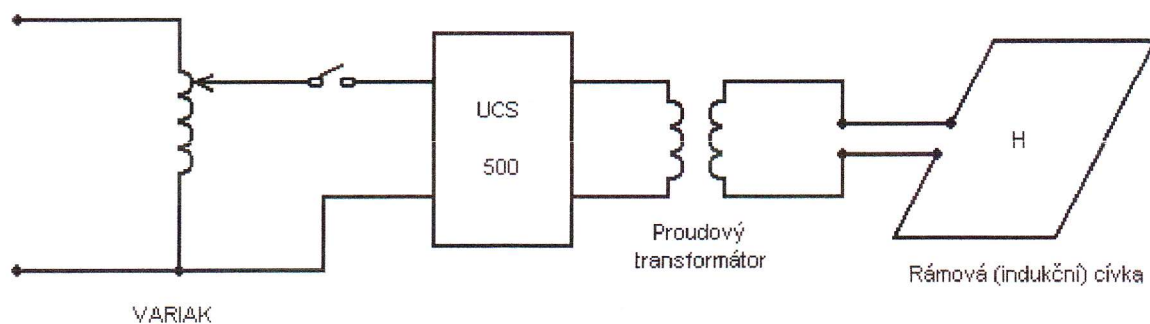
Úroveň	H [A/m]
1	---
2	---
3	100
4	300
5	1000
x	X

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:

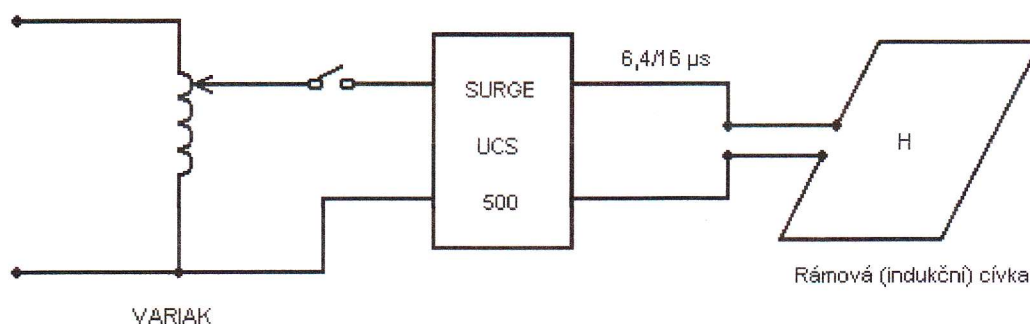


- zkušební cívka: - rozměr: čtverec o délce strany 1 m

- 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 kriteriem C.

30) TESTOVÁNÍ ODDOLNOSTI PROTI KRÁTKODOBÝM POKLESŮM, KRÁTKÝM PŘERUŠENÍM A POMALÝM ZMĚNÁM NAPĚTÍ (ČSN EN 61000 4-11)

- krátkodobé poklesy - měřicí jmenovka 1s, laboratorní frekvence nízké frekvence a konec
 - úroveň: 0-40-70% U_s
 - doba trvání: 95-15-10-25-50 period
 - norma: praktická předepisuje takzvaný postup
- přešvihové napětí - výpadek napětí do 1 min
 - úroveň výpadku 100-60-30% U_s
 - norma: praktická předepisuje takzvaný postup
- pomalé laméno napětí - pokles napětí - doba mířené napětí - doba vstupu U_s
 - má 100% U_s
 - norma: praktická předepisuje takzvaný postup
- spíše vyhodnocování obvyklé - 4 kritéria
- další testy oddolnosti proti kmitům - kolísání U_s
 - nesymetrickým kmitáním 0+150kHz dle EN 61000-4-2
 - po vdezení
 - kmitáním má 100 vstupu
 - modulační
 - kolísání motorů konduktu
 - krátkodobým poklesem a přešvihem má vstupu má U_s

Laboratorní cvičení z předmětu Elektromagnetická kompatibilita

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

Teorie. Popis problematiky.:

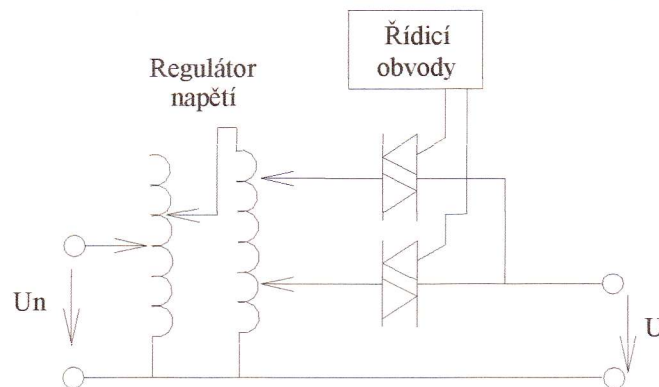
Poklesy a krátká přerušení napětí jsou způsobena poruchami v síti nízkého, vysokého i velmi vysokého napětí (zkraty, zemní spojení) nebo náhlými velkými změnami zatížení. Jejich důsledkem je vypínání stykačů, nesprávná funkce regulačních přístrojů, chyby v komutaci měničů nebo ztráta dat v pamětech počítačů.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

Krátkodobé poklesy napětí jsou příležitostná snížení napětí přesahující 10 % – 15 % U_N s dobou 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 stoupaní velikosti napětí činí 2 s.

Cílem testování je prověřit odolnost zařízení napájených ze sítí 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.

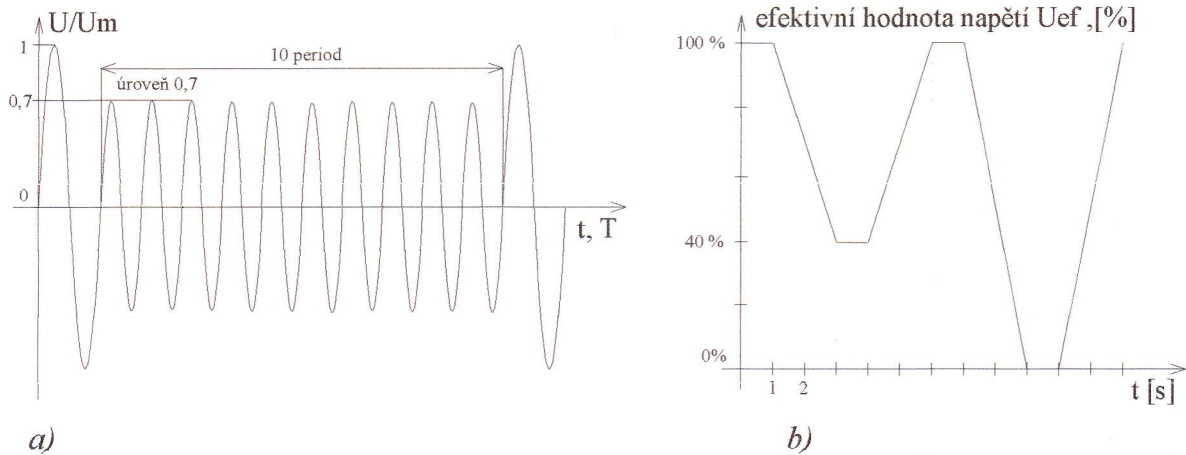


Obr.1. Schéma generátoru napětových změn

Literatura:

Vaculíková, P., Vaculík, E.: „Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů“, Grada 1998

ČSN EN 61000-4-11



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

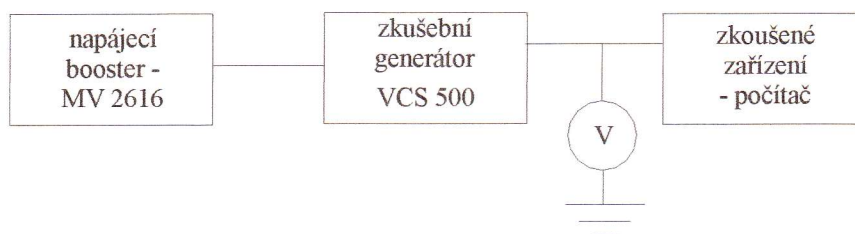
Zadání:

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. Mě-

řeni 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. Provozní schopnost při všech zkouškách se určí podle funkčních kritérií, uvedených v úvodu této kapitoly.

Naměřené hodnoty:

velikost napětí	doba trvání poklesu napětí (ms)					
	10	20	100	200	500	1000
(V)	funkční kritérium					
200						
180						
160						
140						
120						
110						
100						
80						
60						
40						
20						

Odolnost počítače krátkodobým poklesům napájecího napětí

doba přeru- šení napájení (ms)	10	20	100	200	300	500	1000
funkční kritérium							

Odolnost počítače krátkým přerušením napájecího napětí

velikost napětí (V)	150	130	110	90	70	50
funkční kritérium						

Odolnost počítače pomalým změnám napájecího napětí

27.

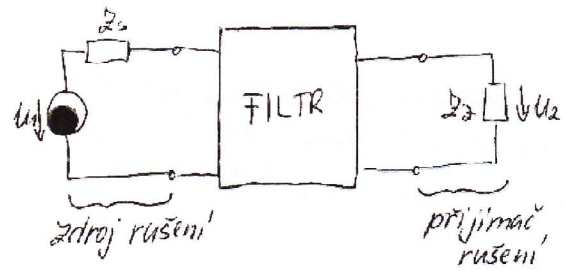
34.

(35) 4

FILTRY

- k dokonalejší ochraně před působením VF rušení, účinnější než pro
 nedemix používají odrušovací filtry - nejčastěji filtry LC typu
 dolní propust, které bez zvláštní přepracování signalů (proudů)
 s kmitočtem nižším než je úroveň měřené kmitočtové fm a
 napájecí kmitočty, jejich kmitočty je vyšší než kmito-
 čtem měřené kmitočty

=> odrušovací filtry - filtry napojeny do energetického
 napájecího vodiče nebo do napájecího vodiče přístroje



- použití filtru na energetickém napájecím vodiči
 zařízení není vhodné pro podmínky vlastního
 zařízení ani napájecího nebo ochrany jejich
 činnosti

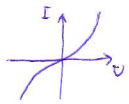
=> filtry NEMP (EMP) - pro ochranu elektronických zařízení
 před působením krátkých a impulsní veličin
 - na svém vstupu mají ještě napájecí součástky
 ochranné přepětí (bleskozodky, varistory, ochranné
 diody)
 - použití - samy, kde je nebezpečí výskytu přepětí
 pulzní v důsledku blesků, přímých proudů, ...

=> filtry

36. Zásady ochrany proti přepětí

28. Měření vlastností přepětových ochranných prvků

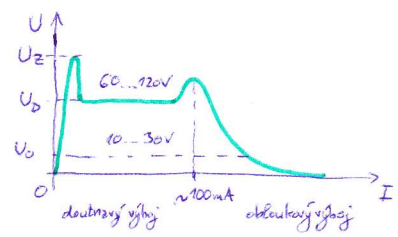
- přepětové ochranné prvky** → součástky nebo jejich kombinace, které slouží k potlačení nebo omezení napětového přejetí vznikajícího na přenosových vedeních v důsledku nebezpečných vnějších elmag. dějů - blesk, elekt. výboj, spízací pochody
- rozlišujeme
 - hrubá ochrana** → jiskřičky, sýrom plněné bleskojistky → liší se zejména ochrannou úrovní napětí a rychlostí své reakce
 - jemná ochrana** → varistor, Zenerova dioda, speciální lavinové polovodičové diody
- vzduchové jiskřičky** → k ochraně proti výstřelům napětí (1kV - MV)
 - tvořeno 2 elektrodami ve vzduchu, není minimiz. při přepětí dochází k výboji
- bleskojistky** → jejich elektrody jsou umístěny v keramickém nebo skleněném pouzdru naplněném vzácným plynem
- varistor** → nelineární napětově závislý polovodičový prvek
 - varistor omezuje přejetí na určitou hodnotu keneru závislou na protažení proud (bleskojistka chrání)
 - provozní napětí → jednotky V - jednotky kV
- Zenerova dioda** → ochranné napětí 3 - 200 V
- účinná napětová ochrana** → kombinované ochrany - každému rozložení několika typů ochranných prvků



HRUBÉ PŘEPĚTOVÉ OCHRANY:

- plynem plněné bleskojistky (výbojky)** → s elektrodami v keramickém či skleněném pouzdru naplněném vzácným plynem (neon, argon) pod malým tlakem. Vysoká přenosová a reprodukovatelnost výboje.
- vzduchové jiskřičky** - k ochraně napětím od 1kV - jednotek MV. Je tvořeno dvěma elektrodami ve vzduchu, není minimiz. při přepětí dochází k výboji. Základní nevýhodou je nízká reprodukovatelnost proudu vzduchového výboje.

- izolační odpor bleskojistky mezi elektrodami v „nezaplněném“ stavu je větší než $10^{10} \Omega$; vlastní kapacita bleskojistky je menší než 10 pF. Průtokem-li napětí hodnota tzv. zápalného napětí U_z (desítky V až několik kV), dojde k „zapálení“ výboje a její odpor prudce klesne až o deset řádů.



JEMNÉ PŘEPĚTOVÉ OCHRANY:

- varistor** → nelineární napětově závislý polovodičový rezistor se symetrickou V-A charakteristikou
 - vyrábí se ze ZnO
 - rozsah provozních napětí varistoru (nelin. ochranné napětí) činí jednotky V až jednotky kV.
 - varistorem může procházet proud až desítky A
 - reakční doba varistoru je činí následek desítek ns.
 - kapacita varistoru je 0,4 - 40 nF
- Zenerovy diody** → hodnoty Zenerova = ochranného napětí od cca 3V do 200 V
- speciální lavinové polovodičové diody** → vyšší proudová kapacita, reakční doba a větší reakční doba
 - jsou používány jako pár diod rozpojených antiseriálně proti sobě
 - bipolární součástka se symetrickou V-A charakteristikou (v varistoru)
 - rozsah ochranných napětí → 6 - 440 V
 - vlastní kapacita až 15000 pF
 - velmi malá reakční doba → jednotky až desítky ps
- obvodové zapojení přepětových ochranných prvků** → nejčastěji jako kombinované ochrany tvořené každým rozložení několika typů ochranných prvků do společného vedení

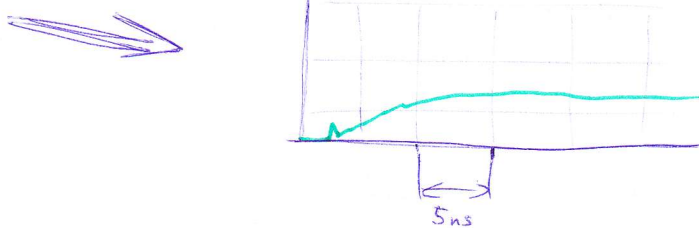
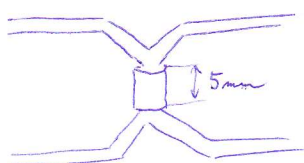
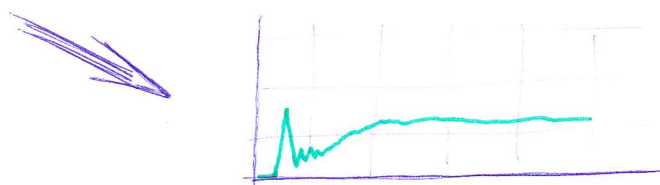
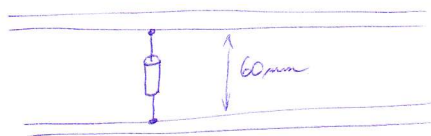
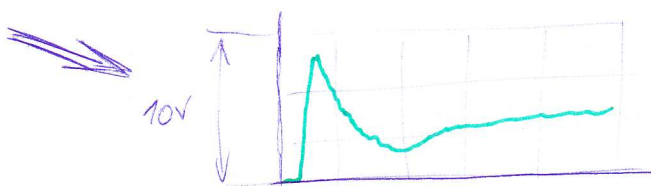
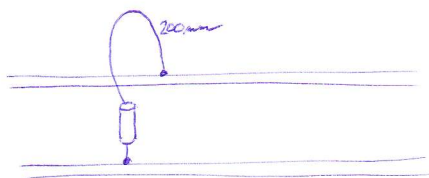
- vlastní kapacita prvku přepětových ochran působí:

→ pozitivně v nízkofrekvenčních odrušovacích systémech (např. v nejčastějších odrušovacích filtrech) jako součást filtračních kapacitních filtrů.

→ negativně ve vysokofrekvenčních sdělovacích či datových systémech, kde velká kapacita těchto ochranných prvků způsobuje nepříjemně vysoký útlum užitečných VČ signálů.

- vliv délky přívodů přepětové ochrany → díky indukčnosti dlouhých přívodů a vlastní kapacitě ochranného prvku vzniká ostrý (derivivní) spěšový impulz, jehož velikost může být větší než je výsledná hodnota ochranného napětí na přepětovém prvku.

• Napětí na vysokým frekvencím závisí s průměrnou délkou drátových přívodů jako odrazky se vstupní spěšovou složkou o velikosti 10 V:



30. Zásady zemnění a pospojování

- bezpečnost → významná potenciálů a potenciálové země
 - ochrana nabezpečný dobytek

- **ZEMNĚNÍ** = úmyslné vodivé spojení se zemí (roste $f \rightarrow$ roste intenzita el. pole \rightarrow vytkácování
 I ve vodiči ke kůži - skinefekt)

- pracovní
- ochranné
- NF - nízkofrekvenční ($\sim 50\text{Hz} - 10\text{kHz}$)
- VF - vysokofrekvenční (nad 10kHz ; skinefekt, draví pochody)

• **NF ZEMNĚNÍ** - **pracovní zemnění** → ustálené napětí proti zemi
 - proti ~~země~~ $U > 1000\text{V}$ do $U < 1000\text{V}$
 - proti vzniku napětí vznikajících přibleskových jevů

$R_z \text{ dílcí} < 15 \Omega$
 $R_z \text{ } \Xi < 2 \Omega \dots R \text{ soustavy zemnicí}$

- **ochranné zemnění** → propojení neživých částí (společná uzemněná soustava)
 $U_{\text{dotyk}} = 65\text{V} (125\text{V})$

- **zemnice**
 - strojové → dvoudřevě, mřížové sítě
 - náhodné → pouze jako pomocné

- hledisko účinnosti → zemní odpor = odpor mezi zemnicí a zemí
- pozor na rýžnost → koroze
- slabá místa → spojení
- do výčtu impedance se počítá pouze odpor, ostatní se vyloučí z pracovní f předbávaní (vázová impedance vodičů)

• **VF zemnění** → absorpce elektřiny nebo (vítězství, masivního)
 → statost hodnoty zemního potenciálu
 - započítat na vodivé struktury, po kterých se šíří rušivé signály (většina není ve schématech uvedeno - např. konkrétní varky mezi kondenzátory)

- **ideální zemnicí plocha**
 - velká kapacita (dovůlí s absorpci el. náboje)
 - malé indukčnosti připojení jednotlivých částí
 - nízká impedanční materiál
 - dostatečné rozvěry

- **principy zemnění:** • **system s plavoucí zemí**



• **jednobodový zemnicí systém**



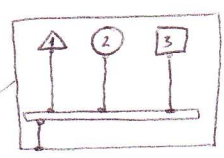
• **mnohobodový systém**



- **zemní spoje** - musí být
 - široké
 - krátké
 - pevné

→ spoje se zemnicí plochou nesleže v místech s minimálním potenciálem na zemnicí ploše

- **zemnění stíněných částí** → stínění se zemí považovat jako pevný vodič
 → zemnicí systém izolován od stínění pomocí jednoho bodu



- jednoduché zemnění → návrat i pro stínění kabelů
- délka spojovacího vodiče sezení $\leq \frac{1}{6}$ vlnové délky $L < \frac{1}{6} \cdot \frac{c}{f_{\max}}$

- plošné spoje umožňují přímo k základní konstantě
- pozor na rezonanci (induktivnost spojů, kapacita obvodů)
- pozor na skin effect → roste s rostoucí frekvencí - není vyvážit celý mag. tok \vec{E} , signál je vytláčen k povrchu vodiče → roste impedance povrchových vodičů
 - hloubka vniku: $\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu \cdot \epsilon \cdot \omega}}$
 - doporučení - navrhovat vodiče s menší plošností a větší šířkou povrchového páska
- pozor na relativní permeabilitu mag. materiálů (permeabilita) → roste také i geometrie

→ pilové řezání oddělit od signálových řezání → zajistit:

- rovinné cesty α, β , signál VF
- přímé spojení s místem minimální impedance
- vznik smyček přináší problémy → zabránit vzniku smyček
- minimální počet povrchových stínících spojů
- respektovat všechny další zásady ke zmenšení vlivu poruchových potenciálů u řezání

→ respektovat geometrii stínících barier ⇒ z hlediska průniku VF rušení

- STÍNĚNÍ ⇒ oslabení toku energie

- účelově umístěná stínící vrstva
- neclanidelné krytí → ochrana proti vnějším vlivům - klimatickým, dynamickým, chemickým, elektromagnetickým; tepelné, mech. zatážením
- elmag. stínící kryt

• principy → kovové materiály
→ rozhraní - lom a odraz

• nedokonalosti stínění - otvory → slabělosti v dosedacích a spojovacích místech, dveřích, ventilace

- místa vysoké rezistance stínění → řešit seri kovovými částmi
- vstupy kabeláže a jiné technologie

(32) ELEKTROMAGNETICKE' STI'NE'NI'

- vyzarovani' elektromag pole - chovaji' jako uve'na -> antenni' efekt vodicu

- vlnova' impedance $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \frac{E}{H}$

- vlna' rozdelenosti < blizke' pole
vzdalene' pole

- blizke' pole - $\nabla I, \nabla U \rightarrow$ puvodkye H ... Z_0 mala'

- $\nabla I, \nabla U \rightarrow$ puvodkye E ... Z_0 velka'

- vzdalene' pole - karmirame jednu, slizku a druzkou odpadkeme

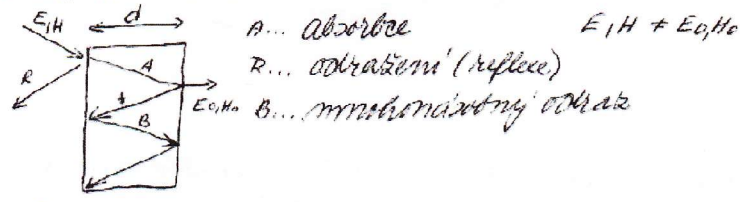
- $Z_0 = konst.$ ($Z_0 = 377 \Omega$)

- $\lambda = \frac{c}{f}$
 - 50 Hz ... $\lambda = 956 \text{ km}$
 - 3 MHz ... $\lambda = 15 \text{ m}$
 - 30 MHz ... $\lambda = 1.6 \text{ m}$
 - 3 GHz ... $\lambda = 1.6 \text{ cm}$

- plošny' - $\nabla I, \nabla U$

- vlna' 220V - $\nabla U, \nabla I$ - ale i cykly

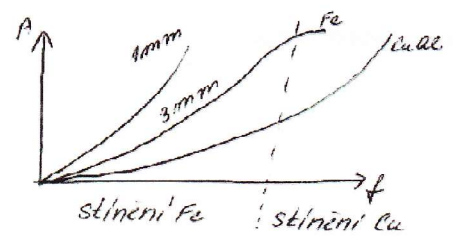
- odrazna = odrazeni'



- spektrny' odrazeni' $S = 20 \cdot \log \frac{E_o}{E} \text{ [dB]}$

$S = A + R + B$

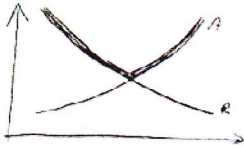
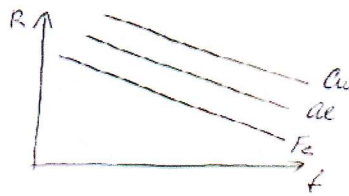
$A \sim d \sqrt{f \cdot \epsilon \cdot \mu}$
 ϵ ... vlnova' rychlost
 μ ... permeabilita



- odrazeni' S_n - kvadraticky

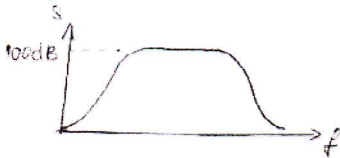


-R - jina' pro blizko a vzdaleni' pole
 $\sim \frac{P}{\mu}$; $\sim R$



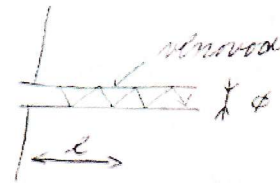
-reflexni' vlny v nf kruzni'

-degradace efektivity - kmitovity, displeje, krosobiradlosti



-degradace pro dobra' slinici' sklenka

$\rightarrow \downarrow \Phi, \uparrow L \rightarrow$ vidi' vlivem Φ



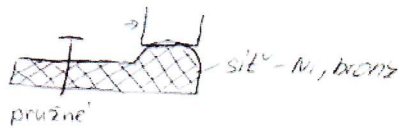
-dily skriniky



-mrojna kroskani' - pohled
 k bytu



-elmag' kroskani'



-displej - velky' vlnik elmag' kroskani'

\rightarrow pokrveni' priblizne' materialy

\rightarrow korova' mridka

-slinici' plastovych' kroskani' \rightarrow pokrveni' mridka

-galvanicki' pokrveni'

-mekcove' pokrveni'

-mraje - nejbarvi' rizeni'

- tabuľky vlastností - kompaktnosť je malá otvor a spárami
- dobrý vodivý materiál a izolácia
- konektor odlišný \ominus
- absorpčné tabuľky jsou funkcie ϵ, μ
- absorpčné tabuľky používajú sa nad 10 MHz
- reflexní tabuľky jsou fci $\frac{\epsilon}{\mu}$
- reflexní tabuľky - veľké pre el a vzdialené pole, malé pre mag. a blízke pole

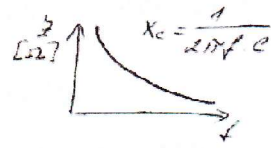
- líšia sa vlastnosťami mag pole
- dobré mag. materiály pre VF mag pole
- dobré vodivé materiály pre VF el. pole
- veľké množstvo ::: je lepší než 0 v objemu ploše
- veľká hrúbka nedeformovateľná \rightarrow veľké odstup

33) FILTRACE S POUŽITÍM KAPACITIVNÍ PRVKU KONDENZÁTORŮ, PRŮCHODKY.

KONDENZÁTORŮ

- podmínka $Z_2 \gg Z_c \ll Z_1$ Z_1 ... velikost amplitud amp. síle
 Z_c ... impedanace odruš. kondenz.
 Z_2 ... amplitud. impedanace kódeží

- kondenzátory jsou paralelní R odruš. systému



- druhy kondenzátů

okrajně polsno	doporučené hodnoty kondenzátorů
10k ÷ 0,5 MHz	5 - 4 - 2 - 1 - 0,5 · 10 ⁶ F (μF)
0,5 - 6 MHz	0,5 - 0,25 - 0,1 · 10 ⁶ F (μF)
6 - 20 MHz	100 - 1000 · 10 ⁹ F (nF)
nad 30 MHz	< 1000 · 10 ⁹ F (nF)

- $\tau f \gg 1$ - dle toho dimenzovat velikost kondenzátů
- => elektrolytické - nepoužívají se pro odrušení, pro nižší křepoty
 - V, PC, polokuzarání pro 100 odrušy
 - < keramické - malé rozměry, R, s, c, v, L, v
 - keramické - filtrace do 25 kHz, nízká relativní ma křepoty
- => keramické - nejčastěji používané pro odrušení
 - velké spolehlivost, malé rozměry
 - velký rozsah C, f, U
- => plastové - dielektrikum - polyetylen, polykarbonát, polypropylen
 - velký rozsah C, f, U $f > 10$ kHz
 - spolehlivost - pro 100 amplitud (1000V/μs)
 - velký rozsah křepoty
- => papírové - keramické dielektrikum
 - často používány
 - pro vylepšení vlastností - kombinace s plastovým dielektrikem

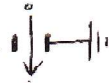
- kondukční provedení - normalizace IEC 384-14 (ČSN 35 82 82)

⇒ dvoupolový - 2 vývody ($\frac{\pi}{2}$)

- polární symetrické odlišky kroužků U
- 0 : 100 MHz
- paralelní k odrušovanému obvodu

⇒ čtyřpólový - přes polepy protikažený proud obvodu

- 0 : 100 MHz
- odrušení symetrické a nesymetrické odlišky kroužků polepy



⇒ koaxiální a nekoniální provedení

⇒ kombinované - určeno pro domácí aplikace

⇒ speciální - pro použití na plošných spojích

- kapacitní oděrnice
- kapacitní imitátor
- mikrostrobnatary

- bezpečnost - třída X - případný průraz nemůže ohrožit člověka

X1 - pro napětové špičky nad 2,5 kV

X2 - pro napětové špičky pod 2,5 kV

- třída Y - bezpečnostní

- odrušení nesymetrické odlišky kroužků

- vodiče používané - samostatné

- ve fóliích

- min. délka přívodu

- nad 1 MHz doporučený přechodový koaxiální

- rozhoduje materiál dielektrika

- metalizovaný papír, polyetylen 10 - 100 MHz

- metalizovaný papír, polyetylen, keramika 100 MHz - 500 MHz

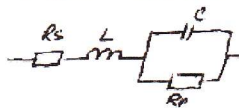
- polyetylen, keramika 5 - 100 MHz

- polyetylen nad 100 MHz

- ztráty - ztrátový činitel $tg \delta = \frac{R_s}{X_c} = R_s \cdot \omega \cdot C$

$tg \delta = f(C, \text{vláse, mat. dielektrika, teploty, } U, f, \text{technologie})$

- náhradní schéma

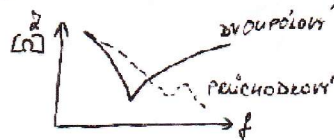


$R_p \dots$ vnitřní izolační odpor $> 1 \text{ MHz}$

- malí PC $\rightarrow \downarrow R_p$

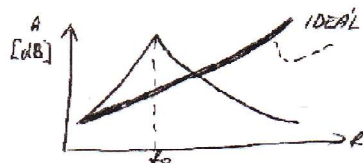
$L \dots$ vlásky + přívody ($1 + 50 \cdot 10^{-9} \text{ H}$)

$R_s \dots$ přívody + kontakty



- při zanedbání R_p

$$|Z| = \sqrt{R_s^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \text{ NA}^{\text{uklim}}$$



- rezonance

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

34

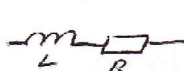
FILTRACE S POUŽITÍM INDUKČNÍCH PRVKŮ TLUMIVKY,

TRANSFORMÁTORY, FERISTORY

TLUMIVKY

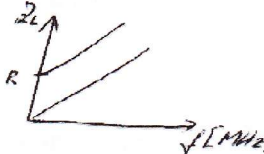
- obecně - velký objem
- vysoká cena
- široký výběr ma drůh
- k velké části magnetární prvky (feromagnetika)
- obrušovací efekt je při proudu, vědomí je kolenský na frekvenci, frekvence ovlivňuje impedanční poměry
- teorie - nutné brát v úvahu vyčíslení dalších parametrů (RLC obvod, nebo kmitočtu, teploty, zatížení)
 - výpočet může být perfektní → skutečnost může být jiná
 - lepší postup - orientační výpočet → praktické ověření → úpravy → detailní

- praktický



$$X_L = 2\pi f \cdot L$$

- slouží k lineárnímu kmitočtu na frekvenci



- dva drůhy - přeláčení 'symetrické' obložky rušení
- přeláčení 'asymetrické' obložky rušení (slouží k proudové kompenzaci)

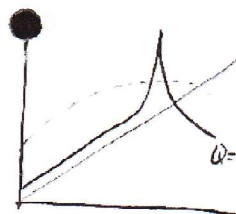
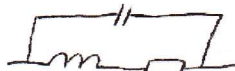
- měřiční řešení

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

R... činná složka tlumivky

C... celková kapacitance (měří kapacitu, protiběžní, protijádru)

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



Q... jakost

- při určité frekvenci $X_L = X_C$

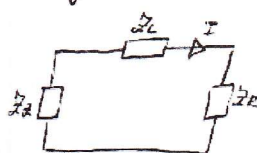
$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- rezonanace $Z = R$

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

$$Q = \frac{2\pi f L}{R} = \frac{X_L}{R}$$

- teoreticky - teoretický čísel, jakost tlumivky



L... slouží k
R... dobrý rušení
C... dobrý napájení

tlumivky když $Z_R \ll Z_L$
 $Z_L \gg Z_C$

- limitel pollačeni $K = \frac{Z_1 + Z_2}{2Z_1 + Z_2 + Z_1}$

- plošný útlum slumivky $A = 20 \log \frac{1}{k} = 20 \log \frac{Z_1 + Z_2 + Z_1}{Z_1 + Z_2}$

- mürni dolni kmitočid $f = \frac{Z_1 + Z_2}{2\pi L}$

- složenosti slumivky
 - optimalizace návrhu - harmoniz. váha, cena
 - typy křivočerných kmitočid
 - větší činné složky (úroveň jakosti $Q < 1$)
 - úbytek napětí ve sřmeně (ve sřlaku $L I$)

- řádový pro návrh slumivky

- sřhodilka - druh odrušovacího zařízení
 - sřpecifickí požadavky
- sledilka - výkon a napájecí napětí
 - kmitočtové spektrum rušení
 - požadovaný útlum

- členění - slumivky malého výkonu pro pollačení symetr. složky rušení
 - slumivky malého a velkého výkonu pro pollačení nesymetr. složky rušení - tzv. kompenzování (kompenzace mag. toku pro prac. kmitočid)
 - slumivky velkého výkonu pro pollačení symetr. složky rušení

- řádované parametry

- proud, napětí
- indukčnost při min. složení kapacit
- ve sřmeně úroveň jakosti Q
- dobrá chlazení
- mechanickí odolnost
- minimální rozměry a hmotnost
- snadná úprava
- cena
- křivočerné kmitočid ve sřmeně
- ve sřmeně činné složky máme oblasť sřmých kmitočid
- nemí se přerušovat

- konstrukce

- jednovrstevná sřlata
- plošné sřlata (min. průřev)
- sřlata s feromag. jádrem

TRANSFORMATOR

- charakteristické indukční a odešvraťovací proudy
- ekonomicky výhodné
- technicky elegantní řešení

FERISTOR



- keramický, který lze zpracovat na podobě tzv. síťem odručením
- nedílné nemají přechod (mázané nebo drcené)
- používá se feromagnet. materiálů
- technologie výroby podobná
- odrukuje se pomocí odručovacího síťku
- princip - klamutka s 4. odručením - velká přechodová permeabilita, velká odručka
- $Z_{in} \sim 100 - 200 \Omega$ pro $f > 10 \text{ MHz}$

- síťku pouze pro obvody s malou indukčností - napájecí obvody, regenerační, spínací obvody polovodičových součástí, vyřazení regenerace
- nejnepříjemnější kombinace - feristor + přechodový kondenzátor
- možnost síťku tvořením podle feristoru (má 3 body)