

# EMC

## Současná legislativa a praxe

Michal Brejcha

pobočka ČSVTS při FEL Praha

Praha, 2017

# Obsah

1 Základní pojmy

2 Legislativa

3 Přehled zkoušek

4 Způsoby omezování emisí

- Nízkofrekvenční rušení
- Vysokofrekvenční rušení
- Elektrické filtry

5 Pevné instalace

# ČSN IEC 50 (161)

## 161-01-01 Elektromagnetické prostředí

Souhrn elektromagnetických jevů existujících v daném místě

## 161-01-05 Elektromagnetické rušení

Jakýkoliv elektromagnetický jev, který může zhoršit provoz přístroje, zařízení nebo systému anebo nepříznivě ovlivnit živou nebo neživou hmotu

# ČSN IEC 50 (161)

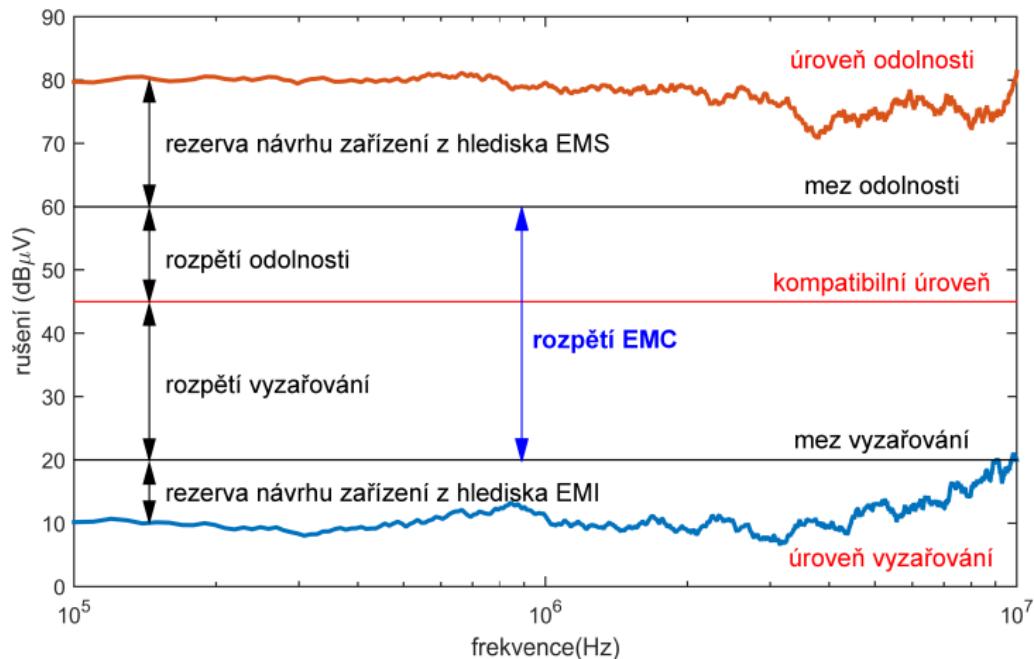
## 161-01-20 **Odolnost (proti rušení)**

Schopnost přístroje, zařízení nebo systému být v provozu bez zhoršení bez zhoršení charakteristik za přítomnosti elektromagnetického rušení.

## 161-01-07 **Elektromagnetická kompatibilita: EMC**

Schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elektromagnetickém prostředí, bez vytváření nepřípustného elektromagnetického rušení pro cokoliv v tomto prostředí.

# Elektromagnetická kompatibilita, ČSN IEC 1000-1-1



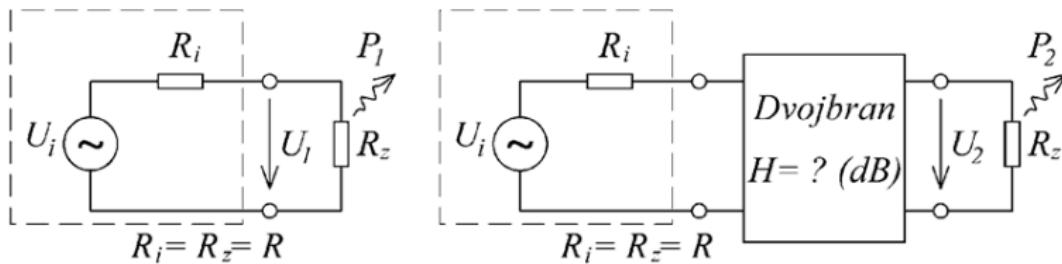
# Jednotky

- Útlum, zesílení, zisk, přenos dvojbranu → vztahná jednotka **dB**:

$$X(\text{dB}) = 10 \cdot \lg \left( \frac{X}{X_0} \right) \quad (1)$$

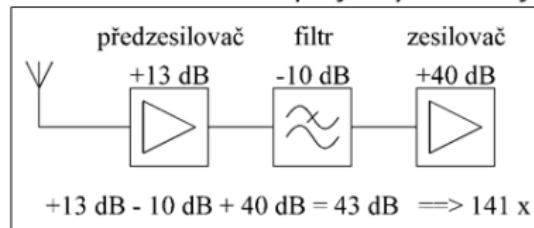
- Přenos dvojbranu

$$H(\text{dB}) = 10 \cdot \lg \left( \frac{P_2}{P_1} \right) = 10 \cdot \lg \left( \frac{U_1^2 / R}{U_2^2 / R} \right) = 20 \cdot \lg \left( \frac{U_1}{U_2} \right) = 20 \cdot \lg \left( \frac{I_1}{I_2} \right) \quad (2)$$



# Jednotky

- Určení přenosu kaskádně spojených dvojbranů:



- Definice  $X_0$  – např. jako napětí na odporu  $50 \Omega$  při výkonu 1 mW:

$$P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow U_0 = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{10^{-3} \cdot 50} = 0,223 \text{ V}$$

- Obvyklá vztažná jednotka:  $\mu\text{V}, \text{mV}, \text{V}, \text{mW}$  aj.

- Odpovídající jednotka:  $\text{dB} (\mu\text{V}), \text{dB} (\text{mV}), \text{dB} (\text{V}), \text{dB} (\text{mW})$

# Fourierova analýza

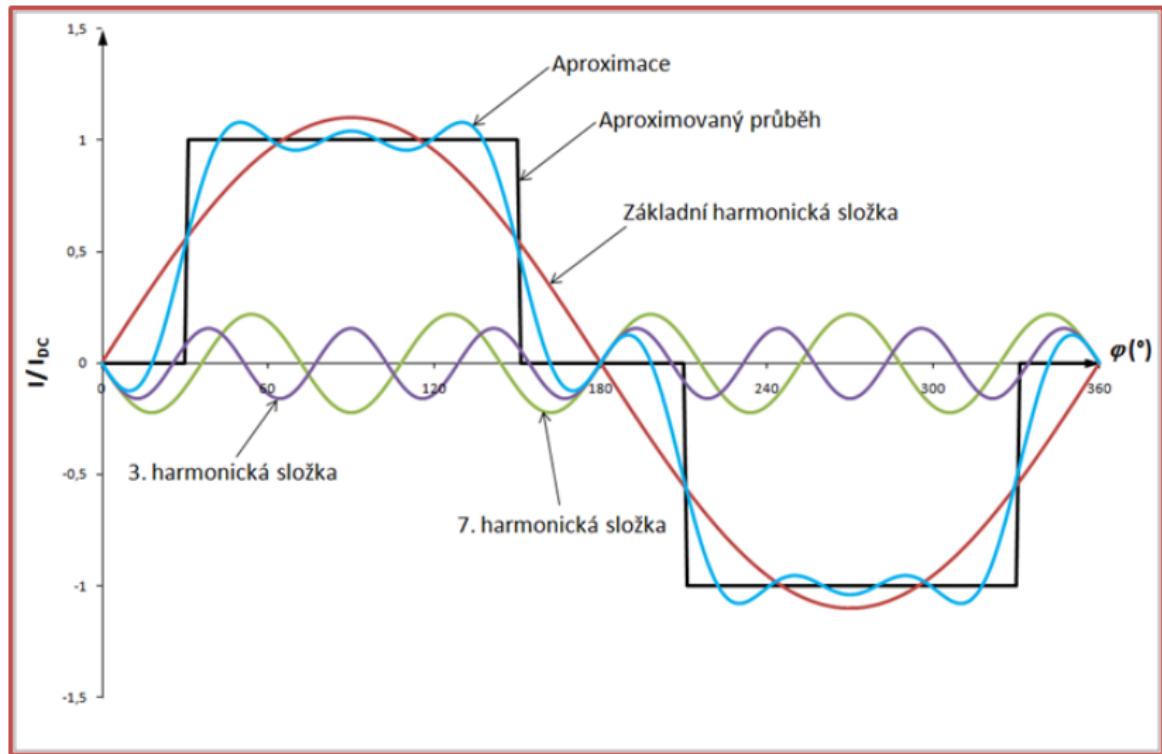
- Fourierova řada:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} (a_h \cdot \cos(h \cdot \omega t) + b_h \cdot \sin(h \cdot \omega t)) = C_0 + C_h \cdot \sin(h \cdot \omega t + \varphi_h)$$

The equation is shown with two curly braces underneath the periodic terms. The left brace groups the terms  $a_h \cdot \cos(h \cdot \omega t)$  and  $b_h \cdot \sin(h \cdot \omega t)$  and is labeled "Goniometrický tvar". The right brace groups the terms  $C_h \cdot \sin(h \cdot \omega t + \varphi_h)$  and is labeled "Amplitudový tvar".

- 161-02-17 Základní (harmonická složka)  
Složka 1. řádu Fourierovy řady periodické veličiny
- 161-02-18 Harmonická (složka)  
Složka většího než 1. řádu Fourierovy řady periodické veličiny

# Fourierova analýza



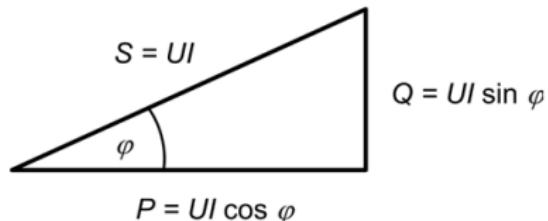
# Výkony a účiník

okamžitý výkon	$p$	V·A	součin okamžitých hodnot napětí a proudu
zdánlivý výkon	$S$	V·A	součin efektivních hodnot napětí a proudu
činný výkon	$P$	W	střední hodnota okamžitého výkonu $p$ (pro periodické podmínky)
neaktivní výkon	$Q_{\sim}$	V·A, var	při periodických podmínkách roven odmocnině rozdílu druhých mocnin $S$ a $P$
jalový výkon	$Q$	V·A, var	neaktivní výkon pro lineární dvojpólový prvek
účiník	$\lambda$	-	při periodických podmínkách podíl $P/S$
účiník, $\cos \varphi$	$\cos \varphi$	-	při sinusových podmínkách podíl $P/S$ , roven cosinu $\varphi$
úhel fázového posunu	$\varphi$	°, rad	při sinus. podmínkách úhel mezi napětím a proudem

# Výkony a účiník

## Sinusové podmínky

- Lineární spotřebiče ( $R, L, C$ )



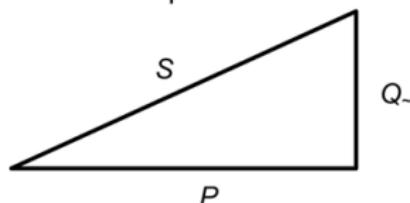
- Sinusový průběh napětí a proudu:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \cos \varphi$$

Všimněte si! Harmonické se zde nepodílejí na tvorbě činného výkonu.

## Periodické podmínky

- Nelineární spotřebiče



- Obecný průběh proudu i napětí:

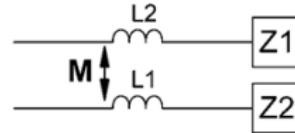
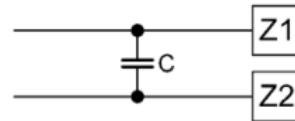
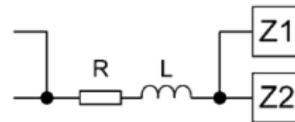
$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} U_h \cdot I_h \cdot \cos \varphi_h}{U \cdot I}$$

- Sinusový průběh napětí:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}{U \cdot I} = \frac{I_1}{I} \cdot \cos \varphi_1$$

# Základní typy vazeb

- Galvanická vazba
- Kapacitní vazba
- Induktivní vazba
- Vazba vyzařováním
  - Působí na velké vzdálenosti



# Obsah

- 1 Základní pojmy
- 2 Legislativa
- 3 Přehled zkoušek
- 4 Způsoby omezování emisí
  - Nízkofrekvenční rušení
  - Vysokofrekvenční rušení
  - Elektrické filtry
- 5 Pevné instalace

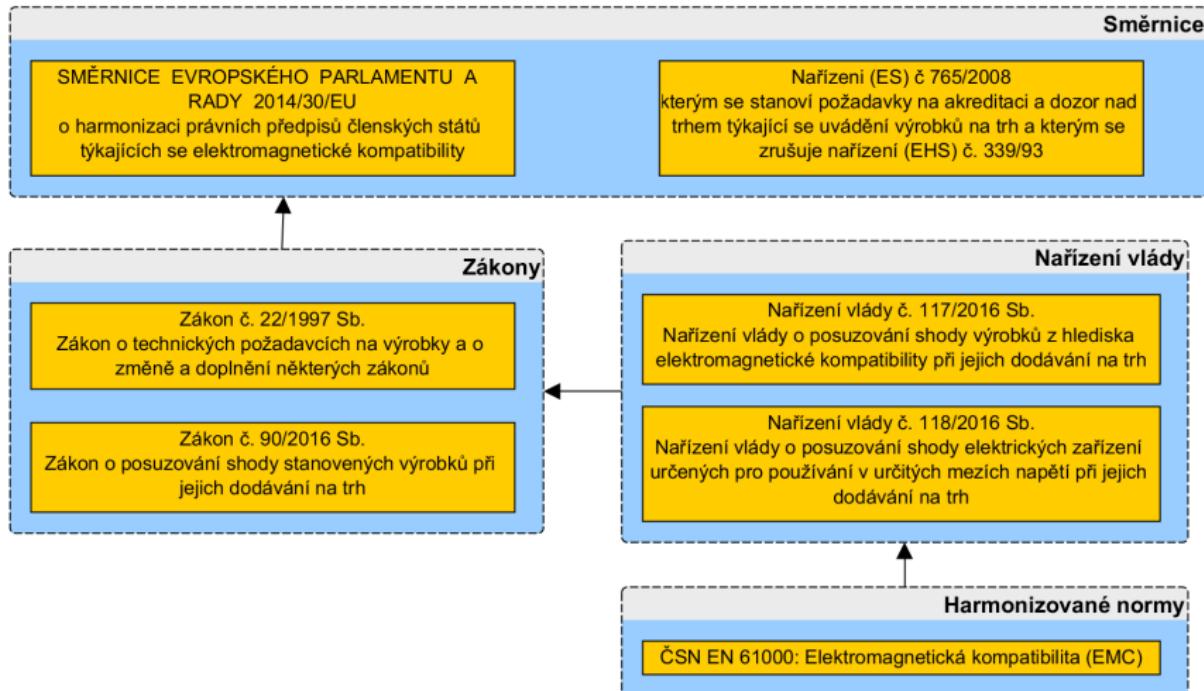
# Co má zajistit?



## Členské státy EU:

Belgie (1958), Bulharsko (2007),  
Česká republika (2004), Dánsko (1973),  
Estonsko (2004), Finsko (1995),  
Francie (1958), Chorvatsko (2013),  
Irsko (1973), Itálie (1958),  
Kypr (2004), Litva (2004),  
Lotyšsko (2004), Lucembursko (1958),  
Maďarsko (2004), Malta (2004),  
Německo (1958), Nizozemsko (1958),  
Polsko (2004), Portugalsko (1986),  
Rakousko (1995), Rumunsko (2007),  
Řecko (1981), Slovensko (2004),  
Slovensko (2004), Spojené království (1973),  
Španělsko (1986), Švédsko (1995)

# Dokumenty



# Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů

## Upravuje:

- práva a povinnosti osob, které uvádějí na trh výrobky, které by mohly ohrozit **oprávněný zájem**.
- tvorbu a uplatňování českých norem – UNMZ
- akreditaci objektů posuzování shody = **notifikovaná osoba**
  - Notifikovaná osoba vydává certifikát, že dokumentace a výrobek je ve shodě s harmonizačními předpisy EU - u nás provádí EZÚ
- povinnosti výrobce, dovozce, distributora

# Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů

- Oprávněný zájem = Veřejný zájem:  
zdraví, bezpečnost, majetek, životní prostředí
- Harmonizovaná česká norma:  
přejímá požadavky stanovené harmonizovanou evropskou normou
- Stanovené výrobky:  
mohou ohrozit oprávněný zájem a jsou stanoveny v nařízeních vlády
- Stanovený požadavek:  
požadavek v nařízení vlády vztahující se k danému výrobku

# Značení

- **CE.**

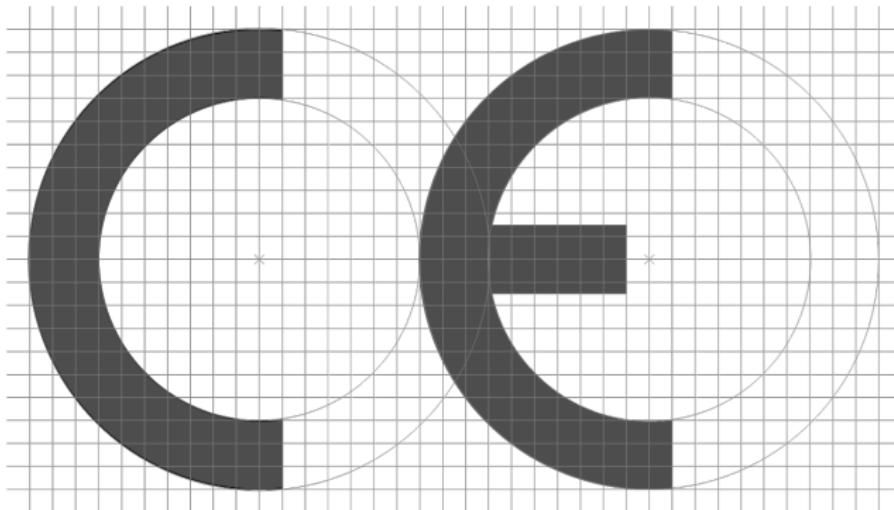
Výrobek splňuje všechna nařízení vlády, která se na něj vztahují a pro posouzení shody byl proveden stanovený postup.

- **CCZ.**

Může být pouze u výrobků, na něž se nevztahují předpisy Evropské unie

- Lze uvádět vždy jen jedno z obou značení

# Značka shody CE - Nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č. 765/2008



# Zákon č. 90/2016 Sb., o posuzování shody stanovených výrobků při jejich dodávání na trh

- Dodávání výrobků na trh a zvláštní ustanovení pro některé jiné výrobky
- Postup posuzování shody
- Doplnění práv a povinností osob uvádějících výrobky na trh

# Povinnosti výrobce

- zajišťovat výrobu v souladu se stanovenými požadavky a u sériově vyráběných výrobků je tomu povinen po celou dobu výroby i v případě, že došlo ke změnám konstrukce nebo parametrů výrobku, anebo ke změnám harmonizovaných norem.
- vyhotovit technickou dokumentaci,
- provést nebo si nechat provést postup posouzení shody stanovený nařízením vlády. **Po prokázání shody je výrobce povinen vypracovat EU prohlášení o shodě a umístit označení CE,**
- vést evidenci stížností, nevyhovujících výrobků a stažených výrobků, a
- informovat o výsledcích svých šetření distributory, kterým výrobky dodal,
- stáhnout výrobek, který znamená ohrožení veřejného zájmu (viz EU rapid alert)

# Povinnosti dovozce a distributora

- Výrobcem je i dovozce nebo distributor, pokud uvede výrobek na trh pod svým jménem nebo ochrannou známkou, nebo pokud upraví výrobek takovým způsobem, který může ovlivnit jeho shodu.
- Dovozce:
  - uvádí na trh pouze výrobky v souladu se stanovenými požadavky,
  - musí zajistit, že výrobce provede příslušný postup shody, vypracuje dokumentaci v četně bezpečnostních informací a instrukcí,
  - uchovává kopii prohlášení o shodě,
  - musí provádět zkoušky vzorků, pokud jsou předepsány NV
- Distributor:
  - kontroluje přítomnost označení CE a souvisejících dokumentů,
  - při zjištění nesouladu informuje výrobce, příp. dovozce a orgány dozoru a přijímá nezbytná nápravná opatření (např. stažení výrobku z trhu)

# Posuzování shody

- postupy jsou v modulech uvedených v příloze tohoto zákona.
- shodu se stanovenými požadavky lze předpokládat, pokud je výrobek ve shodě s harmonizovanou normou.
- vypracovává se vždy jen jediné prohlášení o shodě, které prohlašuje soulad se všemi harmonizačními předpisy, které se vztahují na výrobek.

# Prohlášení o shodě - Příloha

- ① Č. xxxxxx (jedinečná identifikace výrobku)
- ② Jméno a adresa výrobce nebo zplnomocněného zástupce
- ③ Toto prohlášení o shodě vydal na vlastní odpovědnost výrobce (nebo osoba odpovědná za instalaci)
- ④ Předmět prohlášení (identifikace výrobku umožňující zpětně jej vysledovat; může případně obsahovat fotografii)
- ⑤ Výše popsaný předmět prohlášení je ve shodě s harmonizačními právními předpisy Evropské unie
- ⑥ Odkazy na příslušné harmonizované normy, které byly použity, nebo na specifikace, na jejichž základě se shoda prohlašuje
- ⑦ Případně: oznámený subjekt... (název, číslo)... provedl... (popis zásahu)... a vydal osvědčení...
- ⑧ Další informace

Podepsáno za, a jménem: .....

# Prohlášení o shodě - Příklad

## Prohlášení o shodě

**Výrobce:**

KILOVOLTIK s.r.o  
Ampérova 789, Horní Dolní, 123 45  
IČ: 999 9999

Toto prohlášení o shodě vydal na vlastní odpovědnost výrobce pro výrobek:

Napájecí zdroj KVolt  
Typ: 100 V / 500 W  
Výrobní číslo: KV978-231

Výše popsaný předmět prohlášení je ve shodě s harmonizačními právními předpisy Evropské unie:

- EMC: 2014/30/EU
- Bezpečnost: 2014/35/EU
- RoHS: 2011/65/EU

Seznam použitých norem:

- ČSN EN 61010-1:1995
- ČSN EN 60065:2000
- ČSN EN 61000-4-2
- ČSN EN 61000-4-3
- ČSN EN 61000-4-4
- atd.

V Horní Dolní, dne 2. 2. 2017

Ing. Miroslav Chrabrý

Ředitel podniku

# Dozor nad trhem

**zajišťuje ČOI (Česká obchodní inspekce), nebo ČTÚ (Český telekomunikační úřad)**

- ověřuje soulad označení CE
- prověřuje dokumentaci
- při nesouladu hradí náklady dozoru kontrolovaná osoba
- může nařídit stažení výrobku z trhu

# Česká obchodní inspekce

z přehledu za rok 2016:

- celkový počet kontrol: 28229
- **90/ 2016 Sb.**, počet sankcí: 13  
nejčastěji porušen §9 odst. 2 nebo §8 odst. 1
  - ad §9 označení CE, chybějící prohlášení o shodě, chybějící instrukce a bezpečnostní informace v českém jazyce
  - ad §8 výrobek nesplňující stanovené požadavky, nedodržení skladovacích podmínek
- **22/ 1997 Sb.**, počet sankcí: 1367  
nejčastěji porušen §13 odst. 9
  - výrobek bez stanoveného označení,
  - výrobek nesplňující technické požadavky,
  - nedošlo k informování orgánu dozoru v případě, že se jednalo o výrobek ohrožující zdraví

# RAPEX

Databáze nebezpečných výrobků:

- například na [www.dtest.cz](http://www.dtest.cz)
- seznamy výrobků členěné do skupin
- možnost nahlášení nebezpečného výrobku - obvykle se týká 2014/35/EU

## Žehlička AN-2001 / DI01 - úraz elektrickým proudem

Hlášení RAPEX 51/2016



Průřez vnějších a vnitřních vodičů je příliš malý  
a vodiče by se mohly přehřát.  
Elektrická izolace není dostatečná.

# Nařízení vlády k provedení zákona č. 90/2016 Sb.

- Nařízení vlády č. 616/2006 Sb., o technických požadavcích na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility
  - **ZRUŠENO**
  - Původně se vztahovalo k zákonu č. 22/1997 Sb.
  - Pro zařízení uvedená na trh před 20. dubnem 2016
- Nařízení vlády č. 117/2016 Sb. o posuzování shody výrobků z hlediska elektromagnetické kompatibility při jejich dodávání na trh
- Nařízení vlády č. 118/2016 Sb. o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh

# Nařízení vlády č. 117/2016 Sb.

## Zařízení

- přístroj  
funkční celek, který může být zdrojem elektromagnetického rušení  
⇒ **elektrické přístroje**
- pevná instalace (jen pro EMC)  
sestava několika přístrojů určená k trvalému používání na předem daném místě

**Nevztahuje se např. na:** radiová a telekomunikační zařízení, zařízení letecké techniky, zařízení, soupravy na míru pro profesionály k použití ve výzkumných a vývojových zařízeních...

# Základní technické požadavky dle přílohy č. 1 NV117

## 1 Obecné požadavky

Zařízení musí být navržena a vyrobena tak, aby se s přihlédnutím k dosaženému stavu techniky zajistilo, že

- elektromagnetické rušení, které způsobují, nepřesáhne úroveň, za níž rádiová a telekomunikační zařízení nebo jiná zařízení nejsou schopna fungovat v souladu s určeným použitím, a
- dosahují úrovně odolnosti vůči elektromagnetickému rušení očekávanému při jejich provozu v souladu s určeným použitím, která jím umožňuje fungovat bez nepřijatelného zhoršení provozu v souladu s určeným použitím.

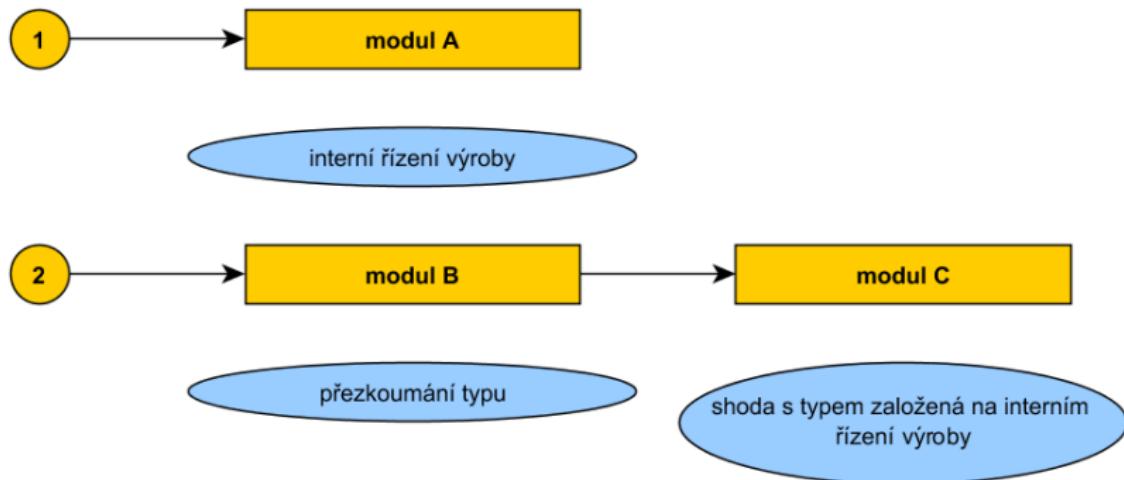
## 2 Zvláštní požadavky na pevné instalace

Pevná instalace musí být instalována s použitím pravidel správné praxe a s ohledem na údaje o určeném použití komponentů, aby byly splněny základní požadavky stanovené v bodě 1. Pravidla správné praxe musí být zdokumentována a dokumentaci musí provozovatel instalace nebo jím pověřená osoba po dobu provozování instalace uchovat pro potřeby orgánů dozoru.

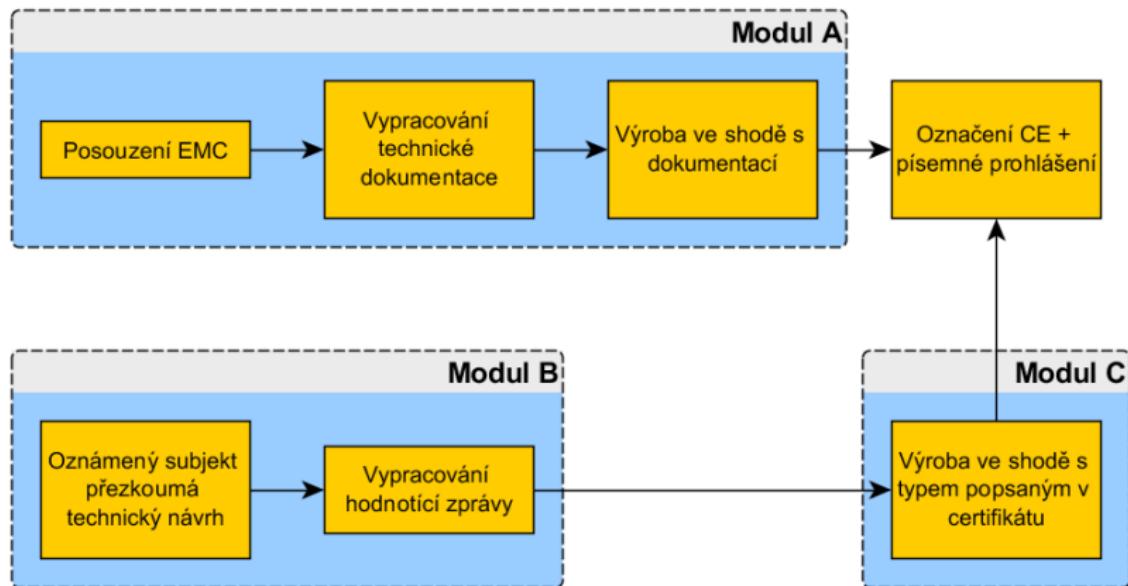
# Pevná instalace

- Pevná instalace
  - je určitá sestava několika druhů přístrojů, případně prostředků, jež jsou zkompletovány, instalovány a určeny k trvalému používání na předem daném místě.
- Jak se posuzuje shoda?  
Posouzení shody pevné instalace provádí provozovatel v případě, že:
  - se projeví známky nesouladu, zejména při poukazování na rušení,
  - Český telekomunikační úřad neshledá, že dokumenty předložené provozovatelem instalace nebo jím pověřenou osobou dostatečně prokazují shodu se stanovenými požadavky.
- Za pevnou instalaci zodpovídá z pohledu EMC provozovatel. Z pohledu bezpečnosti výrobce.

# Posouzení shody



# Posouzení shody



# Obsah

- 1 Základní pojmy
- 2 Legislativa
- 3 Přehled zkoušek
- 4 Způsoby omezování emisí
  - Nízkofrekvenční rušení
  - Vysokofrekvenční rušení
  - Elektrické filtry
- 5 Pevné instalace

# Struktura norme EMC

- **Základní normy**

popis elektromagnetického prostředí a rušivých jevů, popis zkušebních a měřicích metod, požadavky na přístrojové vybavení vč. rozsahů zkušebních úrovní a měřicích rozsahů.

- **Kmenové normy**

požadovaná měření emisí a zkoušky odolnosti vč. mezí pro výrobky obecně v daném prostředí; odkaz na základní normy (metody a přístroje)

EN 61000-6-1: Odolnost (obytné prostředí )

EN 61000-6-2: Odolnost (průmyslové prostředí)

EN 61000-6-3: Emise (obytné prostředí)

EN 61000-6-4: Emise (průmyslové prostředí)

- **Výrobkové normy**

požadovaná měření emisí a zkoušky odolnosti vč. mezí pro skupiny konkrétních výrobků v daném prostředí; odkaz na základní normy (metody a přístroje)

# Harmonizace norem EMC

- **Harmonizované normy**

kmenové normy a vybrané výrobní normy k použití pro posouzení shody s požadavky na ochranu podle příslušné evropské směrnice (nařízení vlády)

- **Evropská harmonizovaná norma**

zveřejnění v Úředním věstníku Evropské unie s odkazem na evropskou směrnici, k níž se norma vztahuje.

- **Česká harmonizovaná norma plně přejímá požadavky evropské harmonizované normy**

zveřejnění ve Věstníku ÚNMZ s odkazem na nařízení vlády, k němuž se norma vztahuje.

- **Základní normy nejsou harmonizované**

nejsou zde limity, určují metodiky měření, vybavení měřícího pracoviště apod.

## Posuzování shody zařízení s použitím harmonizovaných norem:

Za splněný se považuje ten základní požadavek, k němuž se vztahuje harmonizovaná norma a zařízení příslušné ustanovení normy splňuje.

# Přístup k předpisům

- **Právní předpisy**

- zákony jsou volně dostupné
- úřední věstník Evropské unie
- sbírka zákonů

- **České normy**

za poplatek k dispozici na stránkách UNMZ

- **Evropské normy**

Ize také předplatit na UNMZ - velmi drahé

# Obsah

1 Základní pojmy

2 Legislativa

3 Přehled zkoušek

4 Způsoby omezování emisí

- Nízkofrekvenční rušení
- Vysokofrekvenční rušení
- Elektrické filtry

5 Pevné instalace

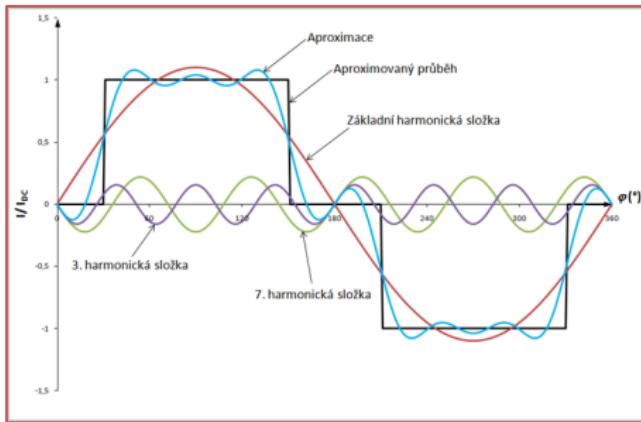
# Nízkofrekvenční rušení

- mají nízkou frekvenci – omezené použití pasivních filtrů
- **harmonické proudy usměrňovačů**
- kolísání napětí
- rázová a impulzní přepětí

šíření po vedení				
0	2,5 kHz	10 kHz	150 kHz	30 MHz
rozvod el. energie, energetické rušení zhruba do 50. harmonické		počátek vf. rušení		aplikace odrušovacích filtrů, od 10 MHz též šíření vyzařováním

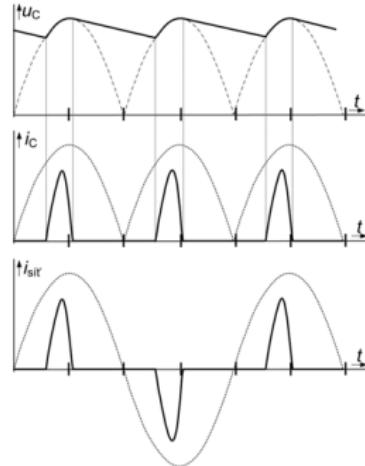
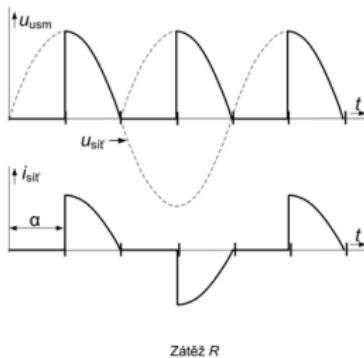
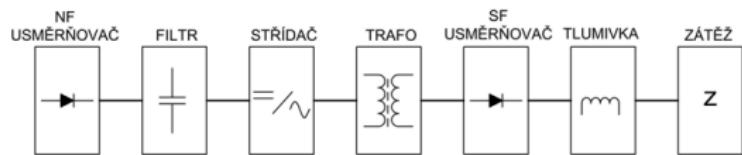
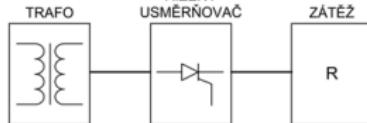
# Harmonické

- při sinusovém napájení se nepodílejí na tvorbě činného výkonu
- zvyšují hodnotu efektivního proudu
- některé se projevují jako nesymetrické složky: liché násobky  $3 =$  netočivá,  $(6n-1)$  zpětná
- netočivá složka se projevuje jako souhlasné rušení (uzavírá se přes střední vodič)



# Zdroje harmonických proudů

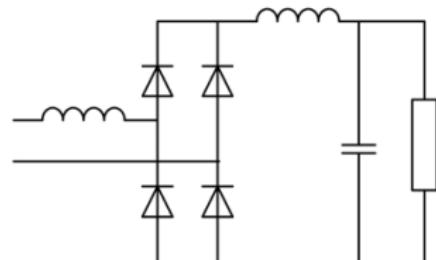
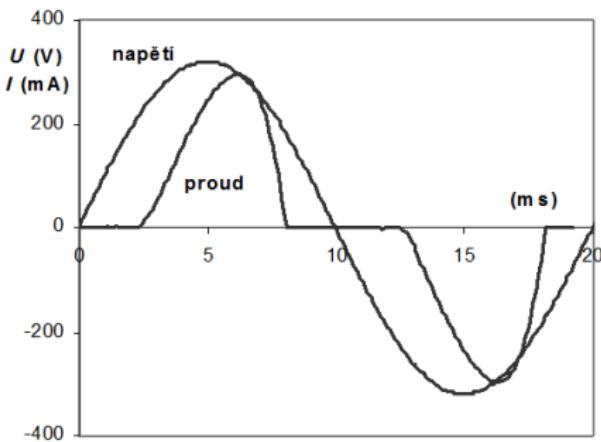
## ☐ Nelineární spotřebiče



# Korektory účiníku - Power Factor Corection

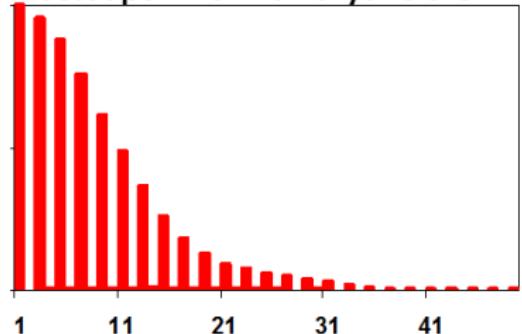
## Pasivní PFC

- Snaha o prodloužení doby toku proudu usměrňovače vhodným připojením tlumivky



pasivní PFC

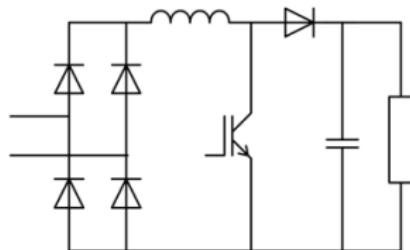
## Zastoupení harmonických složek



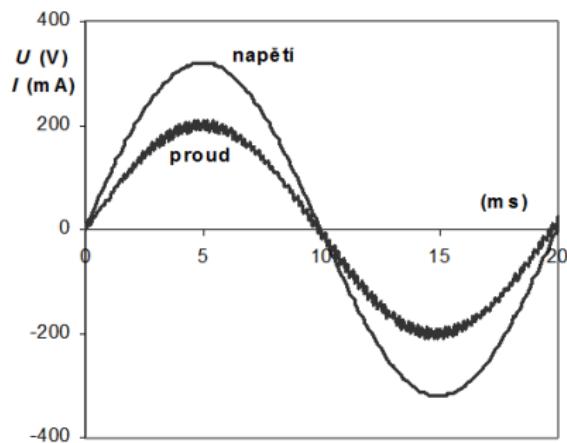
# Korektory účiníku - Power Factor Corection

## Aktivní PFC

- Napodobení tvaru sinusového proudu pomocí spínaného měniče



aktivní PFC



Zastoupení harmonických složek



# Vysokofrekvenční rušení

## Rušení šířené po vedení

Frekvenční vymezení od 10 kHz do 30 MHz

## Rušení šířené vyzařováním

Vlnová délka je srovnatelná s rozměry vedení (obvodu, součástek)  $\Rightarrow$  frekvence od cca 150 kHz do 1 GHz (norma se zabývá až 400 GHz)

celkový rozsah kmitočtového spektra pokrytý normami pro EMC		
běžné normy	radiové rušení - CISPR normy	
0	1 GHz	400 GHz

		běžný rozsah technických měření					
		šíření vzduchem					
		šíření po vedení			šíření vzduchem		
0	2,5 kHz	10 kHz	150 kHz	30 MHz	80 MHz	1 GHz	
rozvod el. energie, energetické rušení zhruba do 50. harmonické	počátek vf. rušení	aplikace odrušovacích filtrů, od 10 MHz též šíření vyzařováním		vyzařování a šíření po vedení	pouze vyzařování		

# Vysokofrekvenční rušení

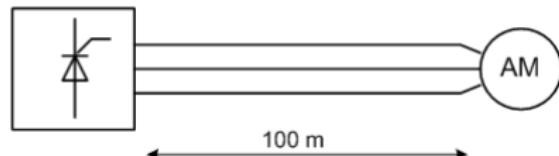
## Hlavní faktory

- rozměry součástek, zařízení, spojů
- vlnová délka rušivého signálu:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

- vyzařování již při délce vedení  $\lambda/4$

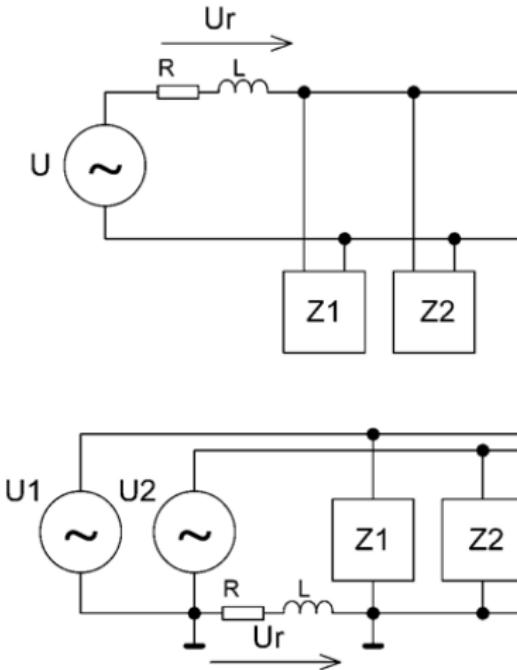
## Příklad rušení po vedení



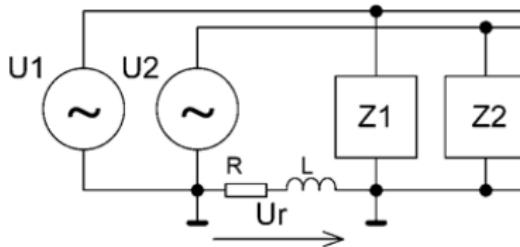
- Na obou koncích kabelu může docházet k odrazům elmag. vlny (TEM)  $\Rightarrow$  možný vznik rezonancí
- kabel se chová jako anténa

kmitočet	50 Hz	10 kHz	150 kHz	30 MHz	100 MHz	1 GHz	400 GHz
$\lambda$	6000 km	30 km	2 km	10 m	3 m	30 cm	0,75 mm
$\lambda/4$	1500 km	7,5 km	500 m	2,5 m	0,75 m	7,5 cm	188 $\mu$ m

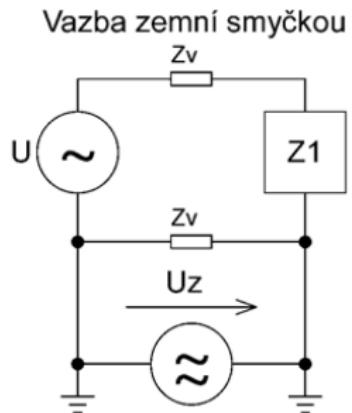
# Galvanická vazba



Vazba přes společnou  
impedanci zdroje

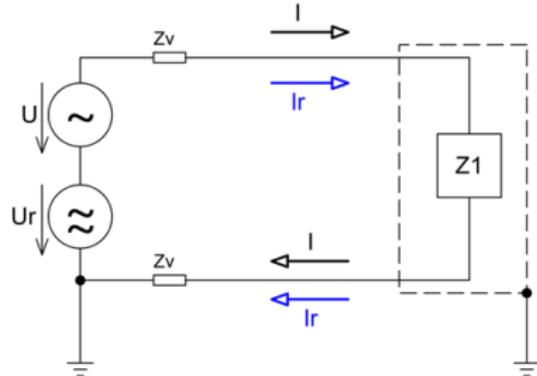


Vazba přes impedanci  
společného zemnícího  
systému

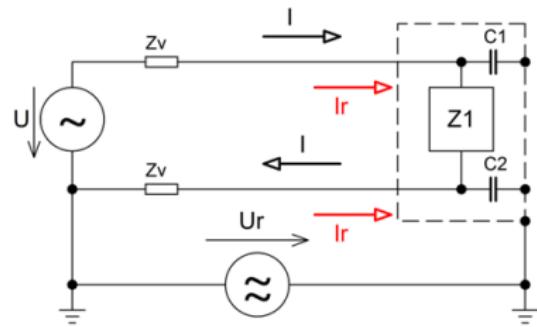


# Galvanická vazba

- Symetrické (protifázové) rušení

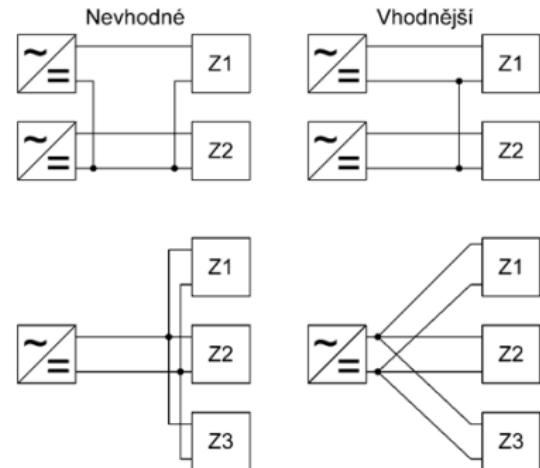
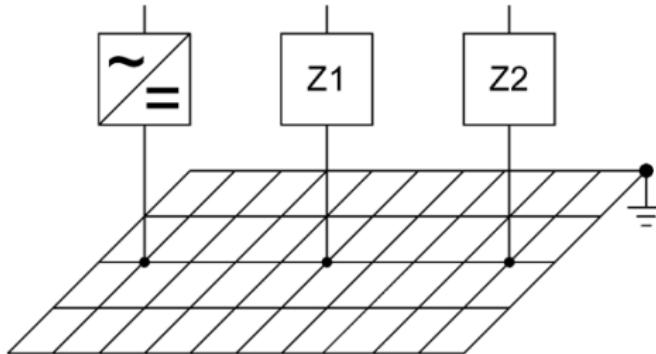


- Nesymetrické (soufázové) rušení



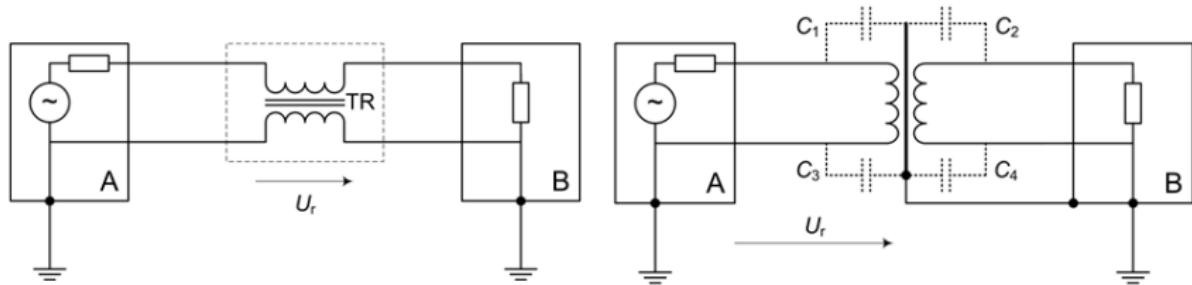
# Galvanická vazba - minimalizace

- dostatečně dimenzovaný a nízkoimpedanční zemní vodič
- nesloučené společné vodiče



# Zvětšování imunity proti souhlasnému rušení

- Kompenzovaná tlumivka
- Galvanické oddělení obvodů transformátorem nebo optočlenem
- Diferenciální signály



# Kapacitní vazba

- Základní vztah pro velikost kapacity:

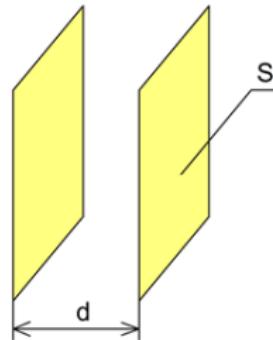
$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d} \quad (F, F/m, m^2, m)$$

$\epsilon_0$ ... permitivita vakua

$\epsilon_r$ ... poměrná permitivita

S... plocha elektrod

d... vzdálenost elektrod



Reaktance  $\Rightarrow$  harmonický ustálený stav

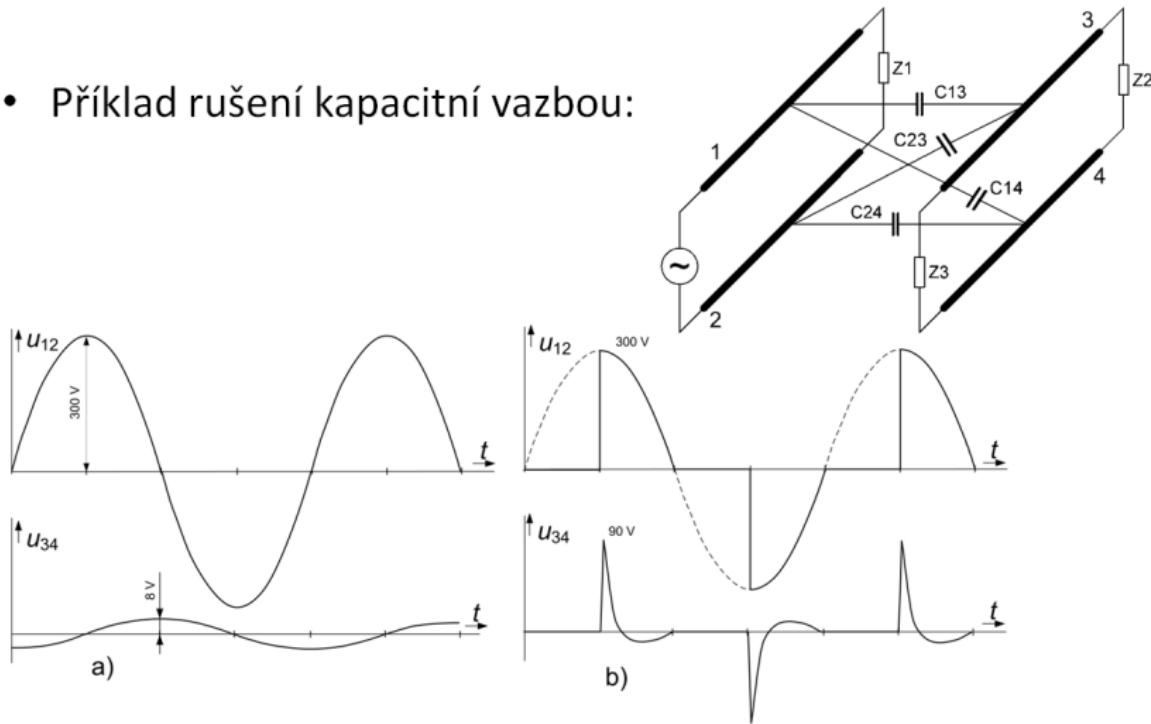
- Časová změna napětí:

$$I_C = C \cdot \frac{dU_C}{dt}$$

$$I_C = \frac{U_C}{X_C} = \omega C \cdot U_C$$

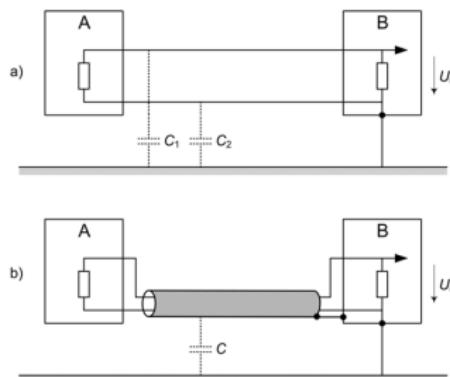
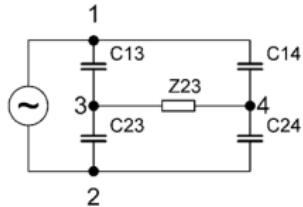
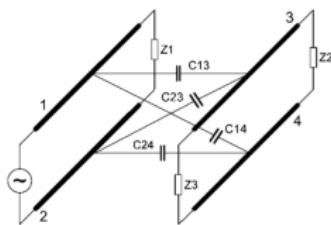
# Příklad kapacitní vazby

- Příklad rušení kapacitní vazbou:



# Omezování kapacitní vazby

- Co nejkratší souběžné vedení kabelů
- Maximální vzájemná vzdálenost vodičů
- Použití kabelů s kroucenými dvojicemi vodičů – vyvážený můstek



- Použití stíněných kabelů (resp. stínění)
- Omezení rychlosti změn napětí na minimum

# Induktivní vazba

- Velikost indukovaného napětí ve smyčce

$$u_i = -\frac{d\phi}{dt} = -S \cdot \frac{dB}{dt} = -\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S \cdot \frac{dH}{dt}$$

$\mu_0$ ... permeabilita vakua

$\mu_r$ ... poměrná permeabilita

$S$ ... plocha smyčky **kolmá k H**

$H$ ... intenzita mg. pole

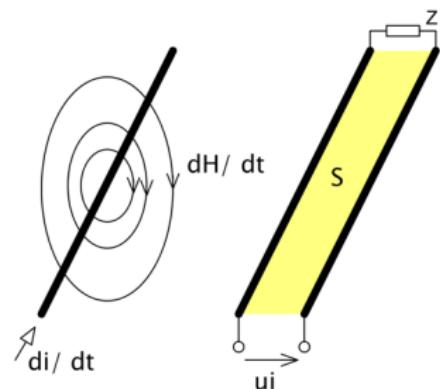
- Intenzita H ve vzdálenosti r:

$$\oint H dl = I \Rightarrow H \cdot l = I$$

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

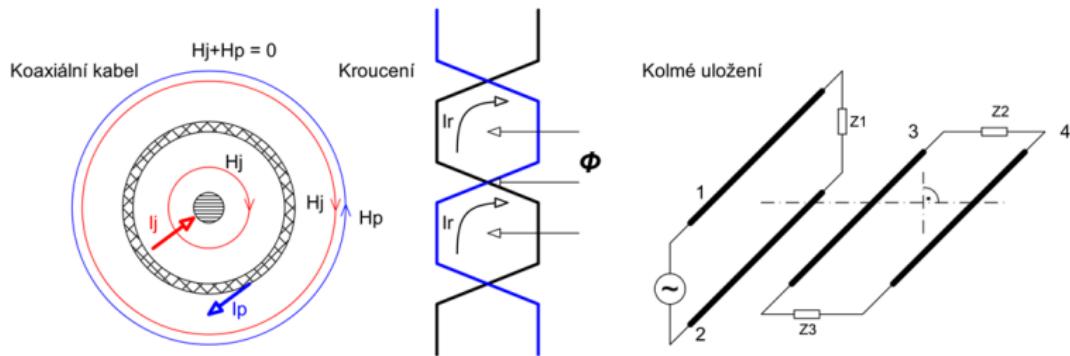
$I$ ...

délka siločáry

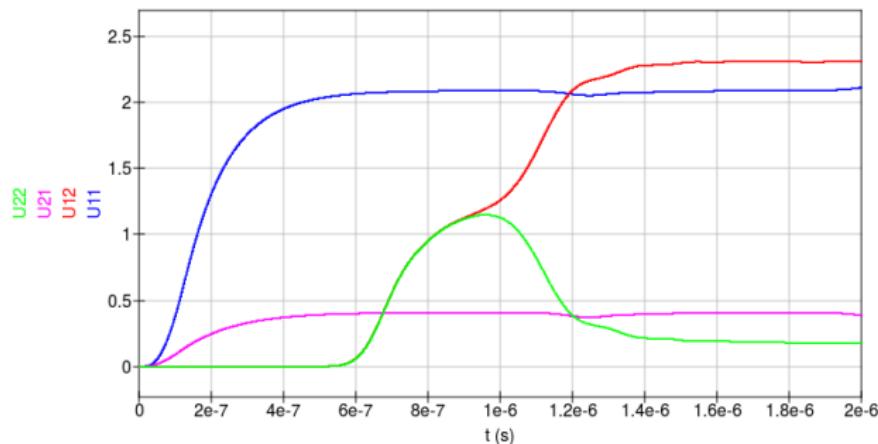
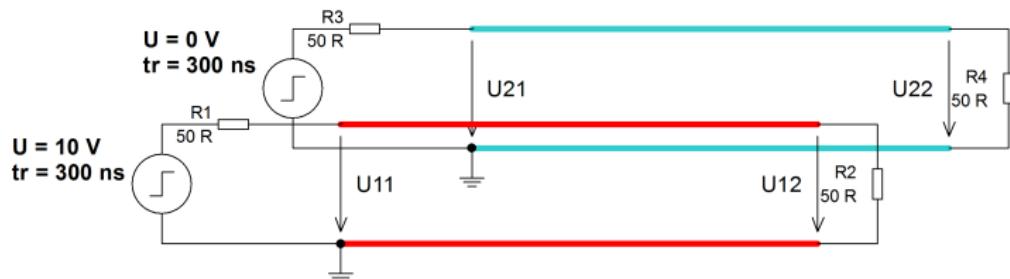


# Omezování induktivní vazby

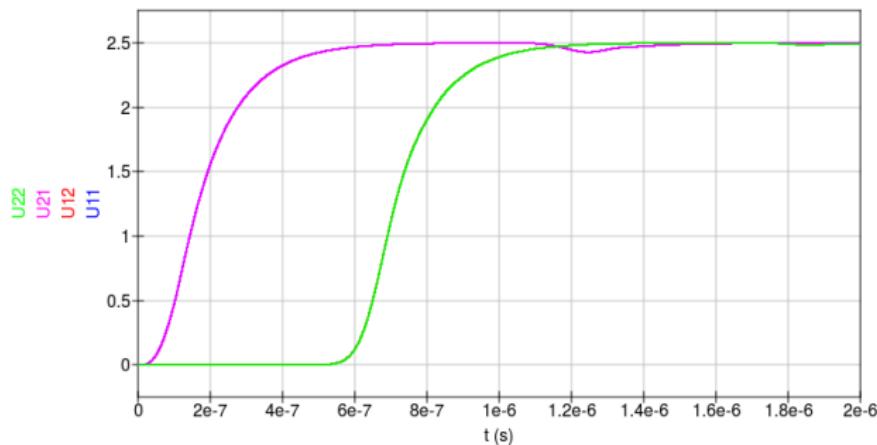
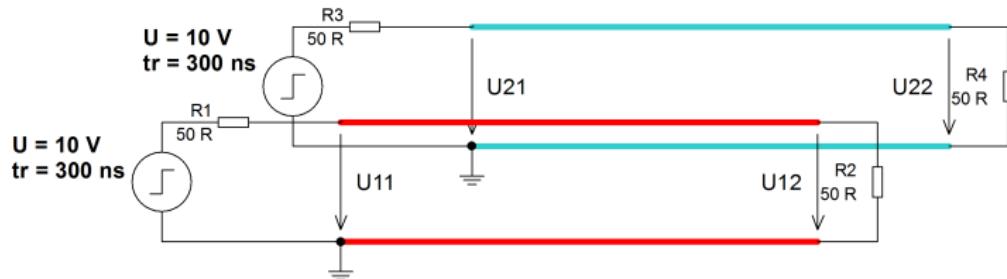
- Minimalizace souběhu vedení
- Velké vzdálenosti vodičů
- Minimalizace ploch závitů
- Použití stíněných kabelů nebo stínění
- Použití kabelů s kroucenými páry vodičů



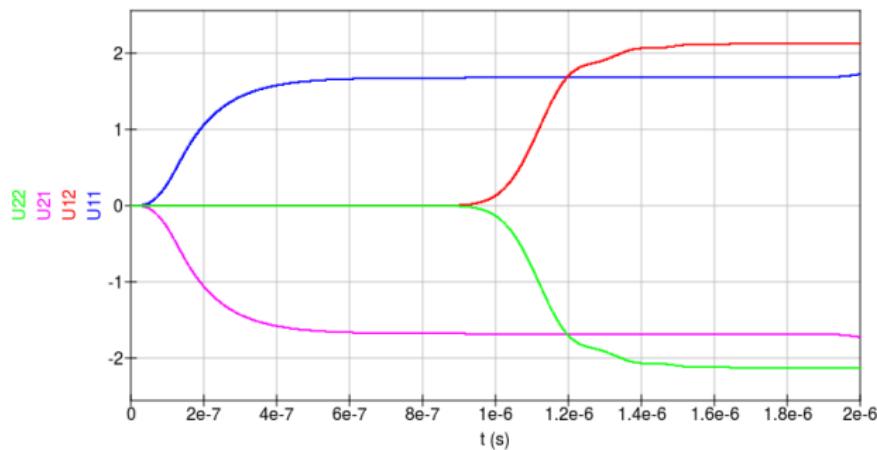
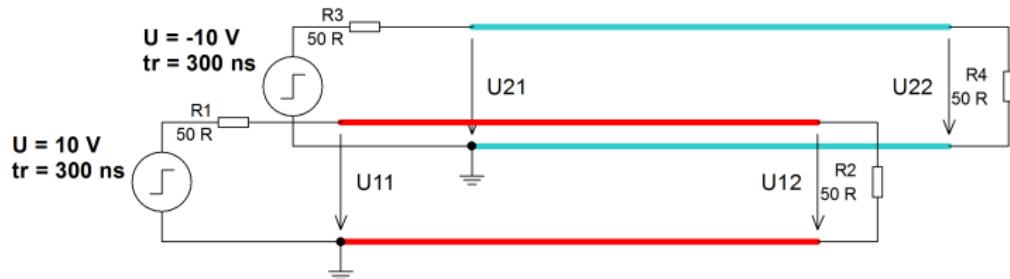
# Analýza vzájemného působení souběhu vodičů



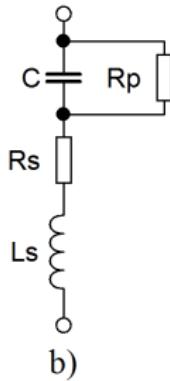
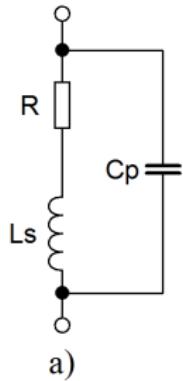
# Soufázové napájení



# Protifázové napájení

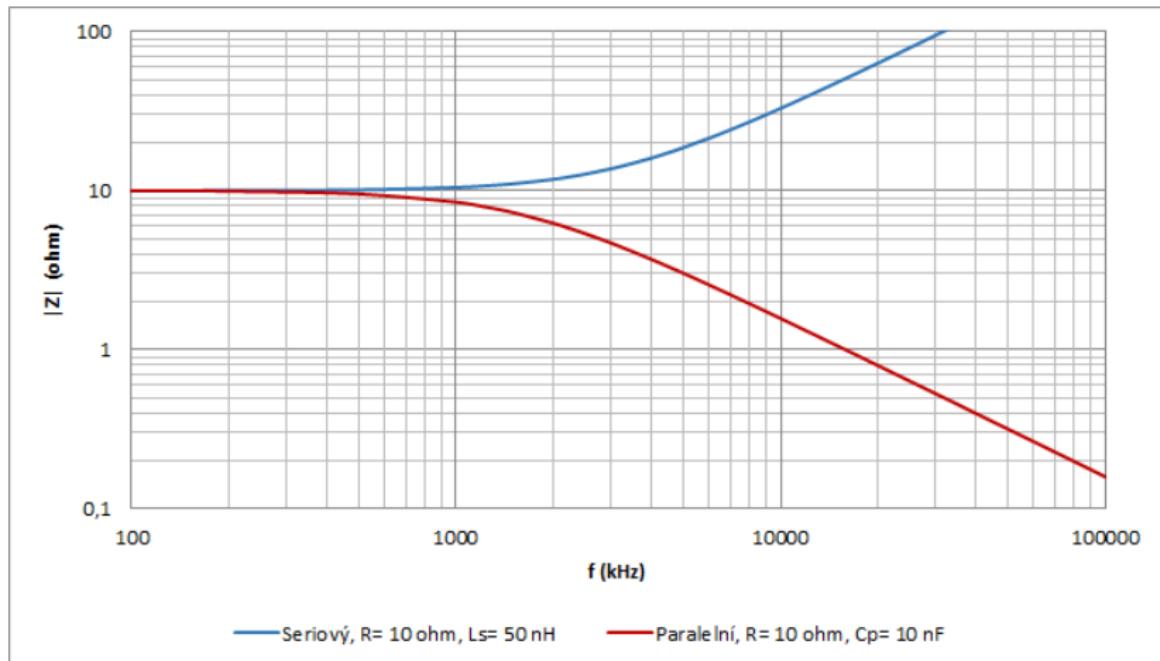


# Vlastnosti pasivních součástek na vysokých frekvencích

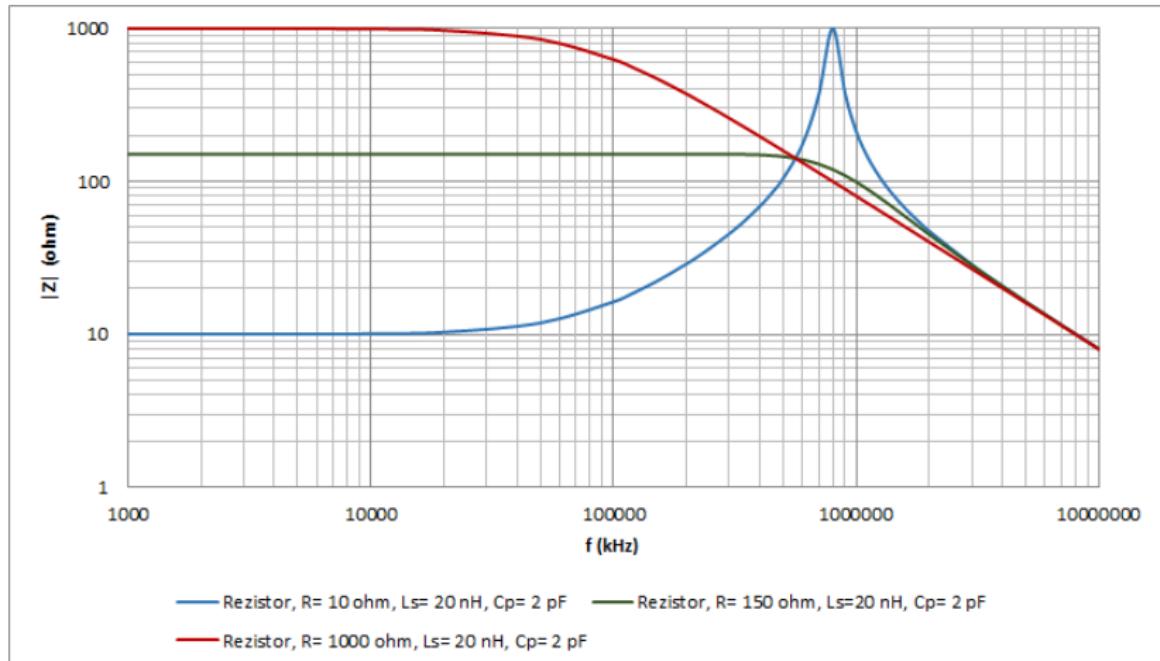


- a) Rezistor nebo cívka
- b) Kondenzátor

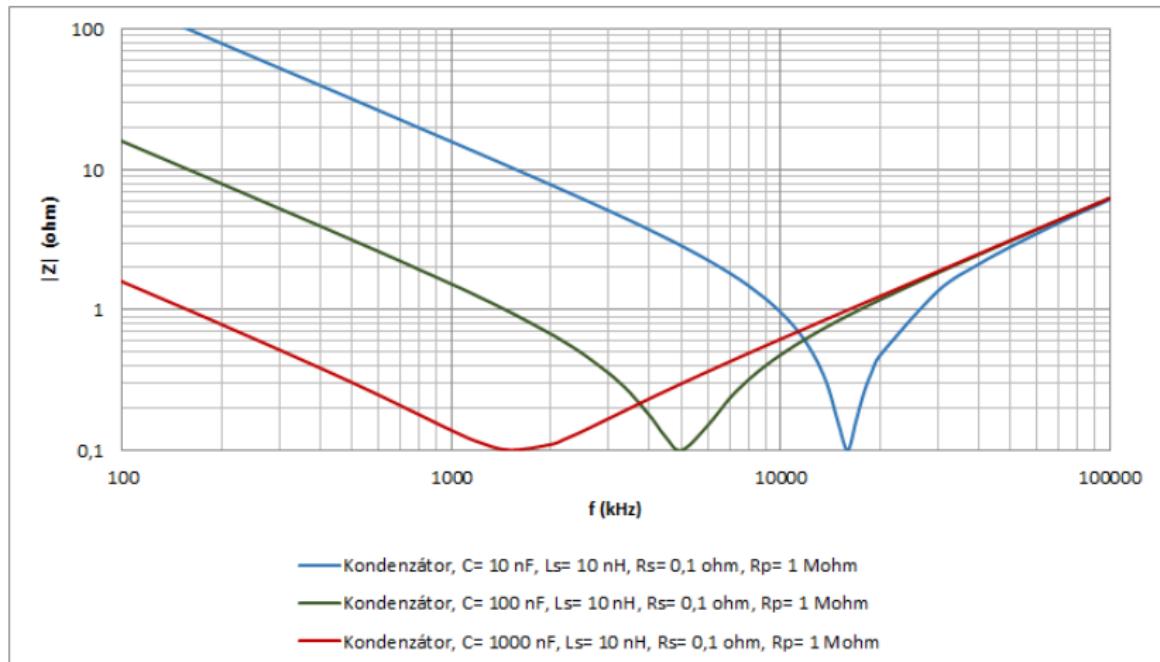
# Typická závislost impedance



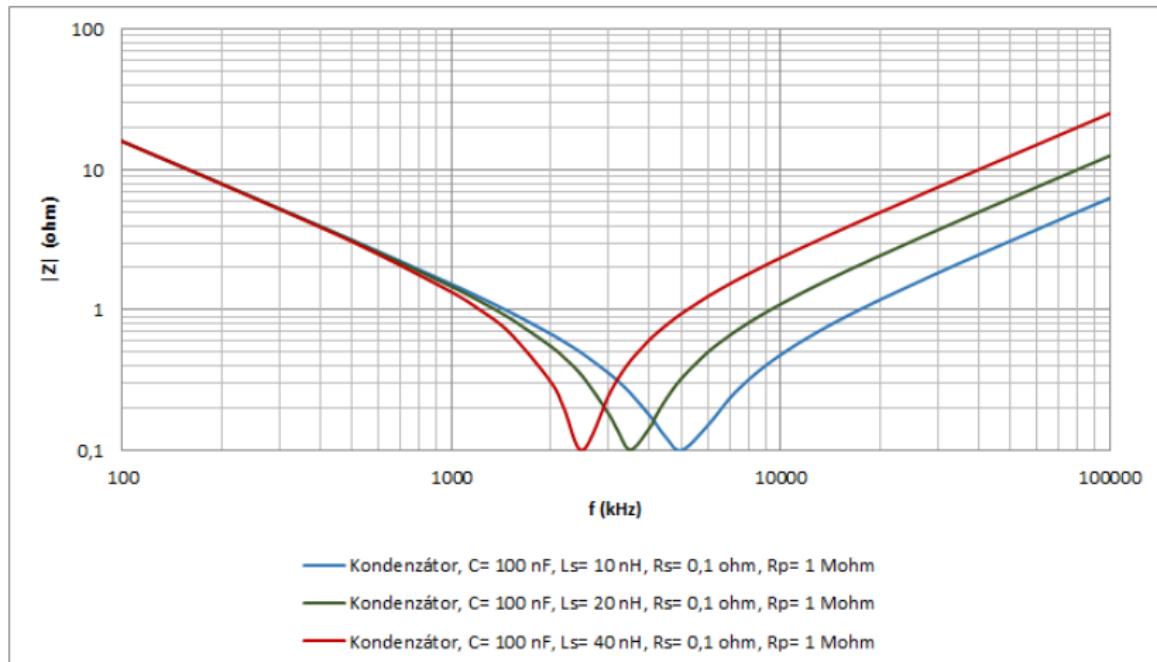
# Rezistory různých hodnot



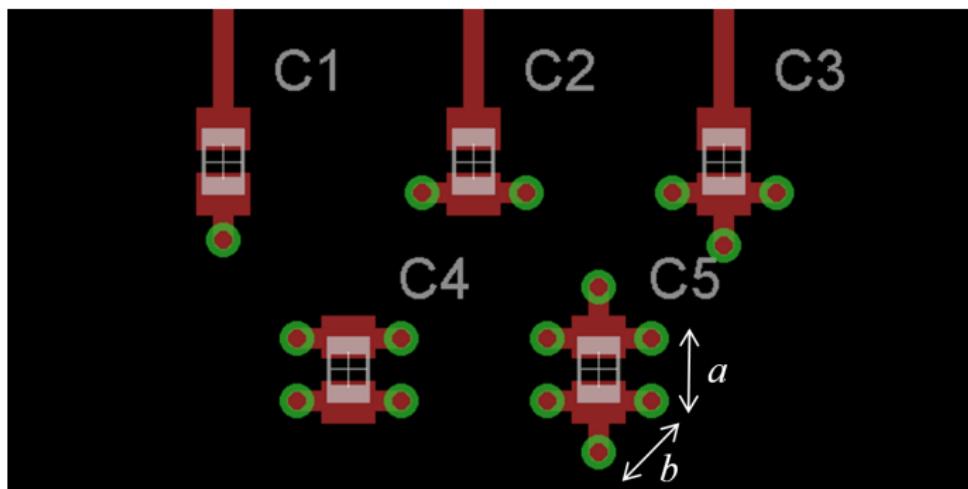
# Kondenzátory různých hodnot



# Vliv přívodů

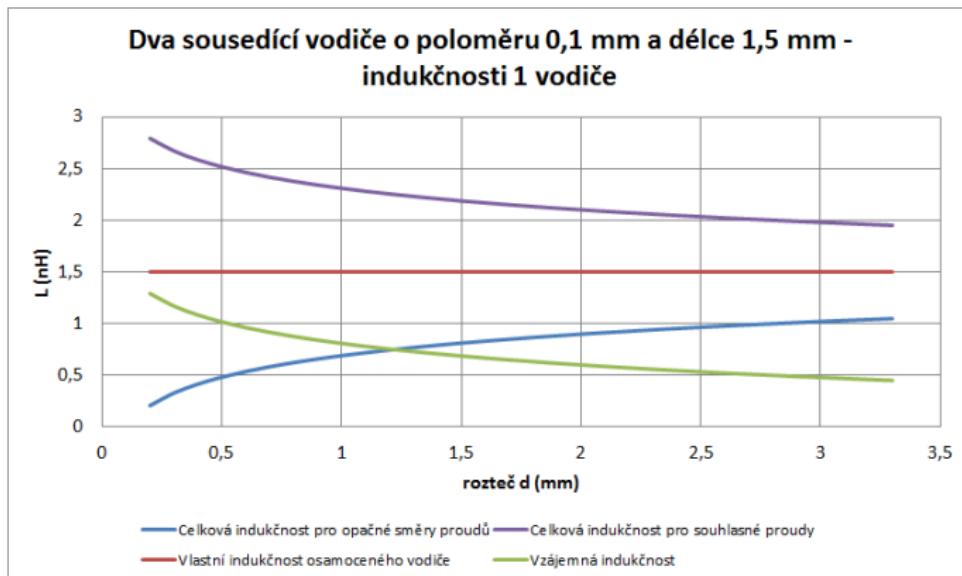


# Blokovací kondenzátory



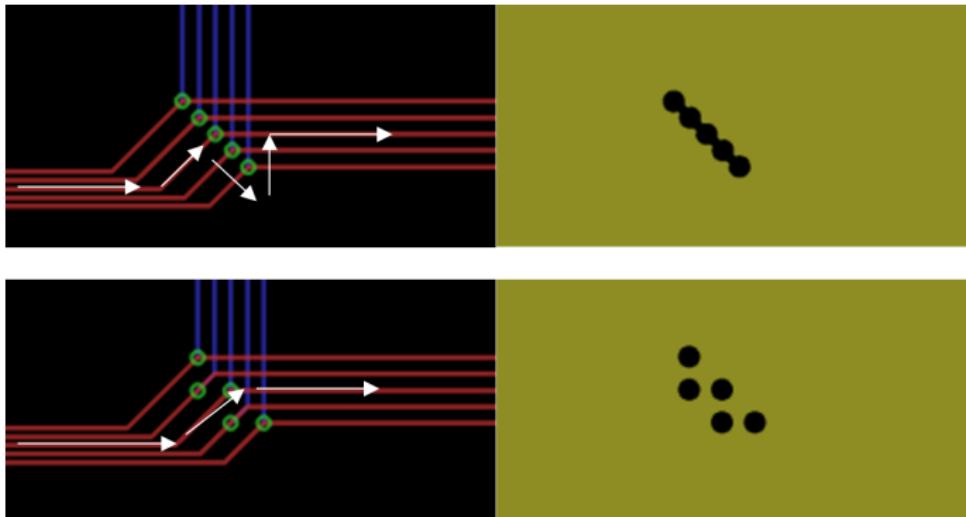
- Vlastní indukčnost přímého vodiče:  $L_V \approx 1 \text{ nH/mm}$
- S rostoucí vzdáleností  $b$  a klesající vzdáleností  $a$  klesá vzájemná indukčnost mezi prokovy a tím i výsledná celková indukčnost.

# Odhad indukčnosti prokovů

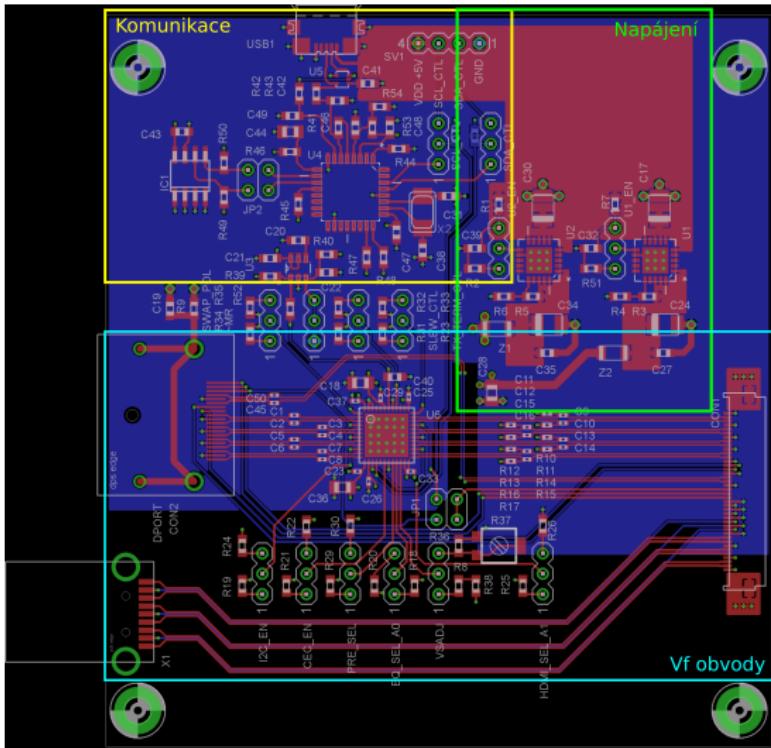


# Zpětné proudy

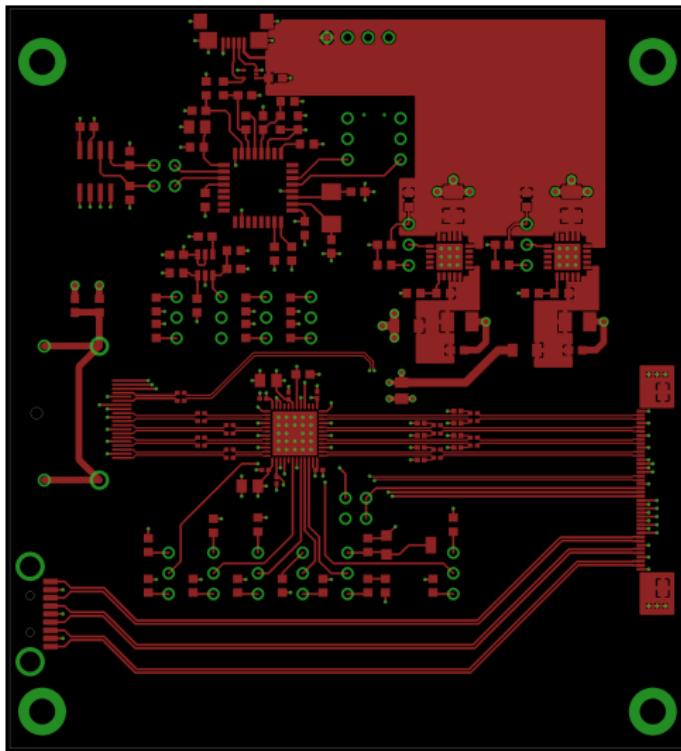
- nevhodné a vhodné odbočení více vodičů
- prokovy umístěně blízko sebe vytvářejí mezeru ve vodivé cestě



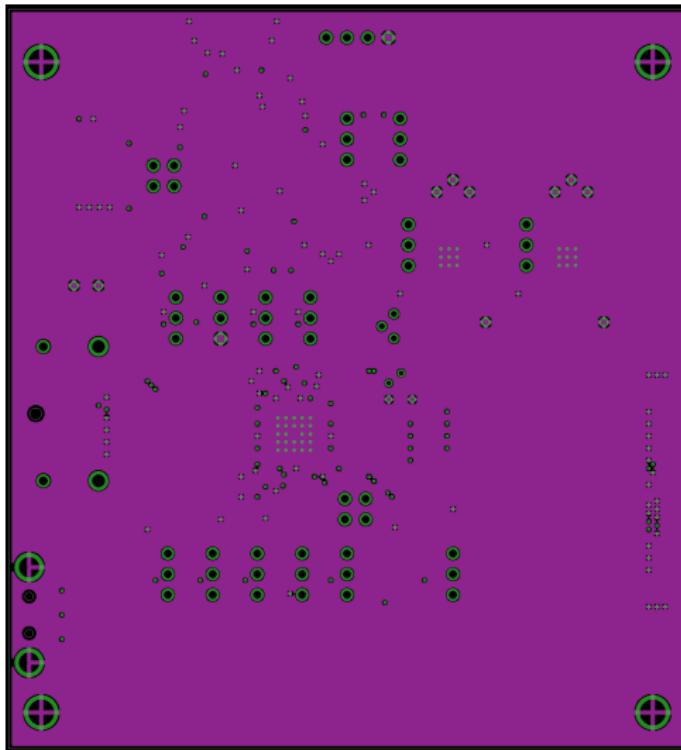
# Rozvržení DPS - Příklad



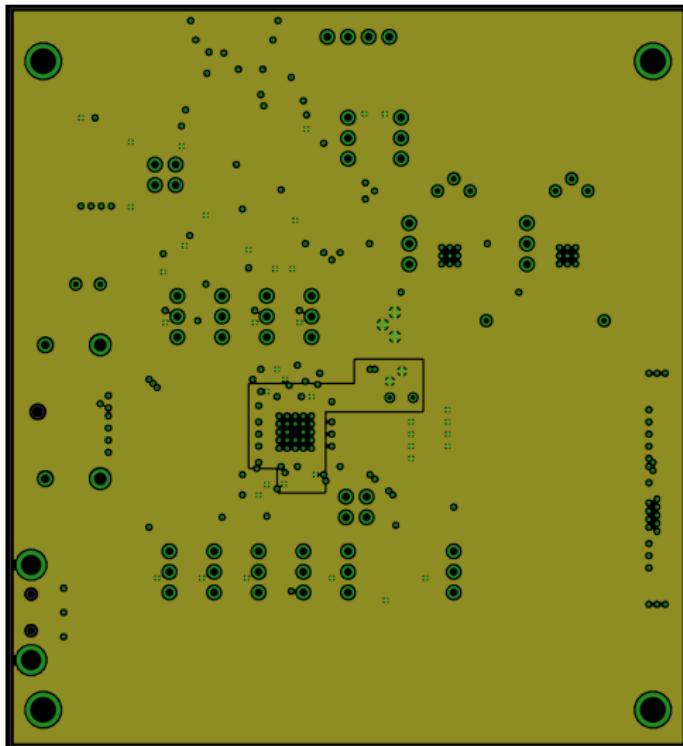
# Rozvržení DPS - Příklad TOP = Rychlé signály



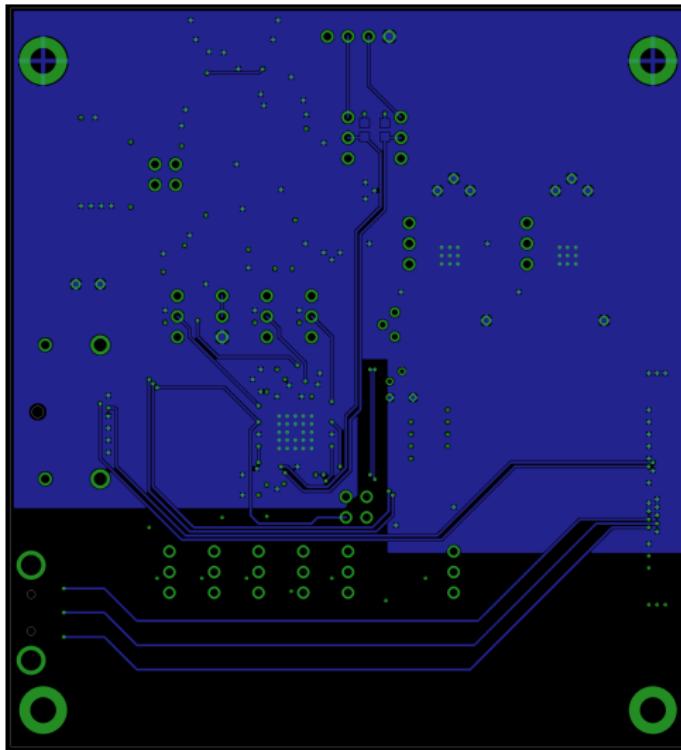
# Rozvržení DPS - Příklad IN2 = GND



# Rozvržení DPS - Příklad IN3 = Napájení



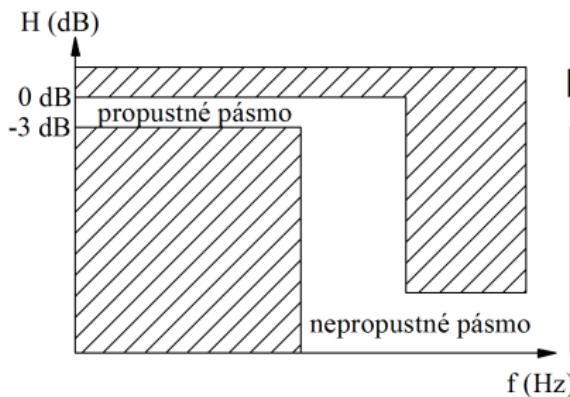
# Rozvržení DPS - Příklad BOT = Pomalé signály



# Elektrické filtry

Návrh:

- obvykle pro frekvence nad 150 kHz
- účinnost filtru značně závisí na vstupní (zdroj) a výstupní (zátež) impedanci
- účinnost je posuzována dle vložného útlumu
- používáme návrhový software nebo tabulky pro daná toleranční pásma - normované hodnoty



NDP Butterworth

$N$	$l1$	$c1$	$l2$	$c2$
1	2			
2	1.41	1.41		
3	1	2	1	
4	0.77	1.85	1.85	0.77

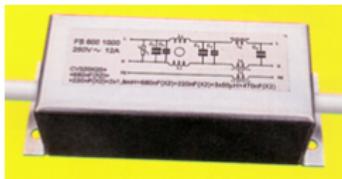
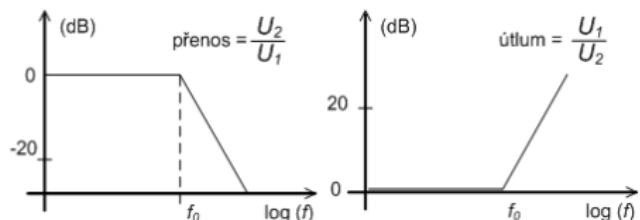
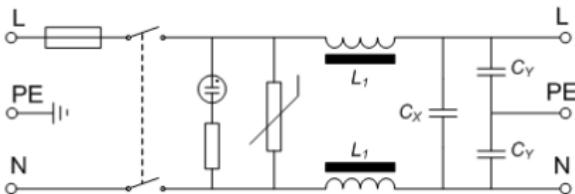
# Sítové filtry

Odlišnosti:

- zpracovávají relativně velké pracovní proudy
- jsou určeny pro nn = nároky na bezpečnost
- impedance sítě případně zátěže v daném frekvenčním pásmu není obvykle známá
- podle ČSN CISPR 17 je útlum filtru měřen pro zakončovací impedance  $50\Omega$  nebo  $75\Omega$  (Standardní metoda)

# Sítové filtry

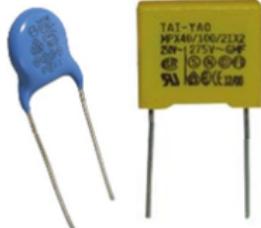
- symetrické a nesymetrické složky  
– více typů L,C
- omezené rozměry indukčností  
(hmotnost)
- omezené kapacity  $C_Y$  (unikající  
zemní proudy)
- doplňkové funkce – přepěťové  
ochrany, pojistky, vypínače aj.



# Sítové filtry

## Kondenzátory

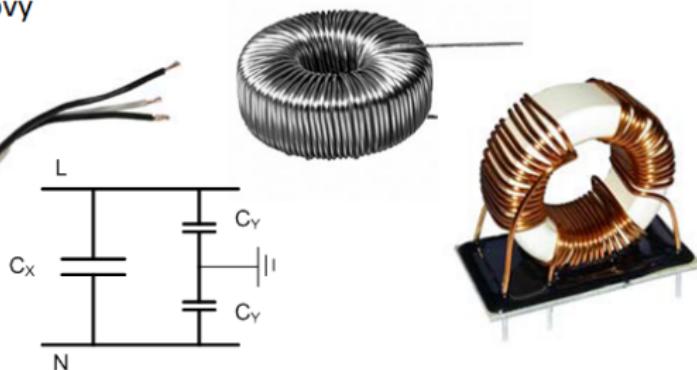
- mezi pracovními vodiči – typ  $C_X$   
 $X1\dots$  přepěťové špičky  $> 1,2 \text{ kV}$   
 $X2\dots$  přepěťové špičky  $< 1,2 \text{ kV}$
- mezi prac. vodiči a zemí – typ  $C_Y$ 
  - bezpečnostní
  - $C = 50 \text{ nF}$  pro max. unikající proud  $3,5 \text{ mA}$
  - různá provedení, např. průchodkový kondenzátor



Kombinace

## Tlumivky

- dimenzované na jmenovitý proud
- nekompenzované pro symetrické ruš.  
– přesycování jádra
- kompenzované pro nesymetrické ruš.  
– magnetické toky se odečítají



# Sítové filtry

- Vlivem parazitních vlastností součástek neodpovídá útlum filtru teoretickým předpokladům v celém požadovaném frekvenčním rozsahu
- ČSN CISPR 17 Metody měření útlumových charakteristik pasivních vysokofrekvenčních filtrů a odrušovacích součástek
- Hlavní kritérium – velikost vložného útlumu
- Záleží na konfiguraci, impedančním systému
- nejčastěji pomocí kombinovaného přístroje vf. generátor – laditelný přijímač



nesymetricky

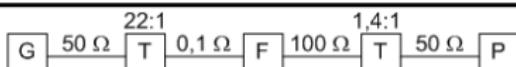


asymetricky



symetricky

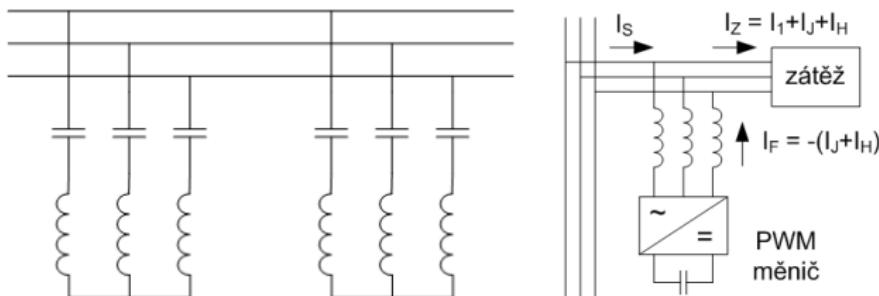
standardní metoda	<ul style="list-style-type: none"> <li>- známý zakončovací impedance (<math>50/75 \Omega</math>)</li> <li>- bez zátěže/s jmenovitou zátěží</li> <li>- filtr lze připojit symetricky, asymetricky, nesymetricky, aj.</li> <li>- běžné měření jen do 30 MHz</li> </ul>
metoda nejhoršího případu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- odhadnutí nejhoršího možného nepřizpůsobení</li> <li>- pro síťové odrušovací filtrování <math>0,1 \Omega / 100 \Omega</math></li> </ul>



# Obsah

- 1 Základní pojmy
- 2 Legislativa
- 3 Přehled zkoušek
- 4 Způsoby omezování emisí
  - Nízkofrekvenční rušení
  - Vysokofrekvenční rušení
  - Elektrické filtry
- 5 Pevné instalace

# Kompenzace harmonických proudů



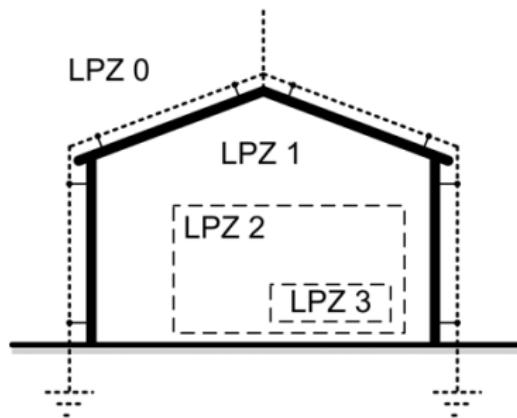
- **Pasivní filtry**

- laděná sekce filtrů pro danou harmonickou složku
- vytvářejí uzel s nízkou impedancí pro danou frekvenci

- **Aktivní filtry - AHC (velmi populární)**

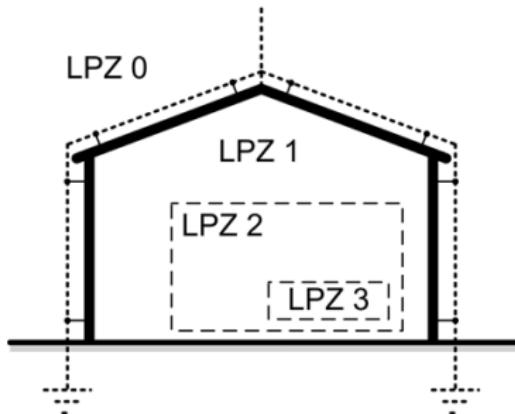
- výkonový tranzistorový PWM měnič
- pomocí PWM doplňuje filtr ( $I_F$ ) odebírané harmonické ( $I_H$ ) a jalové ( $I_J$ ) složky proudu zátěže ( $I_Z$ )
- může kompenzovat také nesymetrii odběru proudu

# Ochrana proti přepětí



- **LPZ0:** systém hromosvodů, jímacích tyčí, svodů a zemnění
- **LPZ1,2:** prostory uvnitř budovy
  - zóna 1 kolem hlavních rozvaděčů
  - zóna 2 kolem podružných rozvaděčů a instalací nn

# Ochrana proti přepětí



- **LPZ3:** prostor uvnitř koncového zařízení

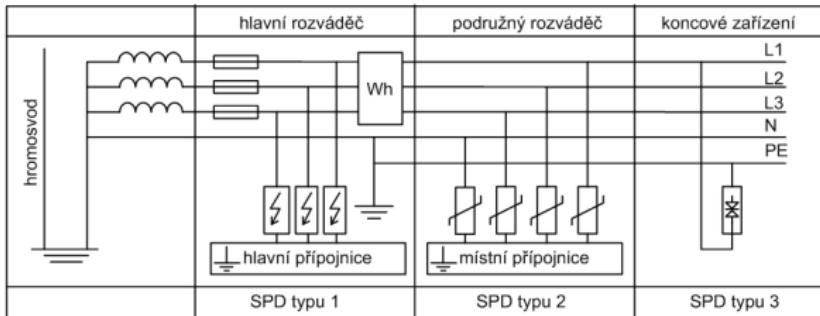
- mimo napájecí sít nn
- např. jde o skříň počítače, telefonní aparát aj.
- ochranu nelze dodatečně ovlivnit

# Ochrana proti přepětí

- starší značení přepěťových ochran a jejich umístování

	IV 6 kV	III 4 kV	II 2,5 kV	I 1,5 kV
230 V/50 Hz, TNC				
staré značení svodičů	Třída B	Třída C	Třída D	koncové zařízení
zóny ochrany před bleskem, ČSN EN 62305-1	LPZ-0	LPZ-1	LPZ-2	LPZ-3

- nové značení a umístění  
(ČSN EN 62305-1)



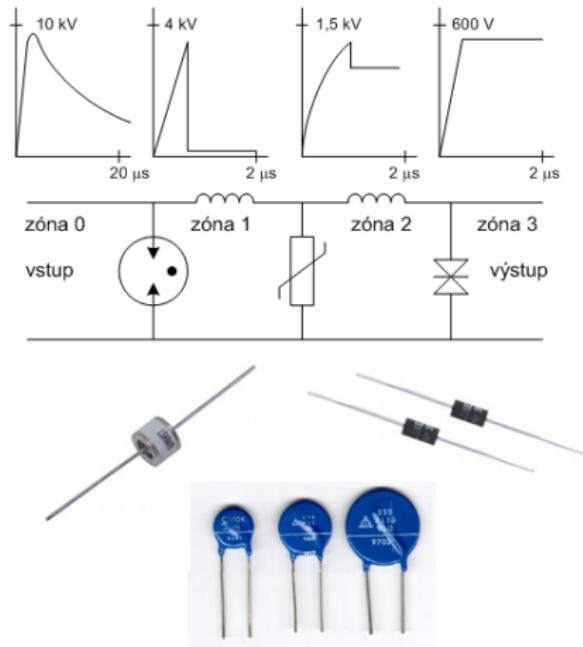
# Ochrana proti přepětí

## Princip:

- Omezení přepětí vyrovnáním potenciálu vůči zemi

## Koordinace:

- kaskádní řetězec – postupné omezování přepětí
- Mezi jednotlivými SPD musí být doporučená vzdálenost nebo vřazena ochranná rázová tlumivka
- Vyrábějí se také kombinované typy (SPD1+2) a vzájemně koordinované typy, které je možné řadit těsně vedle sebe



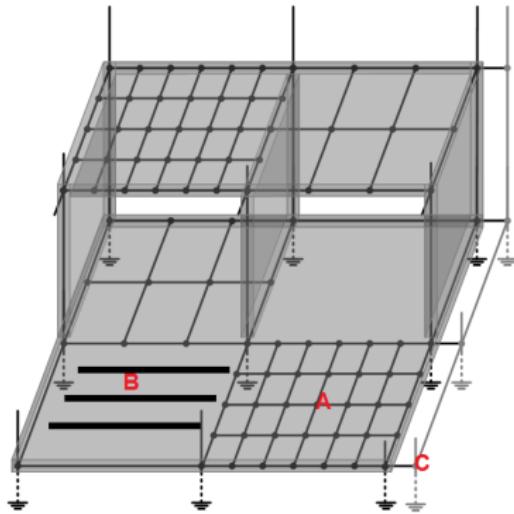
# Porovnání vlastností svodičů přepětí

	bleskojistky	varistory	lavinové diody	Zenerovy diody
<b>pracovní napětí</b>	100 V ÷ 10 kV	10 V ÷ 1000 V	100 V ÷ 1000 V	10 V ÷ 100 V
<b>špičkový proud</b>	10 kA	1000 A	100 A	100 mA
<b>max. absorbovaná energie</b>	10 kJ	1000 J	10 J	0,1 J
<b>doba reakce</b>	1 ms	0,1 ms	10 ns	10 ns
<b>kapacita</b>	10 pF	1÷10 nF	1 nF	10 pF

- Varistory mají nevýhodu, že postupem času se u nich zvyšuje unikající proud
- Je třeba respektovat silové působení velkých proudů na vodiče - odpovídající upevnění instalace

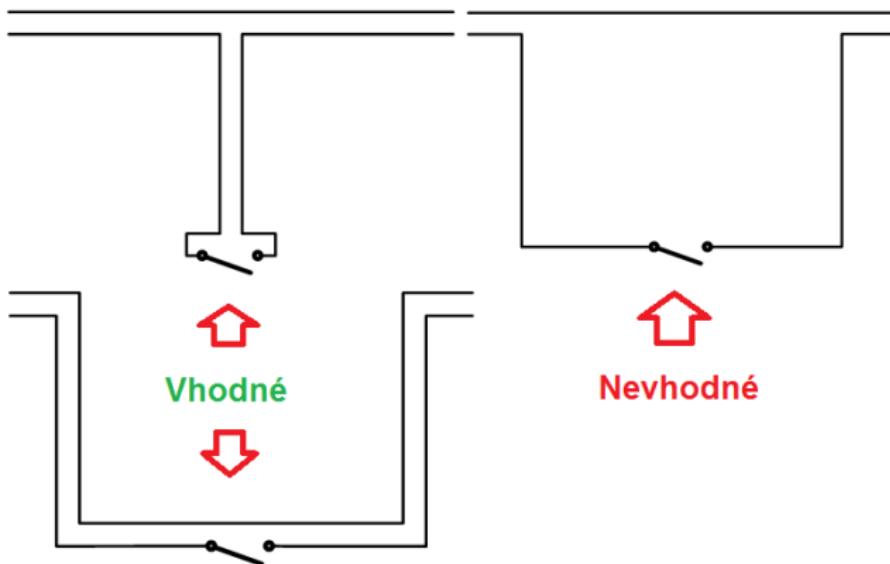
# Zemnění a pospojování

- A Využití konstrukčního systému budov
- B Vodivá lože strojů
- C Propojení s hromosvodným systémem
- Vytvoření zón podle úrovně rušení
- Paralelní zemní vodiče



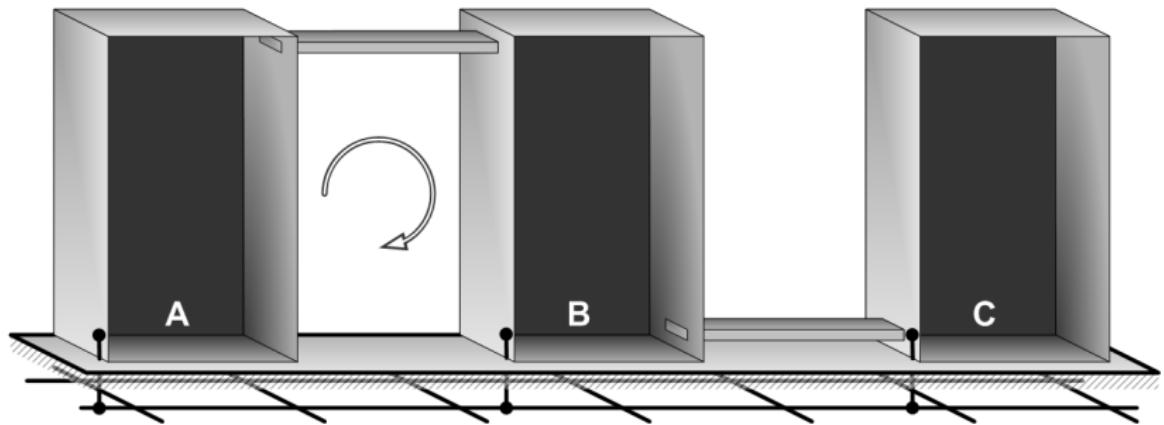
# Volba kabelových tras

Vhodné uskupení minimalizuje smyčky



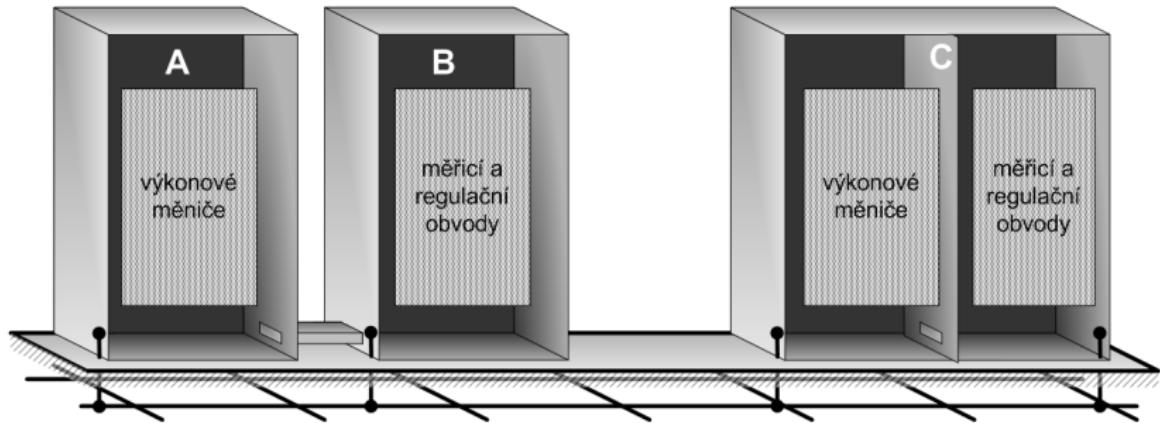
# Volba kabelových tras

## Prevence vytváření velkých smyček



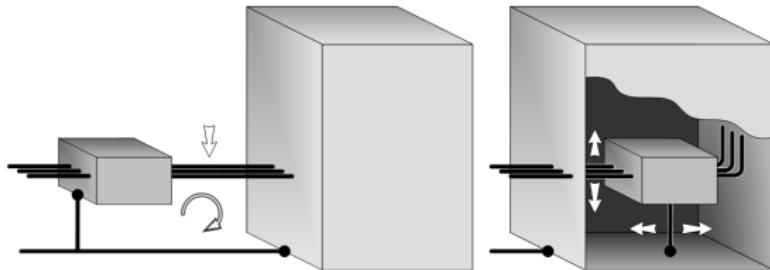
# Volba kabelových tras

- uspořádání rozvaděčů do funkčních bloků - tvorba zón (A,B,C)
- oddělení rušivých a na rušení citlivých zařízení (A,B,C)
- potlačení vazeb (C)

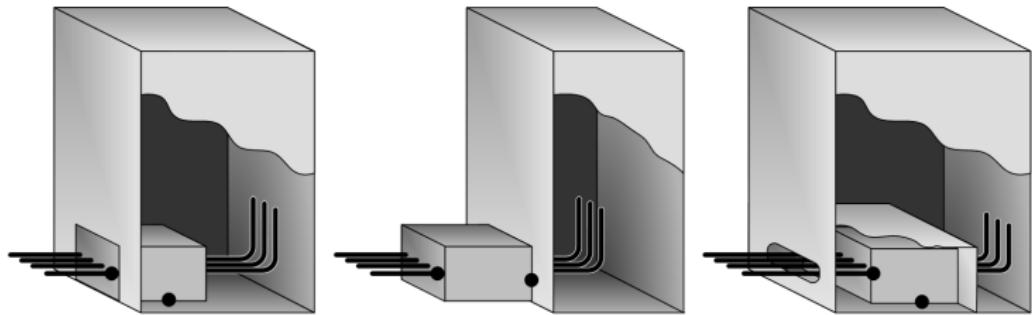


# Montáž filtrů

- Nevhodná - nejsou potlačeny vazby s okolím

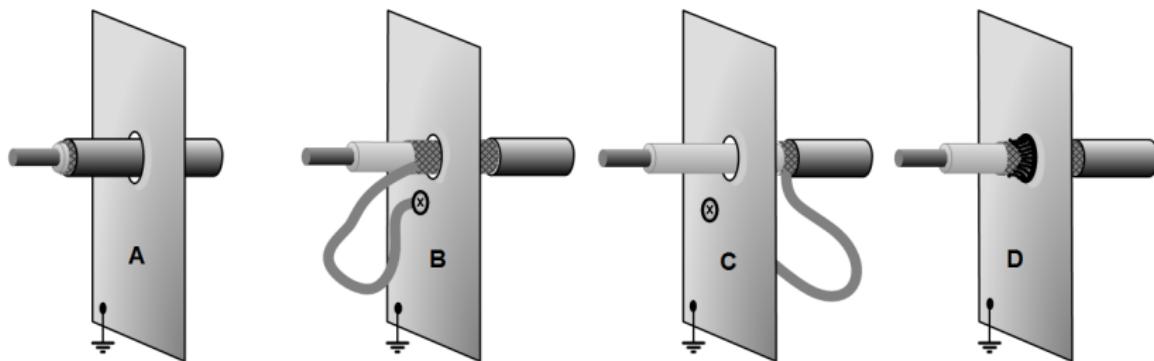


- Vhodné provedení



# Vstup kabelu do stínění

- A Plášť odděluje stínící vodič od stínění - **špatně**
- B-C Stínící vodič je připojen přes ocásek uvnitř nebo vně stínění - velká indukčnost, možnost zatažení rušení do stíněného prostoru
- D Správné připojení nejlépe 360°



# Kabelové žlaby

## Funkce:

- nosná
- uspořádávající
- paralelní vodič
- stínící

## Materiál:

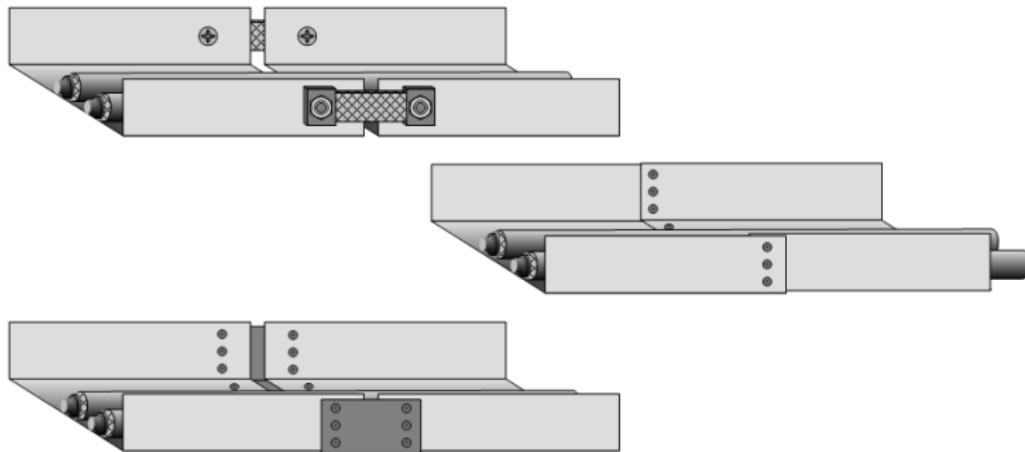
- kov
- plast

## Provedení:

- otevřený nebo uzavřený
- drátěný, plný nebo děrovaný plech

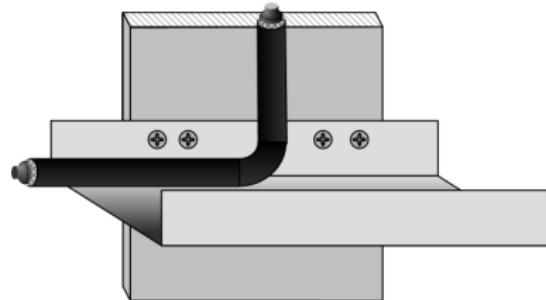
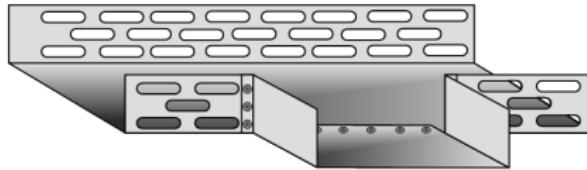
# Propojování žlabů

- nepropojené nemohou plnit funkci stínění ani zemního vodiče
- vhodné propojení je v místech, kde vedou kabely (zpětné proudy)
- nejlépe propojovat po celém obvodu žlabu



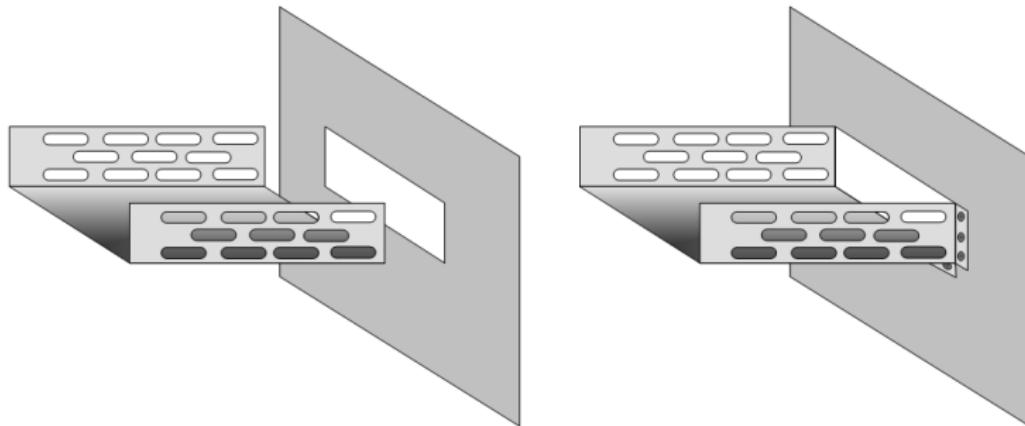
# Křížení a odbočování

- spoj po celém obvodu žlabu
- pro odbočení je možné využít vodivé konstrukce budovy



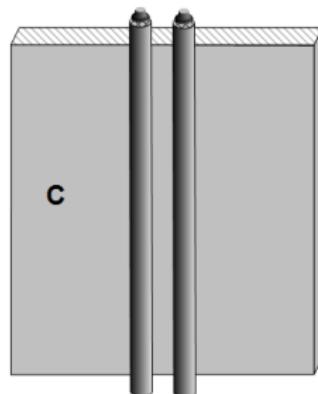
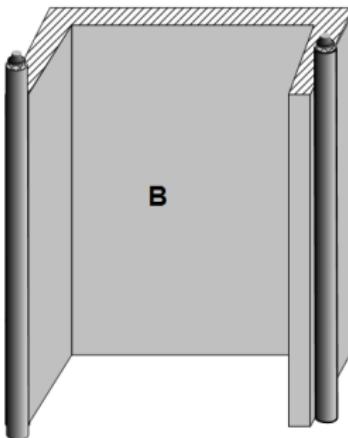
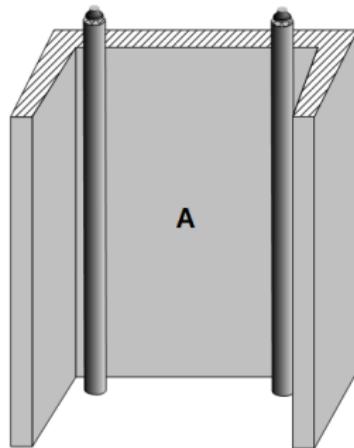
# Napojení na rozvaděč

- ukončení žlabu před rozvaděčem (vlevo) - **špatně**
- žlab se propojuje s rozvaděčovou skříní podobně jako při realizaci odbočení (vpravo)



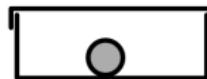
# Umisťování kabelů na vodivé konstrukci

- A využití stínícího účinku v rozích
- B naprosto nevhodné - malý stínící účinek, kabel vlevo je navíc v místě s možným výskytem vysoké elektrické intenzity
- C využití stínícího účinku středu vodivé plochy

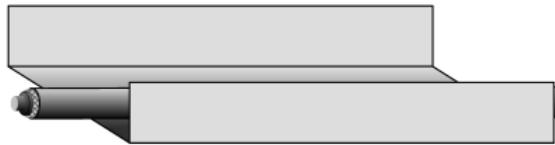


# Umisťování kabelů do žlabu

- stíněný žlab

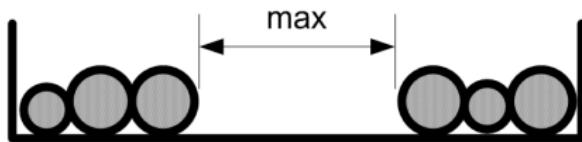


- otevřený žlab - využívá se stínící účinek rohů



# Umisťování kabelů do žlabu

- rozhodující je jejich klasifikace - obdobně jako u zón v rozváděčích
- různé třídy se oddělují
  - a) vzdáleností
  - b) přepážkou

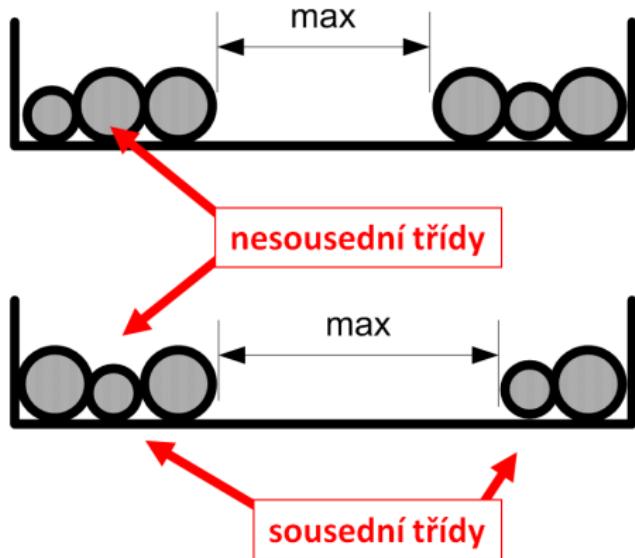


# Klasifikace

- **Třída 1:** Kabely s proudy z velmi citlivých nízkoúrovňových signálů  
- SENZORY, případně rychlá komunikace nad 1 MHz
- **Třída 2:** Méně citlivé signály do 1 MHz - DIGITÁLNÍ KOMUNIKACE (RS232, RS485 apod.)
- **Třída 3:** Signály s nízkou úrovní vyzařování - AC/DC NAPÁJENÍ
- **Třída 4:** Silně rušící signály - VÝKONOVÉ OBVODY, pwm, komutátorové stroje apod.
- Požadavek na oddělení roste s číslem třídy - nutná větší vzdálenost nebo vlastní žlab

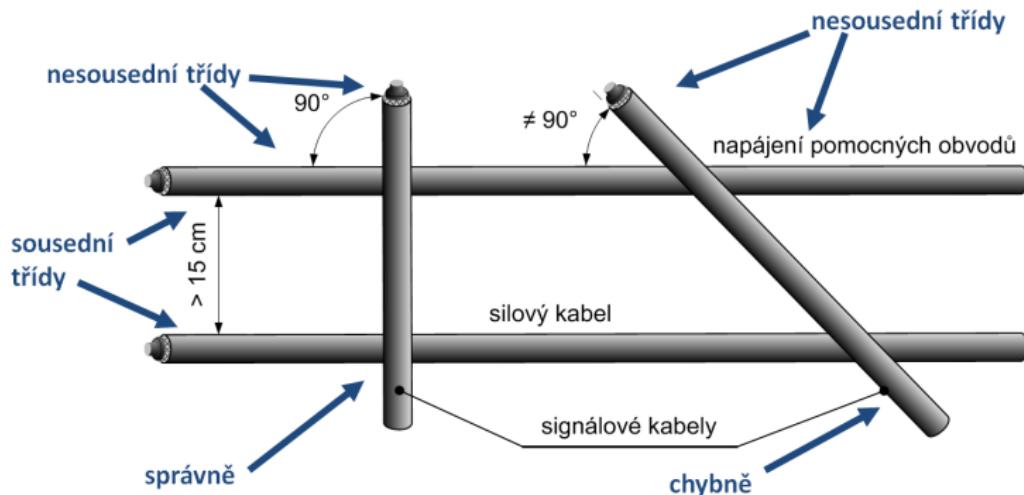
# Umisťování kabelů do žlabu

- sousední třídy je možné vést jedním žlabem
- nesousední třídy je vhodné vést v oddělených žlabech



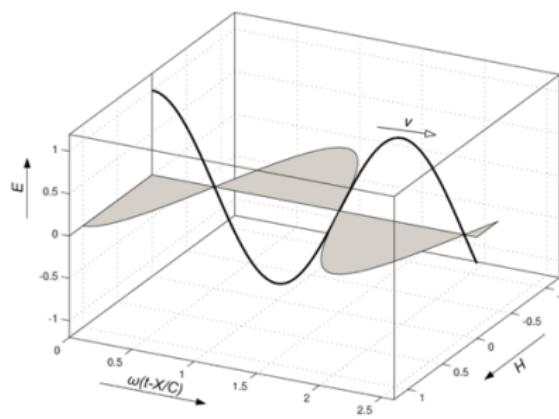
# Křížení kabelů

- Je třeba minimalizovat vazby mezi jednotlivými třídami



# Stínění - vyzařování

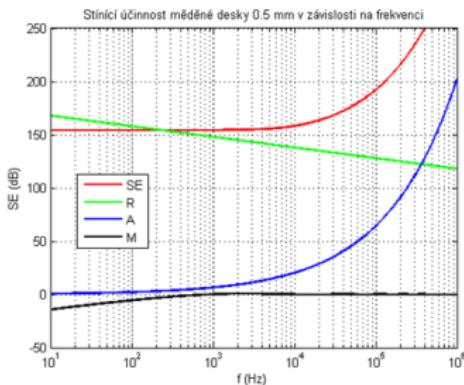
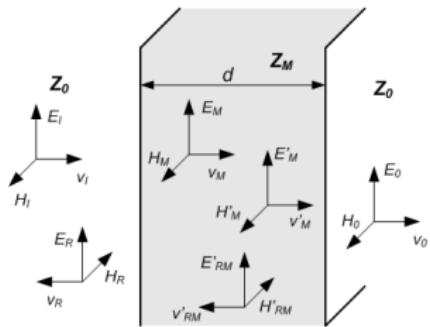
- Materiálové konstanty:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-12} \text{ H/m}$ ,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
- Hustota výkonu:  $W = \frac{1}{2} \cdot E \times H = \frac{1}{2} \cdot \frac{E^2}{Z} = \frac{1}{2} \cdot Z \cdot H^2$
- Vlnová impedance:  $Z = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma+j\omega\epsilon}}$
- Pro vzduch:  $Z = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$



# Stínění

- lze definovat jako lokalizaci elmag. pole v ohraničeném prostoru
- účelem je odstranit z okolí citlivého zařízení rušivé pole
- stíněný prostor je ohraničen mechanickým krytem
- součástí jsou i filtry a oddělovací obvody pro potlačení rušení z procházejících vodičů
- podle rušivého elmag. pole na které je stínění účinné dělíme stínění:
  - elektrostatické
  - magnetostatické
  - elektromagnetické

# Stínění



- Účinnost stínění:

$$SE = 20 \lg \frac{H_I}{H_o} = 20 \lg \frac{E_I}{E_o}$$

$$SE = 20 \cdot \lg \left( \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4Z_0 \cdot Z_M} \cdot e^{\frac{d}{\delta}} \cdot \left( 1 - \left( \frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-2 \cdot \frac{d}{\delta}} \right) \right)$$

R (dB) + A (dB) + M (dB)

- R...      útlum odrazem
- A...      útlum absorpcí
- M...      vliv mnohonásobných odrazů

# Stínění

Na vysokých frekvencích roste hodnota  $Z_M$ :

$$Z_M = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}} \approx \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} \quad (1)$$

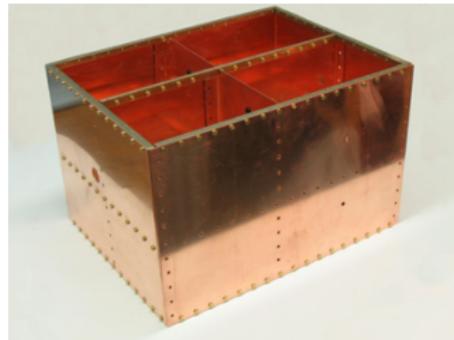
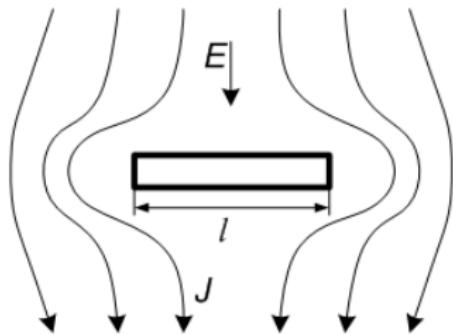
Absorpční útlum nabývá na významu - požadujeme nízkou hodnotu hloubky vniku:  $\delta = \frac{2 \cdot \sigma}{\omega\mu}$

kmitočet	hloubka vniku $\delta$				
	měď	hliník	uhlíková ocel	trafoplech	Permalloy
50 Hz	9,5 mm	13 mm	3,2 mm	2,2 mm	0,5 mm
500 Hz	3 mm	4 mm	1 mm	0,71 mm	0,16 mm
5 kHz	0,95 mm	1,3 mm	0,32 mm	0,22 mm	50 mm
50 kHz	0,3 mm	0,4 mm	0,1 mm	71 mm	40 mm
500 kHz	95 mm	0,13 mm	30 mm	50 mm	30 mm
5 MHz	30 mm	40 mm	15 mm	35 mm	25 mm
50 MHz	9,5 mm	13 mm	10 mm	22 mm	20 mm
500 MHz	3 mm	4 mm	7 mm	15 mm	15 mm

# Otvory ve stínění

Důvody:

- montážní, větrání, průhledy
- průchodky pro kabely



- vířivé proudy procházející stěnami krytu by měly procházet i spojem, spojiteč po jeho délce
- existence oblastí spoje, které nejsou vodivě propojeny vede ke snížení účinnosti krytu

# Otvory ve stínění

Pro útlum štěrbiny lze psát:

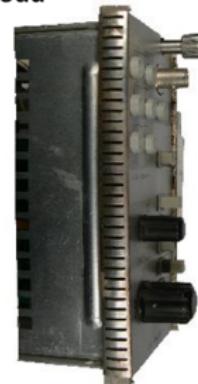
$$b(dB) = 20 \cdot \log \left( \frac{\lambda}{2 \cdot I} \right) \quad (2)$$

- mnoho šroubových spojů umístěných blízko sebe
- kvalitní spojení nejčastěji zajištěno pružnými kontaktními lištami:

na víku  
stínicího  
krytu



na uzemněném dílu vf. obvodu



na zásuvném bloku

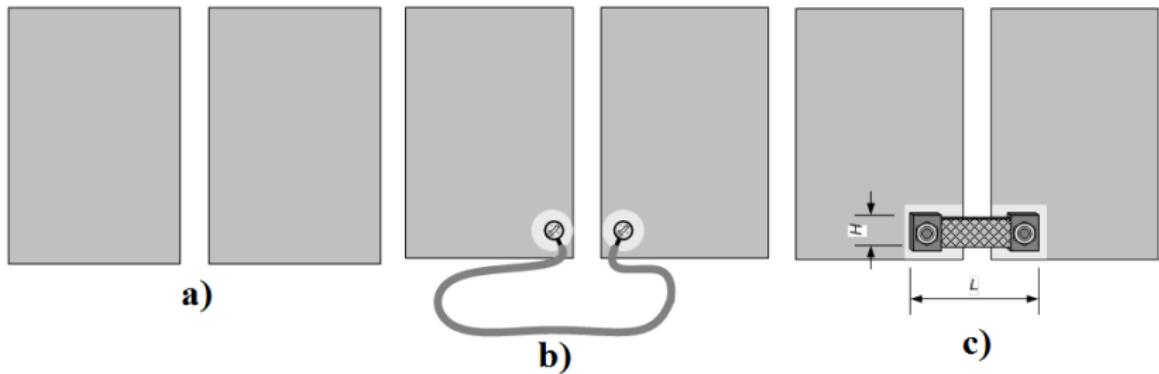
# Provedení konstrukčních částí

Konstrukční prvky plní řadu funkcí:

- mechanické - nosné
- ochrana osob nebo zařízení, krytí
- zemnění
- ochranné pospojování a pospojování EMC - **stínění**

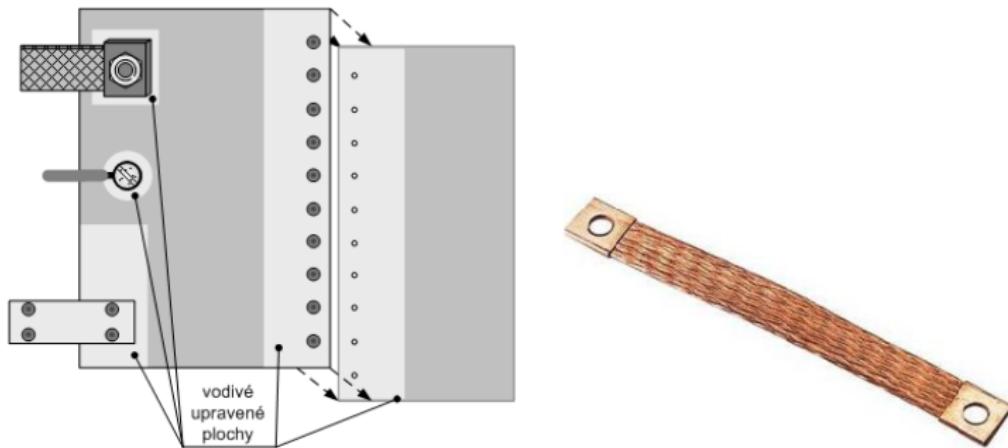
# Problematika propojování

- a) nepropojeno
- b) nf propojení - bezpečnostní pospojování
- c) vf propojení - EMC pospojování



# Problematika propojovani

- přípojná místa musí být bez nátěru, rzi, nečistot apod.
- pásková propojení mají nižší indukčnost
- pro vodivé spojení pohyblivých částí je vhodná plochá pletená propojka



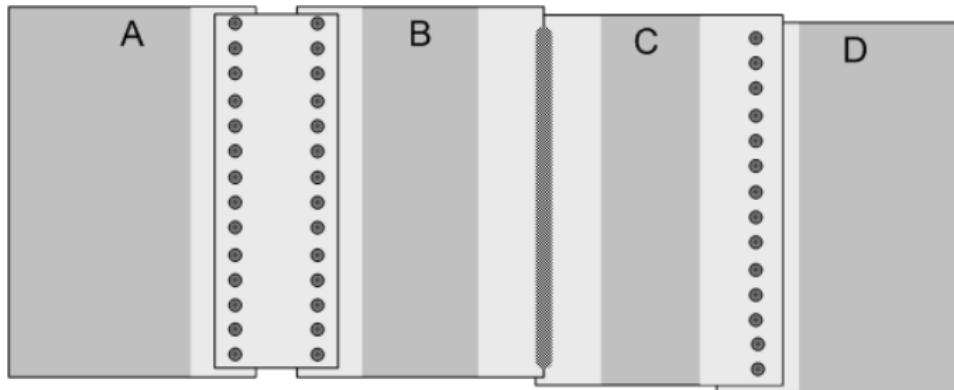
# Variancy propojovani

## Minimalizace mezer:

A-B Přeplátování vodivým pásem

B-C Svařované díly

C-D Vzájemné přeplátování spojovaných dílů



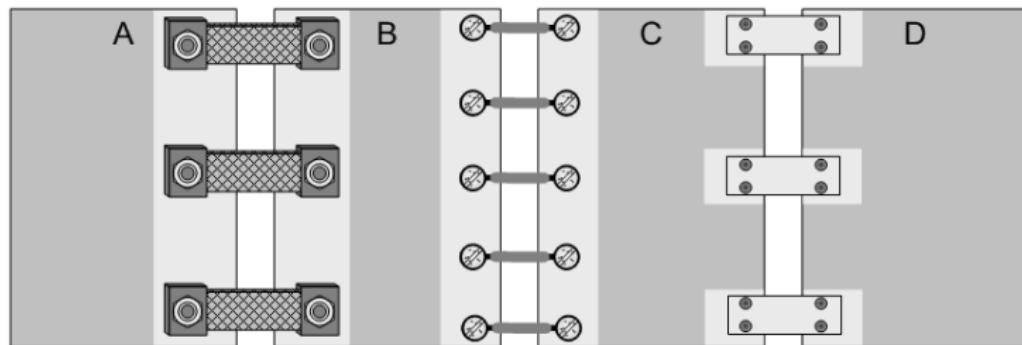
# Varinty propojovani

## Malé rozestupy mezi propoji:

A-B Pletené propojky - lze i pro pohyblivé části

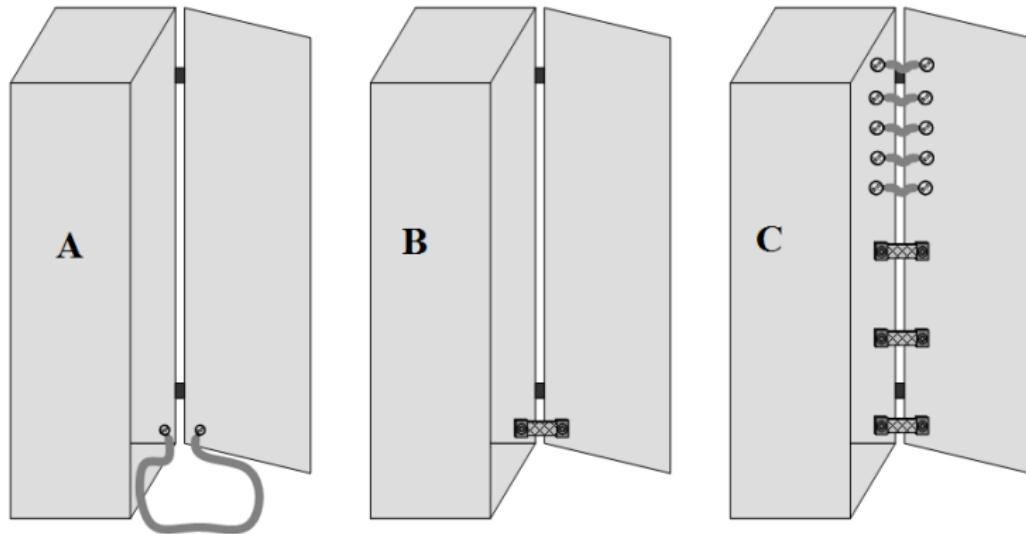
B-C Řada vodičů kruhového průřezu - pro pohyblivé součásti licnu

C-D Řada pásků - menší indukčnost než kruhový průřez



# Propojování pohyblivých součástí

- A Nízkofrekvenční - jen bezpečnostní, velká indukčnost
- B Jednobodové - špatné stínění mezer
- C Několikabodové propojení - vhodné, ale stále špatné stínění mezer



# Propojování pohyblivých součástí

Vodivé těsnění:

- Potlačení rušení
- Potlačení emisí

Průzor do rozvaděče musí být opatřen vodivou sítí.

