

Konstrukce elektronických zařízení

Garant předmětu:

Prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Autoři textu:

Prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Ing. Ivo Herman, CSc.

Ing. David Kubánek

Obsah

1	ÚVOD	7
2	KONSTRUKCE SIGNÁLOVÝCH SPOJŮ	7
2.1	NESYMETRICKÁ VEDENÍ	7
2.2	SYMETRICKÁ VEDENÍ.....	9
2.3	VLASTNOSTI SIGNÁLOVÝCH SPOJŮ	9
2.4	ELEKTRICKÉ PARAMETRY SPOJŮ	10
2.5	PROVEDENÍ SPOJŮ	13
2.5.1	<i>Jednodrátové vodiče</i>	<i>13</i>
2.5.2	<i>Mnohožilový kabel.....</i>	<i>14</i>
2.5.3	<i>Kroucený dvojité vodič (twist).....</i>	<i>14</i>
2.5.4	<i>Koaxiální kabel.....</i>	<i>15</i>
2.5.5	<i>Plošné spoje.....</i>	<i>15</i>
2.5.6	<i>Optické spoje</i>	<i>17</i>
3	NAPÁJECÍ ZDROJE A ROZVODY	17
3.1	NAPÁJECÍ ZDROJE	17
3.1.1	<i>Síťový přívod.....</i>	<i>18</i>
3.1.2	<i>Transformátory.....</i>	<i>18</i>
3.1.3	<i>Odrušovací prostředky</i>	<i>20</i>
3.1.4	<i>Zdroje pro plovoucí část zařízení</i>	<i>22</i>
3.2	ROZVOD NAPÁJENÍ	23
4	ROZVODY SPOLEČNÉHO VODIČE – ZEMĚ	25
4.1	VHODNÉ UZEMNĚNÍ ZDROJE SIGNÁLU	25
4.2	ROZDĚLENÍ ZEMÍ	26
4.3	GALVANICKÉ ODDĚLENÍ	29
4.3.1	<i>Optoelektronické vazební členy.....</i>	<i>29</i>
4.3.2	<i>Oddělení impulsními transformátory</i>	<i>30</i>
5	PARAZITNÍ JEVY A JEJICH POTLAČENÍ	33
5.1	VAZBY NA PŘÍVODNÍCH VODIČÍCH.....	33
5.1.1	<i>Vstupní obvody</i>	<i>33</i>
5.1.2	<i>Výstupní obvody.....</i>	<i>33</i>
5.1.3	<i>Vazba signálových obvodů na odporu přívodů</i>	<i>35</i>
5.2	PARAZITNÍ KAPACITY	35
5.3	PARAZITNÍ INDUKČNOSTI.....	37
5.4	PŘECHODOVÉ ODPORY	38
5.5	TERMOELEKTRICKÁ NAPĚTÍ.....	39
5.6	PRONIKÁNÍ IMPULSNÍHO RUŠENÍ.....	40
5.7	PŘEPĚTÍ NA INDUKČNÍ ZÁTĚŽI.....	41
5.8	PŘENOS SIGNÁLŮ DLOUHÝM VEDENÍM	42
5.8.1	<i>Odrazy na vedení.....</i>	<i>42</i>
5.9	PŘESLECHY.....	46
5.10	NABÍJENÍ A VYBÍJENÍ VEDENÍ.....	47
6	STÍNĚNÍ.....	48
6.1	STÍNĚNÍ ELEKTRICKÉHO POLE	48
6.1.1	<i>Stínění obvodů</i>	<i>48</i>

6.1.2	<i>Stínění spojů</i>	51
-------	----------------------------	----

Seznam obrázků

OBR. 2.1:	OBVOD VYUŽÍVAJÍCÍ NESYMETRICKÉHO VEDENÍ	8
OBR. 2.2:	OBVOD VYUŽÍVAJÍCÍ SYMETRICKÉHO VEDENÍ	9
OBR. 2.3:	ROZMĚROVÉ PARAMETRY SAMOTNÉHO VODIČE	10
OBR. 2.4:	ROZMĚROVÉ PARAMETRY VODIČE NAD KOVOVOU DESKOU	10
OBR. 2.5:	ROZMĚROVÉ PARAMETRY KROUCENÉHO DVOJITÉHO VODIČE	10
OBR. 2.6:	ROZMĚROVÉ PARAMETRY DVOU VODIČŮ NAD KOVOVOU VRSTVOU	11
OBR. 2.7:	ROZMĚROVÉ PARAMETRY KOAXIÁLNÍHO KABELU	11
OBR. 2.8:	ROZMĚROVÉ PARAMETRY VODIČE NA PLOŠNÉM SPOJI	12
OBR. 2.9:	ROZMĚROVÉ PARAMETRY VODIČE NA OBOUSTRANNÉM PLOŠNÉM SPOJI	12
OBR. 2.10:	PROVEDENÍ PLOCHÝCH MNOHOŽILOVÝCH KABELŮ	14
OBR. 2.11:	KROUCENÝ DVOJITÝ VODIČ BEZ STÍNĚNÍ	14
OBR. 2.12:	KROUCENÝ DVOJVODIČ ZAPUŠTĚNÝ DO IZOLANTU	14
OBR. 2.13:	KOAXIÁLNÍ KABEL	15
OBR. 2.14:	TŘÍDY KONSTRUKČNÍHO PROVEDENÍ PLOŠNÝCH SPOJŮ	15
OBR. 2.15:	PLOŠNÝ SPOJ V PROVEDENÍ SOUSTAVA JEDNOTNÝCH VODIČŮ	16
OBR. 2.16:	PLOŠNÝ SPOJ V PROVEDENÍ SOUSTAVA JEDNOTNÝCH MEZER	16
OBR. 3.1:	PŘÍKLAD ŘEŠENÍ NAPÁJENÍ ZAŘÍZENÍ A POUŽITÝ VYPÍNAČ	18
OBR. 3.2:	RŮZNÉ TYPY TRANSFORMÁTORŮ	18
OBR. 3.3:	TVARY TRANSFORMÁTOROVÝCH PLECHŮ	18
OBR. 3.4:	VINUTÉ JÁDRO TYPU „C“	19
OBR. 3.5:	FERITOVÉ JÁDRO TYPU „E“	19
OBR. 3.6:	HRNÍČKOVÉ JÁDRO	19
OBR. 3.7:	CÍVKOVÉ TĚLÍSKO	20
OBR. 3.8:	ODRUŠOVACÍ PROSTŘEDKY	20
OBR. 3.9:	ODRUŠOVACÍ KAPACITOR	21
OBR. 3.10:	ODRUŠOVACÍ TLUMIVKA NA TOROIDNÍM JÁDRU	21
OBR. 3.11:	ODRUŠOVACÍ FILTRY LC	21
OBR. 3.12:	OCHRANA ZAŘÍZENÍ PROTI PRONIKÁNÍ RUŠENÍ ZE SÍTĚ	22
OBR. 3.13:	ZPŮSOB OCHRANY PROTI PRONIKÁNÍ RUŠENÍ ZE SÍTĚ I DO SÍTĚ	22
OBR. 3.14:	SCHÉMA MĚNIČE DC/DC PRO GALVANICKÉ ODDĚLENÍ TRANSFORMÁTOREM	22
OBR. 3.15:	PARAZITNÍ KAPACITY MEZI PRIMÁRNÍM A SEKUNDÁRNÍM VINUTÍM	23
OBR. 3.16:	PARAZITNÍ KAPACITY PO DOPLNĚNÍ MĚNIČE STÍNĚNÍM	23
OBR. 3.17:	USPOŘÁDÁNÍ TRANSFORMÁTORU PRO ODDĚLOVACÍ ZDROJ	23
OBR. 3.18:	PÁSNICOVÝ ROZVOD NAPÁJENÍ	24
OBR. 3.19:	BIFILÁRNĚ VINUTÁ TLUMIVKA	24
OBR. 3.20:	FILTR PRO NAPÁJECÍ NAPĚTÍ NA VSTUPU DESKY	24
OBR. 4.1:	VARIANTY UZEMNĚNÍ ZDROJE SIGNÁLU	25
OBR. 4.2:	KOMPENZACE RUŠIVÉHO NAPĚTÍ REZISTORY	26
OBR. 4.3:	PŘÍKLAD ČÁSTI OBVODU S ROZDĚLENOU VÝKONOVOU A SIGNÁLOVOU ZEMÍ	27
OBR. 4.4:	PŘÍKLAD ČÁSTI OBVODU S ROZDĚLENOU VÝKONOVOU A LOGICKOU ZEMÍ	27
OBR. 4.5:	ROZDĚLENÍ SLOŽITÉHO ZAŘÍZENÍ NA SAMOSTATNĚ NAPÁJENÉ A ZEMNĚNÉ ČÁSTI	28
OBR. 4.6:	PRINCIP ZAMEZENÍ RUŠENÍ ZEMNÍ SMYČKOU	29
OBR. 4.7:	ODDĚLOVACÍ OBVODY S OPTRONY	29
OBR. 4.8:	ODDĚLOVACÍ OBVOD S OPTRONEM S TRANZISTORY V DARLINGTONOVĚ ZAPOJENÍ	30
OBR. 4.9:	KOMPENZAČNÍ ODDĚLOVACÍ OBVOD S LINEÁRNÍ PŘENOSOVOU CHARAKTERISTIKOU	30
OBR. 4.10:	ODDĚLOVACÍ OBVOD S IMPULSNÍM TRANSFORMÁTOREM	31
OBR. 4.11:	ODDĚLOVACÍ OBVOD S TRANSFORMÁTOREM SE DVĚMA TOROIDY	31

OBR. 4.12:	ODDĚLOVACÍ OBVOD PŘENÁŠEJÍCÍ POUZE HRANY	31
OBR. 4.13:	PROVEDENÍ IMPULSNÍCH TRANSFORMÁTORŮ	32
OBR. 4.14:	GALVANICKÉ ODDĚLENÍ IMPULSNÍM TRANSFORMÁTOREM S MODULACÍ	32
OBR. 4.15:	GALVANICKÉ ODDĚLENÍ PŘI PŘEVODU NA DIGITÁLNÍ SIGNÁL	32
OBR. 5.1:	OCHRANA PROTI PRONIKÁNÍ RUŠENÍ PŘES NAPÁJECÍ VODIČE	33
OBR. 5.2:	PŘIPOJENÍ ZPĚTNOVAZEBNÍHO OBVODU PRO POTLAČENÍ IMPEDANCE PŘÍVODŮ K ZÁTĚŽI	34
OBR. 5.3:	PŘÍKLAD OBVODU S RŮZNÝMI VÝSTUPNÍMI ODPORY	34
OBR. 5.4:	OBVODY SE ZÁTĚŽÍ ODDĚLENOU REZISTOREM	34
OBR. 5.5:	PŘÍKLAD NEŽÁDOUCÍ VAZBY ZPŮSOBENÉ ODPorem PŘÍVODU	35
OBR. 5.6:	A), B) PARAZITNÍ KAPACITA MEZI VSTUPEM A VÝSTUPEM INVERTUJÍCÍHO ZESILOVAČE, C) NÁHRADNÍ MODEL VSTUPNÍHO OBVODU	36
OBR. 5.7:	K URČENÍ VLIVU PARAZITNÍ KAPACITY NA INVERTUJÍCÍ ZESILOVAČ	36
OBR. 5.8:	VZNIK PROUDOVÉ ZPĚTNÉ VAZBY NA ODPORU, SPOLEČNÉM VSTUPNÍMU I VÝSTUPNÍMU OBVODU	37
OBR. 5.9:	A) PŘIPOJENÍ KAPACITORU K REFERENČNÍ DIODĚ MÁ MALÝ FILTRAČNÍ ÚČINEK, B) ZLEPŠENÍ FILTRAČNÍHO ÚČINKU UŽITÍM FILTRU RC	37
OBR. 5.10:	A) NESPRÁVNÉ PŘIPOJENÍ BOČNÍKU K MĚŘIDLU, B) BOČNÍK AYRTON-PERRY ODSTRAŇUJE VLIV PŘECHODOVÉHO ODPORU	38
OBR. 5.11:	ČTYŘSVORKOVÉ ZAPOJENÍ POTLAČUJÍCÍ VLIV PŘECHODOVÝCH ODPORŮ PŘÍVODŮ	38
OBR. 5.12:	ZDROJ PROUDU ŘÍZENÝ NAPĚTÍM	39
OBR. 5.13:	NEŽÁDOUCÍ TERMoeLEKTRICKÉ SPOJE V SYSTÉMU OBSAHUJÍCÍM RŮZNORODÉ SOUČÁSTKY	40
OBR. 5.14:	SYMETRICKÁ KONSTRUKCE S OHLEDEM NA NEŽÁDOUCÍ TERMoeLEKTRICKÁ NAPĚTÍ	40
OBR. 5.15:	PRONIKÁNÍ IMPULSNÍHO RUŠENÍ PARAZITNÍ VAZBOU MEZI OBVODY	41
OBR. 5.16:	RŮZNÉ TYPY PARAZITNÍ VAZBY A JEJICH VLIV NA PŘENÁŠENÝ PRAVOÚHLÝ IMPULS	41
OBR. 5.17:	ODSTRANĚNÍ PŘEPĚŤOVÝCH ŠPIČEK NA INDUKČNÍ ZÁTĚŽI POMOCÍ DIOD	42
OBR. 5.18:	PŘENOS SIGNÁLU ELEKTRICKY DLOUHÝM NEPŘÍZPŮSOBENÝM VEDENÍM	43
OBR. 5.19:	PRŮBĚHY NAPĚTÍ PŘI PŘENOSU DLOUHÝM NEPŘÍZPŮSOBENÝM VEDENÍM	43
OBR. 5.20:	JEDNODUCHÉ ZAKONČENÍ VEDENÍ POMOCÍ REZISTORU O ODPORU ROVNÉM CHARAKTERISTICKÉ IMPEDANCI NELZE POUŽÍT	43
OBR. 5.21:	NĚKTERÉ ZPŮSOBY ZLEPŠENÍ PŘENOSOVÝCH VLASTNOSTÍ NESYMETRICKÉHO VEDENÍ	44
OBR. 5.22:	SPECIÁLNÍ VYSÍLAČE A PŘÍJÍMAČE PRO NESYMETRICKÉ VEDENÍ	45
OBR. 5.23:	PŘENOS DAT SYMETRICKÝM VEDENÍM	46
OBR. 5.24:	ZPOMALENÍ NÁBĚŽNÉ A SESTUPNÉ HRANY PŘENÁŠENÉHO IMPULSU	46
OBR. 5.25:	PŘÍMÝ A ZPĚTNÝ SIGNÁLOVÝ PŘESLECH	47
OBR. 5.26:	PŘESLECHY U DVOUVRSTVÉ DESKY S PARALELNÍMI PLOŠNÝMI VODIČI (VAZBA MEZI VODIČI A A B JE PŘÍBLIŽNĚ STEJNÁ JAKO MEZI VODIČI A A C)	47
OBR. 5.27:	ZPŮSOB OCHRANY PROTI ŠÍŘENÍ PROUDOVÝCH IMPULSŮ PO NAPÁJECÍCH A ZEMNÍCH VODIČÍCH	48
OBR. 6.1:	PARAZITNÍ KAPACITNÍ VAZBY BEZ STÍNĚNÍ	49
OBR. 6.2:	PARAZITNÍ KAPACITNÍ VAZBY S NEUZEMNĚNÝM STÍNĚNÍM	49
OBR. 6.3:	PARAZITNÍ KAPACITNÍ VAZBY S UZEMNĚNÝM STÍNĚNÍM	50
OBR. 6.4:	ODSTRANĚNÍ PARAZITNÍCH VAZEB STÍNÍCÍM KRYTEM	50
OBR. 6.5:	NEUZEMNĚNÉ STÍNĚNÍ MÁ OMEZENÝ ÚČINEK	50
OBR. 6.6:	PŘIPOJENÍ STÍNĚNÍ NA SPOLEČNÝ REFERENČNÍ POTENCIÁL	51

OBR. 6.7:	SPRÁVNÝ ZPŮSOB STÍNĚNÍ (PROPOJÍME-LI NAVÍC BODY D-E, ÚČINEK STÍNĚNÍ SE ZHORŠÍ)	51
OBR. 6.8:	PŘIPOJENÍ SOUOSÉHO KABELU DO MÍSTA S REFERENČNÍM POTENCIÁLEM	51
OBR. 6.9:	STÍNĚNÍ MUSÍ BÝT PŘIPOJENO K REFERENČNÍMU POTENCIÁLU VLASTNÍHO ZDROJE, JINAK DOCHÁZÍ KE KAPACITNÍ VAZBĚ RUŠIVÉHO SIGNÁLU	52
OBR. 6.10:	PROPOJENÍ NĚKOLIKA ÚSEKŮ STÍNĚNÍ	52
OBR. 6.11:	A) DO STÍNĚNÉHO VODIČE MŮŽE PRONIKAT RUŠENÍ, B) SPRÁVNÝ ZPŮSOB PŘIPOJENÍ STÍNĚNÍ K REFERENČNÍMU POTENCIÁLU ZDROJE	52
OBR. 6.12:	ZPŮSOB PŘIPOJENÍ STÍNĚNÍ SIGNÁLOVÝCH VODIČŮ K PŘÍSTROJI S DIFERENČNÍM VSTUPEM	53

Seznam tabulek

TAB. 2.1:	ODPOR A INDUKČNOST PŘÍMÉHO MĚDĚNÉHO VODIČE VE VOLNÉM PROSTORU.....	13
TAB. 2.2:	VLASTNOSTI PŘÍMÉHO MĚDĚNÉHO VODIČE NAD KOVOVOU DESKOU, RESP. NAD KOSTROU PŘÍSTROJE.....	13
TAB. 2.3:	VLASTNOSTI DVOU PARALELNÍCH VODIČŮ.....	13
TAB. 5.1:	TERMoelektrické konstanty některých materiálů proti mědi. (SLITINA CD/SN JE NÍZKOTEPLTNÍ PÁJKA, Pb/SN JE OBYČEJNÁ PÁJKA, SPOJ CU-CuO PŘÍSLUŠÍ ZOXYDOVANÉ MĚDĚNÉ SVORCE.).....	39

1 Úvod

Předmět konstrukce elektronických zařízení je určen pro studenty studijního oboru Teleinformatika, bakalářského studijního programu Elektrotechnika, elektronika, komunikační a řídicí technika.

Studenti získají znalosti o konstrukci signálových spojů, napájecích zdrojích a rozvodech, odrušení a zemních smyčkách. Budou seznámeni s parazitními jevy a jejich potlačením, vazbami u vstupních a výstupních obvodů, parazitními kapacitami a indukčnostmi, termoelektrickými napětími, přepětími na indukční zátěži, odrazy na vedeních a přeslechy. Posluchačům budou vysvětleny principy stínění proti elektrickému a magnetickému poli, ekvipotenciální stínění. Budou diskutovány zásady výběru součástek a aplikační doporučení. Půjde o diskrétní prvky, operační zesilovače, komparátory, elektronické spínače, A/D a D/A převodníky, vzorkovače s pamětí, číslicové obvody či mikroprocesory.

Pro správnou komunikaci mezi obsluhou a zařízením je třeba znát zásady mechanické konstrukce. Studenti se seznámí se správným návrhem řídicích, ovládacích a indikačních prvků, jejich rozmístěním na předním panelu, konstrukcí přístrojových skříní, bezpečnostními požadavky, odvodem tepla ze zařízení či termostaty. Pozornost bude věnována návrhu a konstrukci plošných spojů, připojování vodičů a součástek.

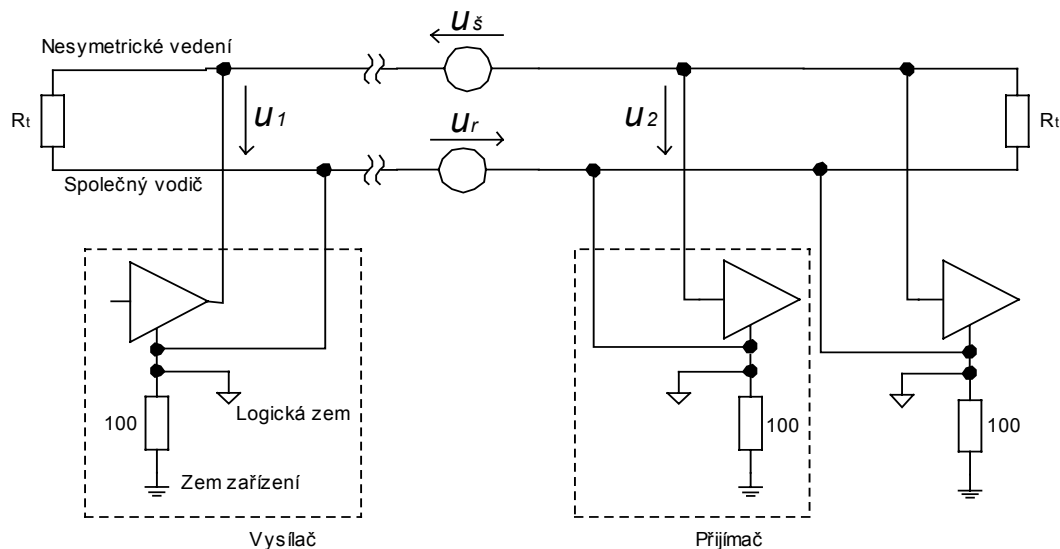
2 Konstrukce signálových spojů

Podle počtu vodičů a způsobu buzení signálové spoje dále dělíme na:

- nesymetrická vedení (kap. 2.1)
- symetrická vedení (kap. 2.2)

2.1 Nesymetrická vedení

Ukázka použití nesymetrického vedení je na obrázku (**Obr. 2.1**). Toto konstrukčně nejjednodušší vedení je tvořeno dvěma vodiči. Jeden z nich tvoří signálovou cestu (signálový, živý vodič) a druhý je uzemněn (zem, společný vodič). Napětí všech signálových vodičů je vztaženo k zemi.



Obr. 2.1: Obvod využívající nesymetrického vedení

Do vedení se dostávají vnější rušivé signály:

- u_s - vzniká elektromagnetickou indukcí z vnějších zdrojů
- u_r - potenciální rozdíl na společném vodiči (má nenulový odpor a indukčnost)

Pro vstupní napětí přijímače tedy platí: $u_2 = u_1 + u_r + u_s$ a odstup signálu od šumu se zmenšuje.

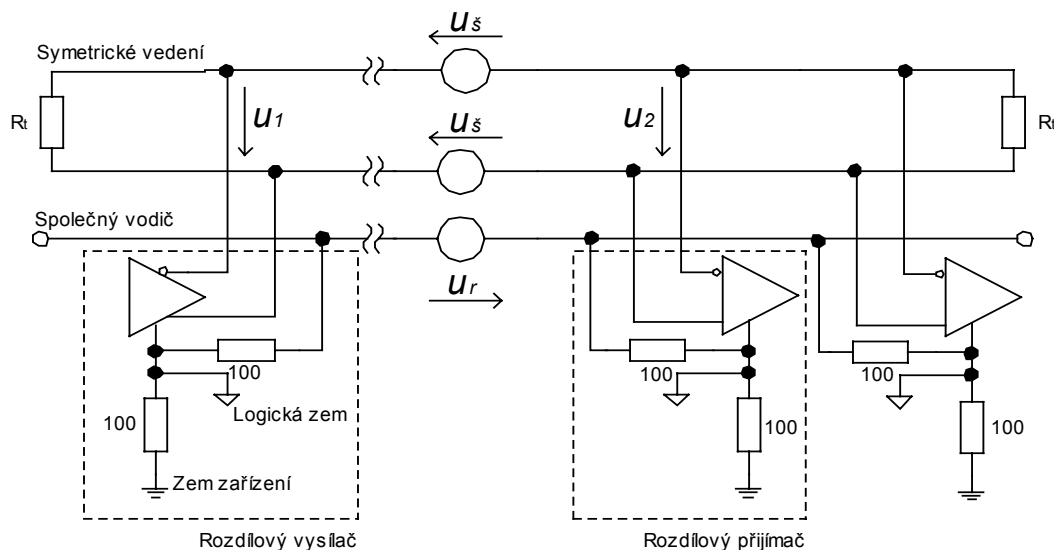
Dominantní rušivou složkou je signál o kmitočtu 50 Hz pronikající ze sítě rozvodu nebo signál o kmitočtu 20 až 40 kHz při použití spínaných zdrojů.

Způsoby potlačení rušení u nesymetrických vedení:

- a) stíněné vodiče,
- b) zvětšení úrovně u_1 ,
- c) zmenšení odporu zemního vodiče,
- d) oddálení signálových vodičů od napájecího rozvodu a jiných vodičů s velkým proudem,
- e) zmenšení sklonu hran signálů (zmenší se tím přeslech kapacitní vazbou),
- f) vybavení přijímače hysterezí (zamezí se náhodnému překlápění logických obvodů),
- g) zkrácení spojů,
- h) kombinace předchozích způsobů.

2.2 Symetrická vedení

U symetrického vedení, které je použito na obrázku (**Obr. 2.2**), se využívá rozdílový signál dvou vodičů symetrických vůči zemi. Přijímač tedy reaguje pouze na rozdíl potenciálů mezi signálovými vodiči bez ohledu na jejich napětí vůči zemi. Je zde potlačen jak vliv napětí u_s , které se indukuje do obou vodičů, tak napětí u_r . Obě působí jako souhlasná napětí, na která přijímač nereaguje.



Obr. 2.2: Obvod využívající symetrického vedení

2.3 Vlastnosti signálových spojů

Pro rozvod signálů se nejčastěji užívají jednodrátové vodiče, ploché kabely, kroucené dvou vodiče (twisted pair), koaxiální kabely, plošné spoje či optické spoje. Pro správný přenos v konkrétní aplikaci je třeba zvolit vhodný druh spoje. Při volbě je také třeba porovnávat dobu čela a týlu přenášených impulsů s dobou šíření po vedení. Podle toho se spoje dělí na:

a) elektricky krátká vedení

Signál tímto vedením projde za kratší dobu, než je trvání jeho hran. Odražený signál dozní rychle vzhledem ke hraně signálu a nezpůsobí proto zkreslení. Elektricky krátká vedení není nutno impedančně přizpůsobovat. Rychlost šíření signálu vodičem bývá asi 0,22 m/ns. Jeden metr tedy signál urazí za přibližně $\tau = 4,5$ ns. Známe-li dobu hrany signálu t_{hr} , obvykle se za krátký spoj považuje spoj do délky

$$l_{\max} = t_{hr} / 2\tau. \quad (2.1)$$

Běžně se délka krátkého spoje v TTL obvodech pohybuje do délky 30 cm.

b) elektricky dlouhá vedení

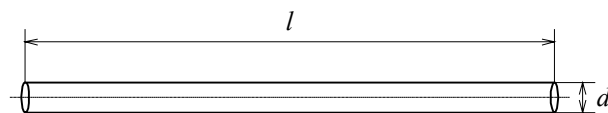
Signál prochází vedením déle, než je doba trvání jeho hrany. Rušivý signál vzniklý při odrazu na nepřizpůsobeném konci vedení doznívá i po skončení hrany signálu. Tato

vedení je třeba pro zamezení odrazů na koncích přizpůsobovat charakteristickou impedancí.

2.4 Elektrické parametry spojů

Pro jednotlivé typy vedení jsou uvedeny vzorce pro praktický výpočet jejich parametrů, jako např. indukčnost L , kapacita C , impedance Z . Přesnost se pohybuje mezi 5 až 20 %.

a) samotný vodič

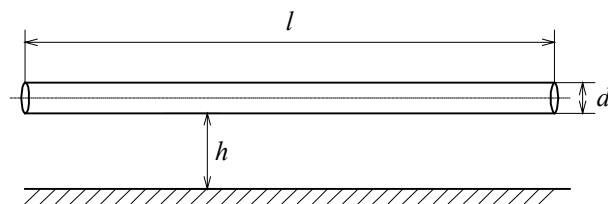


Obr. 2.3: Rozměrové parametry samotného vodiče

$$L = 0,2l \left(2,3 \log \frac{4l}{d} - 0,75 \right), \quad (2.2)$$

kde L [μH], l [m], d [m]. Také v následujících vztazích bude počítáno s rozměrovými parametry v metrech.

b) vodič nad kovovou deskou (kostrou)



Obr. 2.4: Rozměrové parametry vodiče nad kovovou deskou

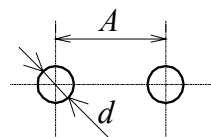
$$L = 0,46 \log \frac{4h}{d}, \quad (2.3)$$

$$C = \frac{24\varepsilon}{\log(4h/d)}, \quad (2.4)$$

$$Z = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \log \frac{4h}{d}, \quad (2.5)$$

kde L [$\mu\text{H}/\text{m}$], C [pF/m], Z [Ω] a ε značí relativní permitivitu. Pro většinu dielektrik $\varepsilon = 2$ až 5. Např. pro polyetylén $\varepsilon = 2,3$; pro polyvinylchlorid $\varepsilon = 3,1$ až 3,5; pro sklotextil $\varepsilon = 4$ až 6.

c) kroucený dvojité vodič



Obr. 2.5: Rozměrové parametry krouceného dvojitého vodiče

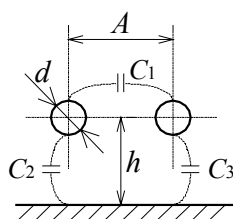
$$L = 0,4\mu \left(2,3 \log \frac{2A}{d} + 0,25 \right), \quad (2.6)$$

$$C = 12,1 \frac{\epsilon_{\text{ef}}}{\log(2A/d)}, \quad (2.7)$$

$$Z = \frac{276}{\sqrt{\epsilon}} \log \frac{2A}{d}, \quad (2.8)$$

kde L [$\mu\text{H/m}$], C [pF/m], Z [Ω], μ je relativní permeabilita a ϵ_{ef} je efektivní hodnota relativní permitivity ($\epsilon_{\text{ef}} \approx 0,8\epsilon$).

d) vodiče vedle sebe nad kovovou vrstvou



Obr. 2.6: Rozměrové parametry dvou vodičů nad kovovou vrstvou

$$L = 0,4\mu \left(2,3 \log \frac{2A}{d} + 0,25 \right), \quad (2.9)$$

$$C_1 = 12,1 \frac{\epsilon_{\text{ef}}}{\log(2A/d)}, \quad (2.10)$$

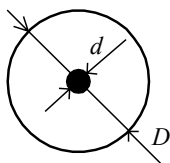
$$C_2 = 24 \frac{\epsilon_{\text{ef}}}{\log(4h/d)}, \quad (2.11)$$

$$C = C_1 + C_2/2, \quad (2.12)$$

$$Z = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \log \left(\frac{4h}{d} \sqrt{1 + \frac{4h^2}{A^2}} \right), \quad (2.13)$$

kde L [$\mu\text{H/m}$], C_1 [pF/m], C_2 [pF/m], C [pF/m], Z [Ω], μ je obvykle 1.

e) koaxiální kabel nebo stíněný vodič



Obr. 2.7: Rozměrové parametry koaxiálního kabelu

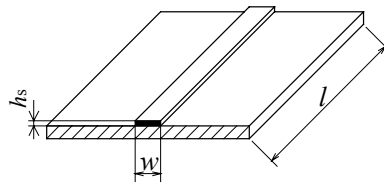
$$L = 0,45 \log \frac{D}{d}, \quad (2.14)$$

$$C = \frac{\varepsilon}{41,4 \log(D/d)}, \quad (2.15)$$

$$Z = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \log \frac{D}{d} \quad (2.16)$$

kde L [$\mu\text{H/m}$], C [pF/m], Z [Ω].

f) plošný spoj

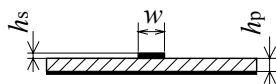


Obr. 2.8: Rozměrové parametry vodiče na plošném spoji

$$L = 0,2l \left(2,3 \log \frac{4l}{d_0} - 0,75 \right), \quad d_0 = 0,67h_s + 0,567w, \quad (2.17)$$

kde L [μH].

g) oboustranný plošný spoj



Obr. 2.9: Rozměrové parametry vodiče na oboustranném plošném spoji

$$L = 0,46 \log \frac{4h_p}{d_0}, \quad (2.18)$$

$$C = \frac{24\varepsilon_{\text{ef}}}{\log(4h_p/d_0)}, \quad d_0 = 0,67h_s + 0,567w, \quad (2.19)$$

kde L [$\mu\text{H/m}$], C [pF/m], $\varepsilon_{\text{ef}} \approx (\varepsilon + 1)/2$. (Pro sklotextil $\varepsilon \approx 4$ až 6 .)

Rychlý odhad těchto parametrů je možný i podle tabulek.

Tab. 2.1: Odpor a indukčnost přímého měděného vodiče ve volném prostoru

průměr vodiče [mm]	odpor vodiče délky 100 mm [mΩ]	indukčnost [nH]		
		délka vodiče		
		50 mm	100 mm	200 mm
0,1	219	70	150	330
0,5	8,78	50	120	260
1,0	2,19	40	100	230
2,0	0,55	35	80	200

Tab. 2.2: Vlastnosti přímého měděného vodiče nad kovovou deskou, resp. nad kostrou přístroje

průměr vodiče [mm]	indukčnost [nH] na 100 mm délky			kapacita [pF] na 100 mm délky		
	vzdálenost od kovové kostry			vzdálenost od kovové kostry		
	1 mm	10 mm	100 mm	1 mm	10 mm	100 mm
0,1	74	116	142	1,5	0,9	0,7
0,5	41	84	110	2,7	1,4	0,8
1,0	28	70	96	4,0	1,6	0,9
2,0	14	56	80	8,0	1,8	1,0

Tab. 2.3: Vlastnosti dvou paralelních vodičů

délka vodičů [mm]	vzájemná indukčnost [nH]		
	vzdálenost vodičů od sebe		
	2 mm	10 mm	30 mm
50	30	15	8
100	70	40	24
200	170	110	70

průměr vodiče [mm]	kapacita [pF] na 100 mm délky		
	vzdálenost vodičů od sebe		
	2 mm	10 mm	50 mm
0,1	0,75	0,5	0,04
0,5	1,4	0,75	0,05
1,0	2,0	0,9	0,06
2,0	5,0	1,3	0,07

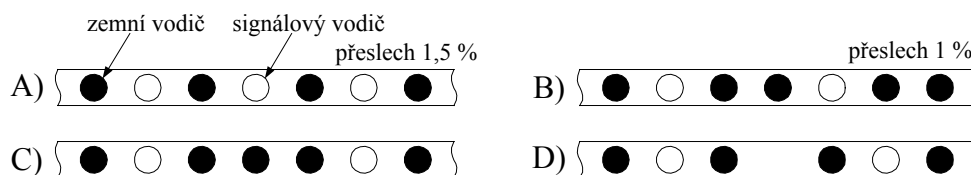
2.5 Provedení spojů

2.5.1 Jednodrátové vodiče

Nejčastěji se používají měděné dráty či lanka, obvykle průměru 0,3 až 0,5 mm, obalená v izolantu (měkčený PVC, teflon, silikon) a povrchově krytá pocínováním pro lepší pájení. Jde o nesymetrické vedení, které nemá jednoznačně definovanou charakteristickou impedanci. Její hodnota se obvykle pohybuje od 100 do 1000 Ω. Aby se potlačily odrazy na vedení, je nutno vodič vést blízko země.

2.5.2 Mnohožilový kabel

Jde o plochý ohebný kabel, jehož příklady ukazuje **Obr. 2.10**.



Obr. 2.10: Provedení plochých mnohožilových kabelů

Charakteristická impedance, pohybující se mezi 50 až 200 Ω , značně závisí na geometrickém uspořádání a na vzájemném uložení ostatních vodičů. Vlastnosti kabelu se zlepšují proložením signálových vodičů zemí nebo jejich stíněním. Do této kategorie patří i ohebné plošné spoje realizované mědi na tenké fólii. Jejich charakteristická impedance bývá vyšší než 90 Ω a lze je použít pro vysoké kmitočty i nad 1 GHz. Lépe se chladí, a proto pro stejné zatížení stačí dvakrát až třikrát menší průřez než u vodičů s kruhovým průřezem.

2.5.3 Kroucený dvojítý vodič (twist)

Dva izolované vodiče o průměru 0,3 až 0,5 mm jsou zkrouceny, jak ukazuje **Obr. 2.11**. Někdy je kabel opatřen stíněním.



Obr. 2.11: Kroucený dvojítý vodič bez stínění

Na jeden metr připadá 15 až 35 zkrutů. Charakteristická impedance je určena mechanickým uspořádáním a frekvencí signálu. Pohybuje se od 100 do 130 Ω s přesností cca 8 % v závislosti na utažení smyček. Při dobrém utažení počet zkrutů neovlivní charakteristickou impedanci. Při použití jako symetrické vedení je kabel velmi odolný vůči rušení a lze jej použít i pro přenos na větší vzdálenosti (1000 m) s frekvencí signálu až 15 MHz. Kroucený dvojvodič se tak za určitých podmínek může stát levnější náhradou koaxiálního kabelu.

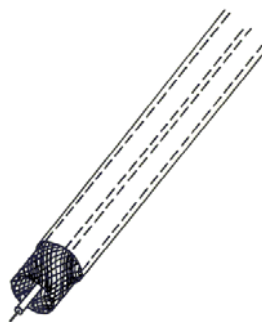


Obr. 2.12: Kroucený dvojvodič zapuštěný do izolantu

Kroucený dvojvodič zapašněný do izolantu (**Obr. 2.12**) má přesně definovanou charakteristickou impedanci. Kapacita mezi vodiči se pohybuje mezi 30 až 80 pF na metr. Na délce 30 metrů je při frekvenci 15 MHz útlum kolem 2,8 dB. Na větší vzdálenosti se používá stíněný kroucený dvojité vodič.

2.5.4 Koaxiální kabel

Koaxiální kabel (**Obr. 2.13**) se používá jako nesymetrické vedení. Nejčastěji jde o miniaturní (tenký) kabel o průměru 3 až 3,5 mm s polyetylenovým nebo teflonovým dielektrikem. Díky stínění má minimální citlivost na rušení kapacitní vazbou. Charakteristická impedance se pohybuje v závislosti na rozměrech příčného řezu mezi 50 až 200 Ω . Kapacita mezi vodiči bývá 30 až 100 pF/m. Na délce 100 metrů nastává obvykle útlum 2 až 6 dB (při frekvenci 10 MHz). Koaxiální kabely se dvěma stíněními se používají jako symetrická vedení. Hlavní nevýhodou koaxiálních kabelů je vysoká cena a nemožnost připojování ovíjením.



Obr. 2.13: Koaxiální kabel

2.5.5 Plošné spoje

Plošný spoj tvoří kovový (nejčastěji měděný) spojový obrazec na vyztuženém plastickém podkladu. Deska plošného spoje plní čtyři základní funkce:

- poskytuje mechanickou oporu součástkám,
- realizuje vodivé spoje
- slouží ke chlazení součástek (zejména v provedení SMD),
- obsahuje popis pro identifikaci součástek.

Vodivý motiv se vytváří buďto odleptáním z původní celistvé vrstvy, nebo se nanese na podklad pokovením. Podle toho, kde deska obsahuje vodivý obrazec, se plošné spoje dělí na jednostranné, oboustranné a vícevrstvé. Tloušťka vodivé vrstvy bývá 18; 35; 70 nebo 105 μm . Základní izolační materiál bývá cuprexkart (fenolitická pryskyřice ztužená papírem, pro jednoduché aplikace), cuprexit, umatex (epoxidová pryskyřice se skelnou tkaninou) a pro frekvence nad 1 GHz se používá materiál na bázi silikonových pryskyřic.

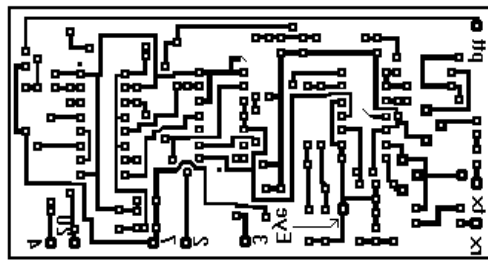
Podle umístění spojů a pájecích bodů se u plošných spojů rozlišují třídy konstrukčního provedení.

Obr. 2.14: Třídy konstrukčního provedení plošných spojů

Ve všech třídách se připouští bližší umístění pájecích bodů, pokud jsou vodičové propojeny.

Podle provedení spoje se rozlišuje **soustava jednotných vodičů** a **soustava jednotných mezer** (soustava dělicích čar).

a) soustava jednotných vodičů (Obr. 2.15)

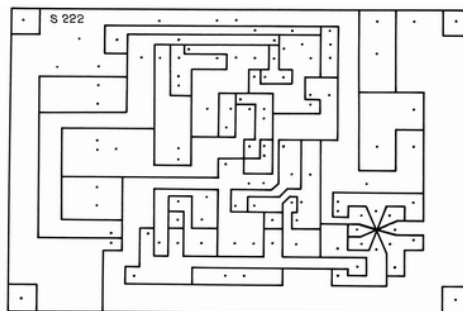


Obr. 2.15: Plošný spoj v provedení soustava jednotných vodičů

Výhody: nepřetržité vazby mezi vodiči, lze definovat průřez vodiče a vazbu mezi vodiči, dobrá přehlednost obrazce.

Nevýhody: musí se odleptat velká plocha, při zahřátí vodičů může dojít k odlepení vodičů.

b) soustava jednotných mezer (Obr. 2.16)



Obr. 2.16: Plošný spoj v provedení soustava jednotných mezer

Užívá se především pro napájecí zdroje.

Výhody: fólie se při pájení a provozu méně tepelně namáhá.

Nevýhody: velké kapacitní vazby mezi signálovými vodiči, nelze je užít pro přenos vyšších kmitočtů a signálů s ostrými hranami.

Pokud se soustava jednotných mezer použije u oboustranného plošného spoje s prokovenými otvory, doporučuje se ji užít pouze na straně součástek a odlehčit velké plochy.

Plošné spoje je třeba navrhovat podle zásad elektromagnetické kompatibility. Musí se brát ohled na parazitní jevy, jako jsou kapacity, indukčnosti a odpory spojů. V obvodech vznikají proudové impulsy, které pronikají různými vazbami do citlivých částí. Především je nutné dbát na blokování napájení aktivních součástek, vhodný rozvod země (oddělení analogové, digitální a výkonové země a jejich propojení ve správném bodě) a jiné zásady, o kterých bude pojednáno dále.

Parametry desek plošných spojů

2.5.6 Optické spoje

Spoje popisované v předchozích bodech pracují se signály s délkou vlny zhruba do 0,3 m. Pro přenos signálů o kratší vlnové délce jsou třeba rozměrné vlnovody, neboť klasická vedení s vodiči mají na těchto kmitočtech již velký útlum. Pro vlnové délky kolem 1 μm se používají světelné vlnovody – optická vlákna.

Jejich hlavní výhodou je, že se přenášejí shluky fotonů bez elektrického náboje, které nejsou rušeny vnějším elektrickým nebo magnetickým polem. Vysílač a přijímač jsou galvanicky odděleny a nedochází k přeslechům mezi vlákny. Vzhledem k tomu, že přenos probíhá na vysokých kmitočtech, dosahuje se velké šířky pásma a vysoké přenosové rychlosti. Vlákna mají malou hmotnost a rozměry.

Dlouhou dobu byl velkým problémem útlum. Na počátku to bylo až 1000 dB/km, ale dnes se dosahuje útlumu 0,5 až 3 dB/km. Díky tomu je možné využít optická vlákna pro přenos na velké vzdálenosti.

Rozdělení optických vláken podle konstrukce

- mnohovidové vlákno s náhlou změnou indexu lomu
- mnohovidové vlákno s plynulou změnou indexu lomu
- jednovidové vlákno

3 Napájecí zdroje a rozvody

3.1 Napájecí zdroje

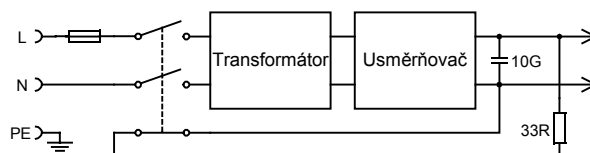
Napájecí zdroj je důležitá část elektronického zařízení a je mu třeba věnovat náležitou pozornost. Je to místo, kde dochází k transformaci napětí rozvodné sítě na napájecí napětí aktivních prvků zařízení. Hlavním úkolem napájecího zdroje je správná stabilizace výstupního napětí a zamezení pronikání rušivých jevů, především impulsů, ze sítě do zařízení i zpět.

Nejčastěji se používá napájecí napětí 5; 12; 15 V symetricky nebo nesymetricky. Tolerance napětí by měla být $\pm 5\%$ a symetrického napájení je třeba dodržet shodu kladného a záporného napětí. Nesouměrnost vyvolá na výstupech operačních zesilovačů chybové napětí. Moderní unipolární operační zesilovače se konstruují pro napájecí napětí od 1,8 V.

Při větších odběrech (nad 0,5 až 1 A) a u citlivých zařízení složených z více částí se užívá tzv. dvoustupňové napájení. Z nestabilizovaného zdroje (popř. hrubě stabilizovaného) se rozvede napájení k jednotlivým systémům, kde se teprve stabilizuje.

3.1.1 Síťový přívod

Uvnitř přístroje se doporučuje co nejkratší přívod napájení ze sítě, aby se zamezilo možnosti rušení. Pro lepší ochranu může být kabel stíněný. Fázový vodič se nejprve vede na pojistku a pak na spínač. Ten může být realizován buď jako mžikový ručně ovládaný, nebo elektronicky řízený. Střední vodič musí být přiveden přes druhý kontakt spínače. Rozpínací kontakt je vhodné využít k vybíjení filtračního kondenzátoru s největší kapacitou. Možné uspořádání ukazuje **Obr. 3.1**.



Obr. 3.1: Příklad řešení napájení zařízení a použitý vypínač

3.1.2 Transformátory

Tato kapitola obsahuje informace o konstrukci transformátorů. Jejich návrh je součástí jiných předmětů.



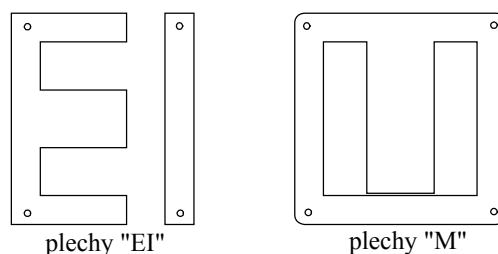
Obr. 3.2: Různé typy transformátorů

a) Jádro

Jádro je vyrobeno z magneticky měkkého materiálu, a to nejčastěji z transformátorových plechů, vinutých jader či feritů.

➤ Transformátorové plechy

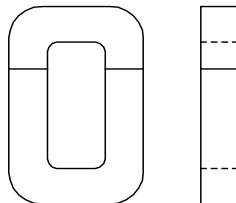
Plechý izolované okujemi, lakem nebo mořením z důvodu zmenšení ztrát vířivými proudy. Nejčastější tvary jsou zobrazeny na obrázku (**Obr. 3.3**). Primární i sekundární vinutí jsou na středním sloupku. Pro zmenšení ztrát se plechy kladou střídavě.



Obr. 3.3: Tvary transformátorových plechů

➤ Vinutá jádra typu „C“

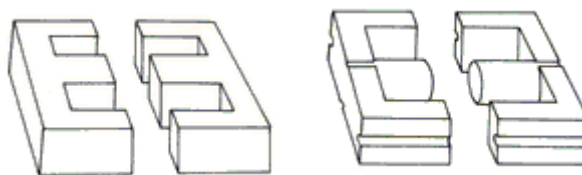
Jde o válcované pásy z křemíkové oceli s magneticky orientovanou strukturou (**Obr. 3.4**). Při výrobě se stočí a slepí syntetickou pryskyřicí, pak se rozříznou a zabrousí. Podle barevné tečky se pozná, jak patří k sobě. Vinutá jádra jsou rozměrově menší než plechy, avšak jsou dražší.



Obr. 3.4: Vinuté jádro typu „C“

➤ Feritová jádra

Feritová jádra (**Obr. 3.5**) se používají hlavně v transformátorech pro impulsně regulované zdroje.

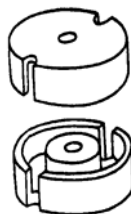


Obr. 3.5: Feritové jádro typu „E“

Zabroušením středního sloupku vzniká vzduchová mezera, která představuje magnetický odpor.

➤ Hrníčková jádra

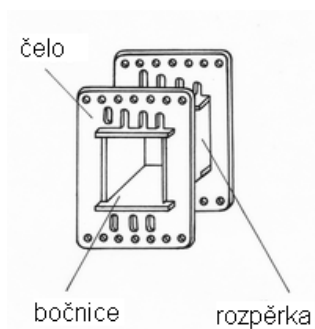
Jejich tvar ukazuje **Obr. 3.6**. Vinutí je umístěno na válcové kostřičce nasunuté na středním sloupku. Feritové části se k sobě přitlačí kovovou nebo plastovou armaturou. Dosedací plochy musí být čisté a ani při lepení sem nesmí vniknout lepidlo. Zkrácením středního sloupku se opět může realizovat vzduchová mezera.



Obr. 3.6: Hrníčkové jádro

b) Cívková tělíska

Jedná se o výlisky z termoplastu, dřívě i z tvrzeného papíru, na kterých je navinuto vinutí (**Obr. 3.7**). Tato část je mechanicky i elektricky značně namáhaná.



Obr. 3.7: Cívkové tělísko

c) Vinutí

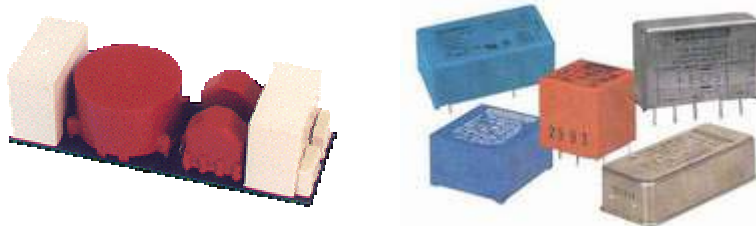
Vinutí je realizováno měděným vodičem izolovaným smaltem. Předchozí vinutí nebo tělísko je zapotřebí před navíjením drátu ovinout několika vrstvami izolačního materiálu, nejčastěji 0,1 mm tlustým olejovým plátnem. Počet vrstev mezi tělískem a první vrstvou vinutí je dán zkušebním napětím proti jádru. Doporučují se dvě vrstvy pro 1500 Vef a tři vrstvy pro 2000 Vef. Izolace mezi jednotlivými vrstvami je zapotřebí tehdy, je-li mezi počátečními závity první vrstvy a konečnými závity druhé vrstvy napětí alespoň 25 Všp (tj. 17 Vef). U síťového transformátoru se izoluje každá vrstva. Jednotlivá ucelená vinutí se izolují a počet izolačních vrstev je dán zkušebním napětím mezi vinutími. Pro 1500 Vef dvě vrstvy a pak na každých dalších 500 Vef jedna vrstva.

Obvykle se primární vinutí dává těsně k jádru, dále se ovíjí sekundární vinutí s velkým odporem vodiče a na povrchu bývají vinutí s malým odporem. Napětí mezi pájecími body na tělísku nemá přesáhnout 230 Vef, všechny vodiče s vyšším napětím se vyvedou izolační trubičkou a nad 1500 Vef dvěma trubičkami.

Elektrostatické odstínění primáru a sekundáru lze provést pomocí měděné fólie tloušťky 0,05 až 0,1 mm, která nesmí tvořit závit nakrátko. Je možné ji nahradit jednou vrstvou vinutí připojeného pouze jedním koncem.

3.1.3 Odrušovací prostředky

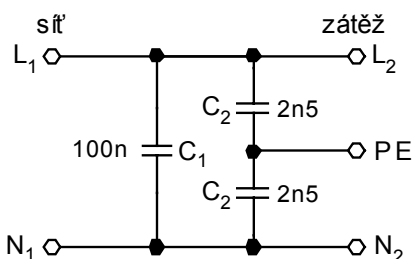
Pracují jako ochrana proti rušivým impulsům z rozvodné sítě i proti pronikání rušení ven z přístroje (např. u zařízení s tyristory). Jsou realizovány jako filtry pomocí kapacitorů nebo cívek. Rušivé impulsy z vnějšku mohou způsobit náhodné změny stavu číslicových obvodů. U odrušovacích prostředků se nedoporučuje používat dlouhé vývody, aby nedošlo ke zvětšení impedance a nezhoršila se účinnost filtrace. Je tedy třeba je umísťovat co nejblíže svorek síťového přívodu. Vnější vzhled odrušovacích prostředků ukazuje **Obr. 3.8**.



Obr. 3.8: Odrušovací prostředky

a) Odrušovací kapacitor

Odrušovací kapacitor je nejjednodušším odrušovacím prvkem. Jeho schéma a zapojení mezi síť a zátěž znázorňuje **Obr. 3.9**.

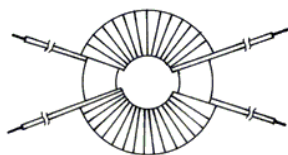


Obr. 3.9: Odrušovací kapacitor

Průrazem kapacitoru C_2 by se živý vodič připojil na kostru a mohlo by dojít k ohrožení. Proto se u něj používá vysoké zkušební napětí kolem 2000 V. Průraz kapacitoru C_1 není pro obsluhu nebezpečný.

b) Odrušovací tlumivky

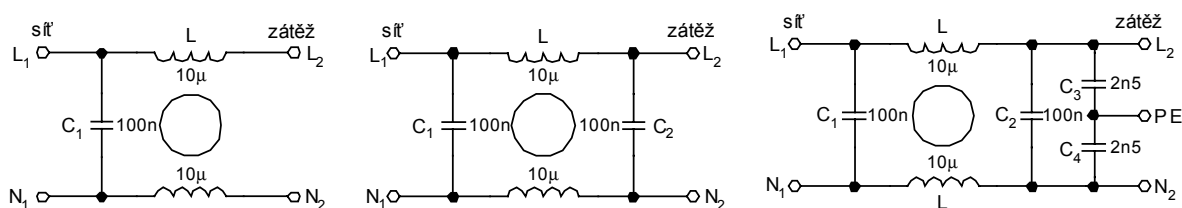
Odrušovací tlumivky jsou použitelné pro filtraci v kmitočtovém pásmu do 30 MHz. Aby došlo k vyrušení magnetického toku v jádře, nesmí se prohodit vývody tlumivky. Ty jsou proto barevně označeny. Materiálem jádra bývá nejčastěji ferit.



Obr. 3.10: Odrušovací tlumivka na toroidním jádru

c) Odrušovací filtry LC

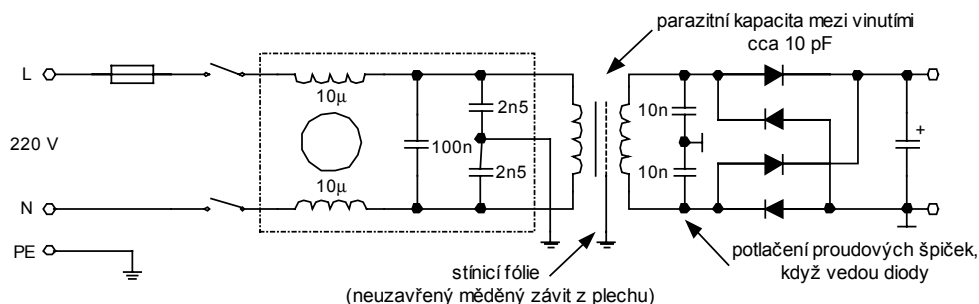
Odrušovacích filtrů LC se vyrábí velké množství. Základní typy ukazuje **Obr. 3.11**.



Obr. 3.11: Odrušovací filtry LC

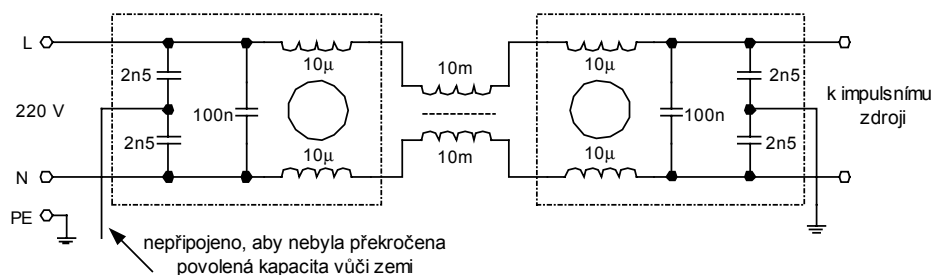
Tyto filtry dosahují vysokého odrušení ve frekvenčním pásmu kolem 30 MHz.

Obr. 3.12 uvádí způsob ochrany proti pronikání rušení ze sítě. Filtr částečně brání i pronikání rušení z přístroje do sítě, neboť kapacitor působí jako vysokofrekvenční zkrat. Aby se zabránilo vyzařování do okolí, doporučuje se odrušovací členy odstínit a stínění uzemnit v místě spojení zemí v přístroji. U náročných přístrojů, jako jsou např. citlivé voltmetry, je možné ještě více zmenšit parazitní kapacitu mezi vinutími použitím druhého stínění mezi primárem a sekundárem připojeného k síťovému vodiči PE.



Obr. 3.12: Ochrana zařízení proti pronikání rušení ze sítě

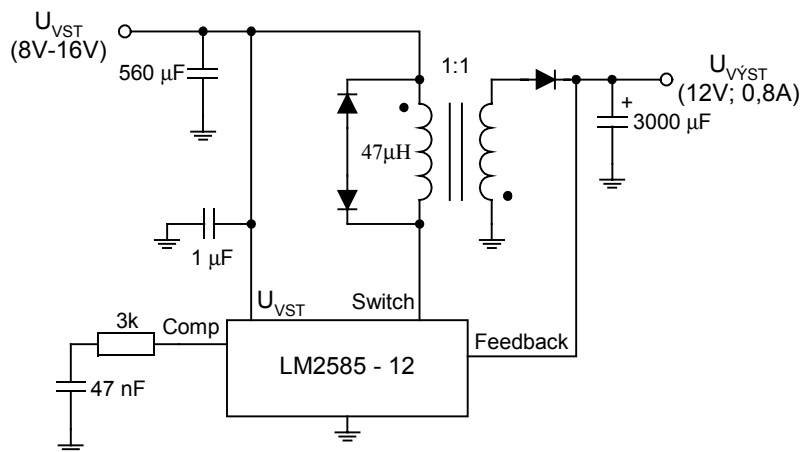
Obr. 3.13 ukazuje ochranu proti pronikání rušení ze sítě i do sítě používanou např. u impulsních zdrojů.



Obr. 3.13: Způsob ochrany proti pronikání rušení ze sítě i do sítě

3.1.4 Zdroje pro plovoucí část zařízení

Některé části zařízení (např. vstupní díl měřicích přístrojů) musí být plovoucí, a proto je třeba galvanicky oddělit jejich napájení. Oddělení se neprovádí na síťovém kmitočtu. Usměrněné napětí se převede na střídavé o kmitočtu desítek až stovek kilohertzů a oddělí se transformátorem. Pak se opět usměrní. Příklad oddělovacího zdroje ukazuje **Obr. 3.14**.

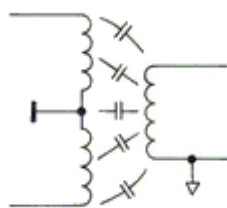


Obr. 3.14: Schéma měniče DC/DC pro galvanické oddělení transformátorem

Obvod využívá elektronického spínače, který vytváří proudové impulsy v primárním vinutí transformátoru. Napětí sekundárního vinutí je usměrněno a stabilizováno. Díky vysokému kmitočtu stačí jednoduší usměrnění.

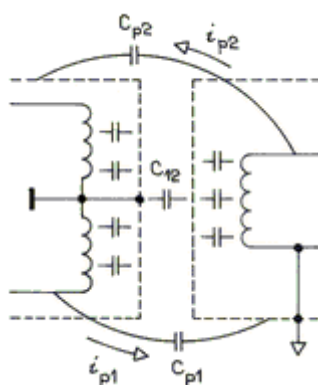
Stejnoseměrná složka rušivého proudu se vyloučí použitím kvalitních izolačních materiálů, především teflonu. Důležitá je izolace vinutí a nosných sloupků destičky stabilizátorů.

Střídavá složka se přenáší parazitními kapacitami kmitajících prvků (**Obr. 3.15**).



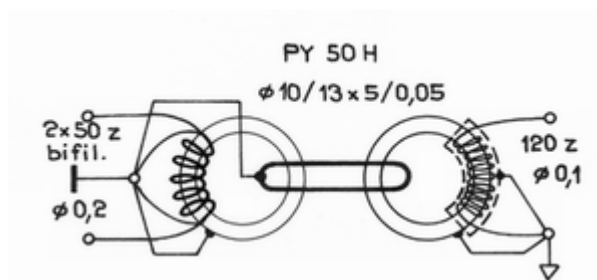
Obr. 3.15: Parazitní kapacity mezi primárním a sekundárním vinutím

Zlepšení parametrů je možné samostatným stíněním každé části měniče (**Obr. 3.16**). Každé stínění je třeba připojit na příslušnou zem, jinak je neúčinné. Popsaným opatřením se zmenší C_{p1} a C_{p2} , ovšem za cenu zvětšení C_{12} . Tato kapacita však nepůsobí problémy, neboť se nachází mezi dvěma neživými částmi.



Obr. 3.16: Parazitní kapacity po doplnění měniče stíněním

Oddělovací transformátory se používají s jedním jádrem nebo se dvěma. Kvalitní oddělení s ekvivalentní parazitní kapacitou asi 0,001 pF poskytuje uspořádání zobrazené na obrázku **Obr. 3.20**. Primární vinutí nemusí být zastíněné, avšak sekundární vinutí se stínit musí.



Obr. 3.17: Uspořádání transformátoru pro oddělovací zdroj.

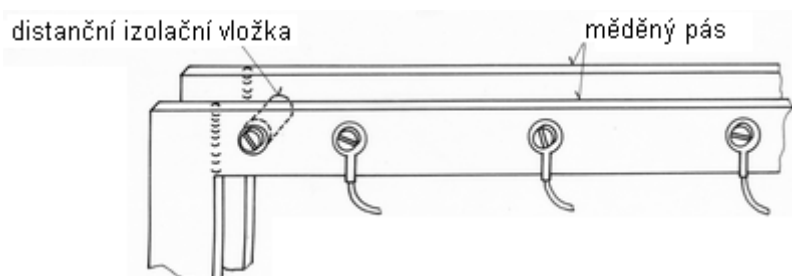
3.2 Rozvod napájení

Rozvod napájení má dvě části:

a) Rozvod od zdroje k jednotlivým blokům

Přívody od napájecího zdroje ke spotřebiči by měly být co nejkratší (do 0,5 m). Podle proudového odběru je třeba vhodně dimenzovat průměr a zvolit materiál vodičů. Pro náročné aplikace se používají tlusté vodiče z bezkyslíkaté mědi s vysokou čistotou. Můžou být

postříbřené nebo pozlacené. Pro velké odběry a vzdálenosti se užívá pásnicový rozvod (**Obr. 3.18**), ke kterému se vodiče k jednotlivým částem šroubují.



Obr. 3.18: Pásnicový rozvod napájení

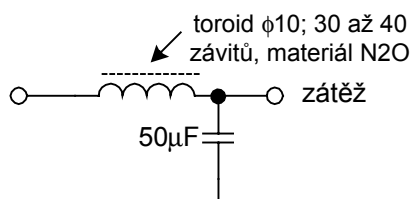
Nežádoucí jsou kapacitní vazby se signálovými či ostatními silovými vodiči. Je vhodné vést napájecí a zemní vodič blízko sebe. Je tím zajištěna malá indukčnost a mezi vodiči vznikne kapacita, která je příznivá. Při použití impulsních zdrojů je vhodné již na začátek rozvodu vložit bifilárně vinutou tlumivku (**Obr. 3.19**) navinutou na feritovém toroidním jádru obvykle přímo vodiči sloužícími pro rozvod napájení.



Obr. 3.19: Bifilárně vinutá tlumivka

b) Rozvod k jednotlivým obvodům na desce

Na místě vstupu napájecího přívodu na desku je vhodné blokovat napájení, tedy zapojit paralelně tantalové kondenzátory 10 až 50 μF . Tyto kondenzátory jsou vhodné díky jejich malé indukčnosti. Pro lepší filtraci se může použít kombinace cívky a kondenzátoru, jak ukazuje **Obr. 3.20**.



Obr. 3.20: Filtr pro napájecí napětí na vstupu desky

Obsahuje-li zařízení klopné obvody, vznikají při jejich překlápění proudové špičky v přívodu napájení. Doporučuje se na každých 5 až 10 pouzder klopných obvodů blokovat napájecí napětí kondenzátorem 10 až 100 nF (obvykle keramický 47 nF). U obvodů s operačními zesilovači se doporučuje blokovat napájení co nejbližší každého pouzdra. Volí se keramický kondenzátor o kapacitě 47 až 20 nF. U hybridních obvodů je vhodný 1 μF tantalový kondenzátor.

Rozvod napájení a země představuje na desce největší a nejsložitější uzlový spoj. Svou rozsáhlostí značně komplikuje návrh plošného spoje. Situace se zjednoduší, použijeme-li vícevrstvý plošný spoj. Rozvodu napájení pak mohou být vyhrazeny zvláštní vnitřní vrstvy. Výhodou je, že mezi nimi vznikne přídatná kapacita, která je příznivá.

4 Rozvody společného vodiče – země

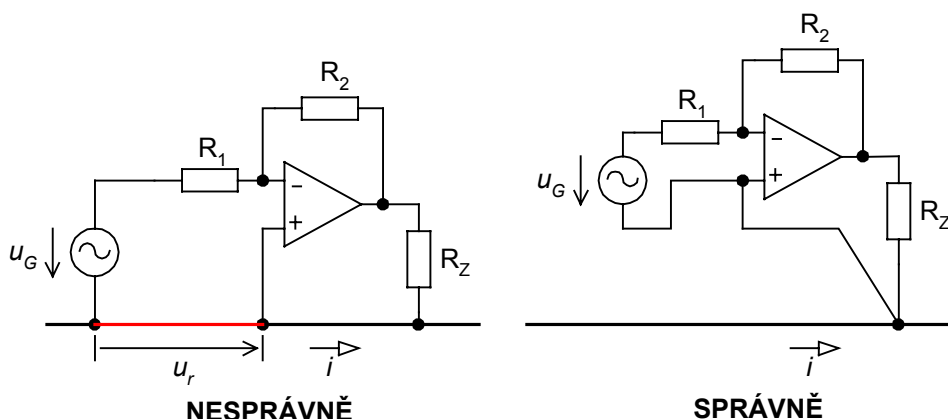
Při návrhu elektronického zařízení musí být kladen důraz na rozvod společného vodiče, tedy země. Jedná se o velmi rozsáhlý spoj, ke kterému jsou připojeny všechny, nebo alespoň většina aktivních prvků v obvodu. Špatný rozvod země může být příčinou špatně odhalitelných závad. Základní zásadou je, že společný vodič musí mít co nejmenší odpor a zanedbatelnou indukčnost. Proto se doporučuje pro něj použít vodič s velkým průřezem a na plošném spoji by měl být vodič co nejširší.

Nulový odpor vodiče lze ovšem velmi těžko zajistit, a proto je třeba provádět různá opatření k zamezení problémů s úbytky napětí na zemním vodiči. Např. 0,5 m měděného drátu o průměru 0,5 mm má odpor 45 Ω . Protéká-li jím proud 5 mA, vznikne úbytek 225 μ V a bude-li toto napětí přivedeno na vstup zesilovače s velkým zesílením, mohou vzniknout problémy, jako např.

- » přidavné stejnosměrné napětí, je-li rušivý úbytek napětí na zemním vodiči stálý,
- » přidavný šum, mění-li se náhodně,
- » přidavnou chybu zesílení, je-li rušení ve fázi se vstupním signálem.

4.1 Vhodné uzemnění zdroje signálu

Rušivý úbytek napětí se může odstranit vhodným uzemněním zdroje signálu ()



Obr. 4.1: Varianty uzemnění zdroje signálu

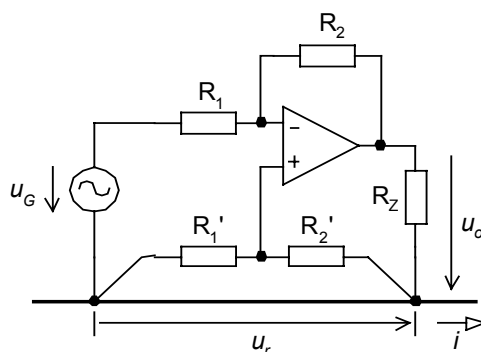
Rušivý signál lze také převést na souhlasnou složku se vstupním signálem, která se v rozdílovém zesilovači vyruší. Postup ukazuje **Obr. 4.2** a vztahy (4.1) a (4.2).

$$u_o = u_r \frac{R_2' (R_1 + R_2)}{R_1 (R_1 + R_2)} - (u_G + u_r) \frac{R_2}{R_1} = u_r \left(\frac{R_2' (R_1 + R_2)}{R_1 + (R_1 + R_2)} - \frac{R_2}{R_1} \right) - u_G \frac{R_2}{R_1} \quad (4.1)$$

Zvolíme-li $R_1 = R_1'$ a $R_2 = R_2'$, bude obsah závorky na pravé straně vztahu (4.1) roven nule. Potom platí

$$u_o = -\frac{R_2}{R_1} u_1. \quad (4.2)$$

Výstupní napětí je nezávislé na rušivém napětí a rušivý signál na společném vodiči se neuplatní.



Obr. 4.2: Kompenzace rušivého napětí rezistory

4.2 Rozdělení zemí

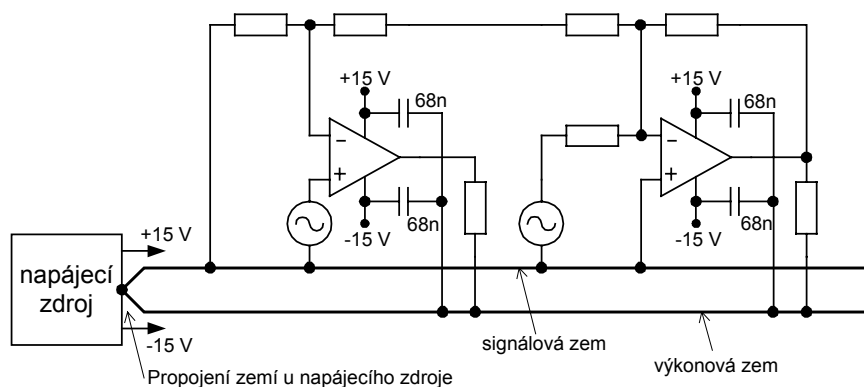
U rozsáhlejších obvodů by bylo složité aplikovat předchozí principy, a proto se vyplatí paralelní rozvod několika zemí. Každá z nich spojuje vstupy nebo výstupy prvků se společným charakterem. V zařízení pak figuruji země, jako signálová, logická, výkonová atd.

- Signálová zem** - jsou k ní připojeny citlivé vstupy aktivních prvků a je nejnáchylnější k rušení. Nesmí se k ní připojovat vodiče s velkými proudy.
- Logická zem** - tvoří společný vodič v číslicové části obvodu. Při přechodu logického obvodu z úrovně H do L se přes tuto zem vybíjí kapacitor tvořený kapacitou vedení připojeného na výstup a vstupní kapacitou následujícího členu. Proud zemním vodičem se tak může na krátkou dobu zvětšit třikrát až čtyřikrát vůči klidové hodnotě. Úbytek napětí může způsobit náhodné překlopení. Proto je třeba u této země zajistit její minimální odpor, popř. použít rozvod potenciálovou mříží a propojit logické obvody hustěji.
- Výkonová zem** - vede často velké proudy vznikající ve výkonových částech zařízení. Vznikají zde proto velké úbytky napětí, které ovšem nejsou na závadu, protože se k tomuto rozvodu země nepřipojují žádné citlivé vstupy. K výkonové zemi se připojují i blokové kondenzátory v napájení aktivních prvků.

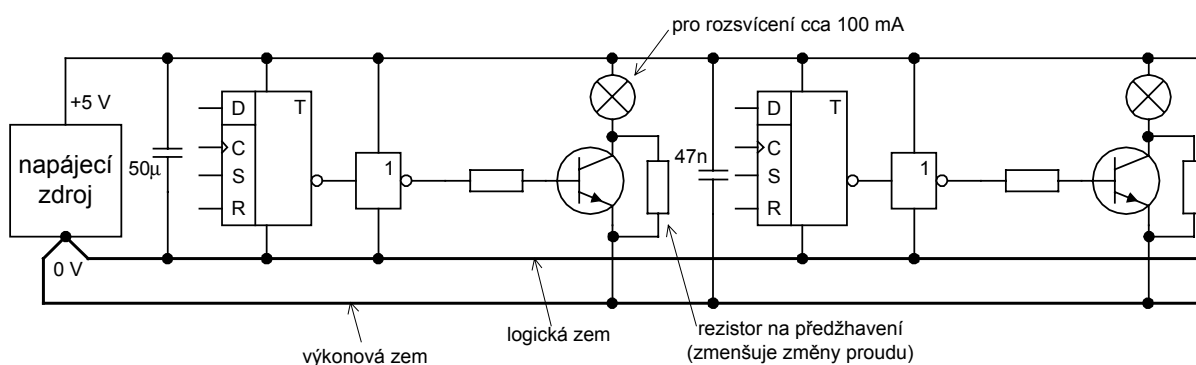
Důležité je rozhodnout, ve kterém místě se provede propojení zemí:

- » u vstupní svorky (voltmetr, osciloskop),
- » u výstupní svorky (generátor),
- » u napájecího zdroje (nelze-li rozlišit vstupní a výstupní svorku).

Příklady rozdělování zemí jsou uvedeny na obrázcích

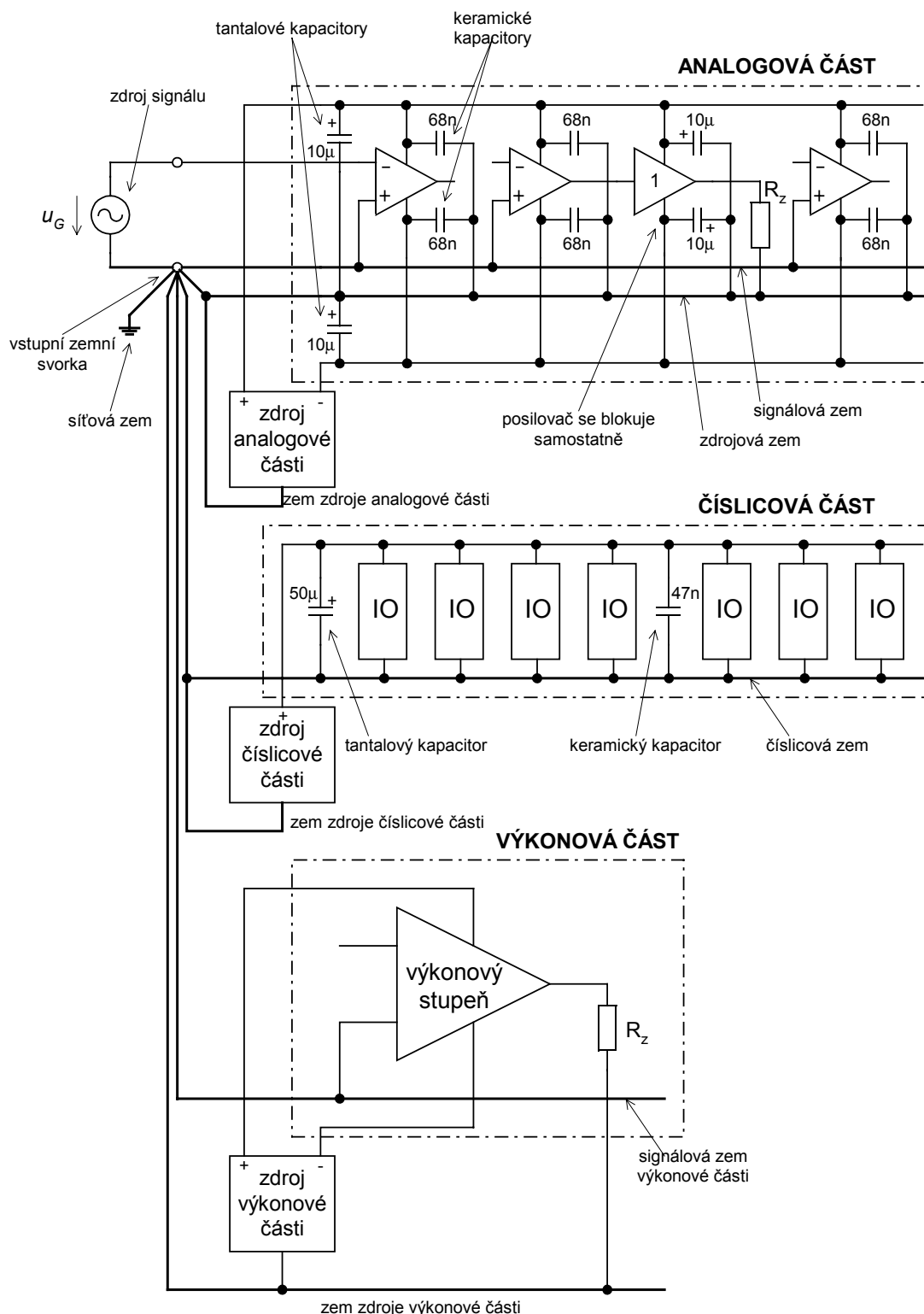


Obr. 4.3: Příklad části obvodu s rozdělenou výkonovou a signálovou zemí



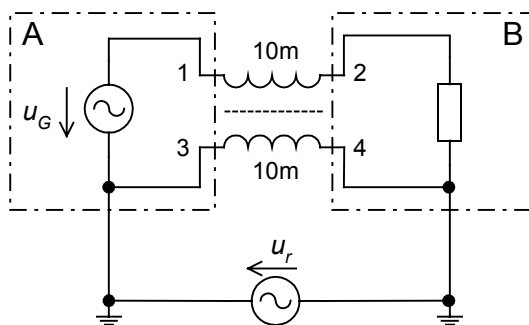
Obr. 4.4: Příklad části obvodu s rozdělenou výkonovou a logickou zemí

Složitý systém se obvykle rozděluje na dílčí části, napájené samostatně. Příklad znázorňuje **Obr. 4.5**. Protože je zemnění u každého dílu samostatné, nemohou se úbytky vzniklé na zemních spojích projevit pro sousední díly rušivě.



Obr. 4.5: Rozdělení složitého zařízení na samostatně napájené a zemněné části

U rozsáhlého zařízení se napájí jednotlivé sekce ze samostatných napájecích zdrojů. Při propojení sekcí vznikne ze signálové a napájecí zemní cesty tzv. **zemní smyčka**. Podobný problém vzniká i při propojení dvou přístrojů, kde se smyčka uzavře přes síťový zemnicí vodič. Touto smyčkou protéká rušivý proud indukovaný vnějším magnetickým polem (rozptylovým polem transformátoru) nebo proud filtračními kapacitami v síťových přívodech (50 Hz). Doporučuje se do propojení obou bloků nebo přístrojů vložit tlumivku vinutou stíněným vodičem (**Obr. 4.6**).



Obr. 4.6: Princip zamezení rušení zemní smyčkou

U vysokofrekvenčních signálů stačí i jeden průvlek feritovým jádrem.

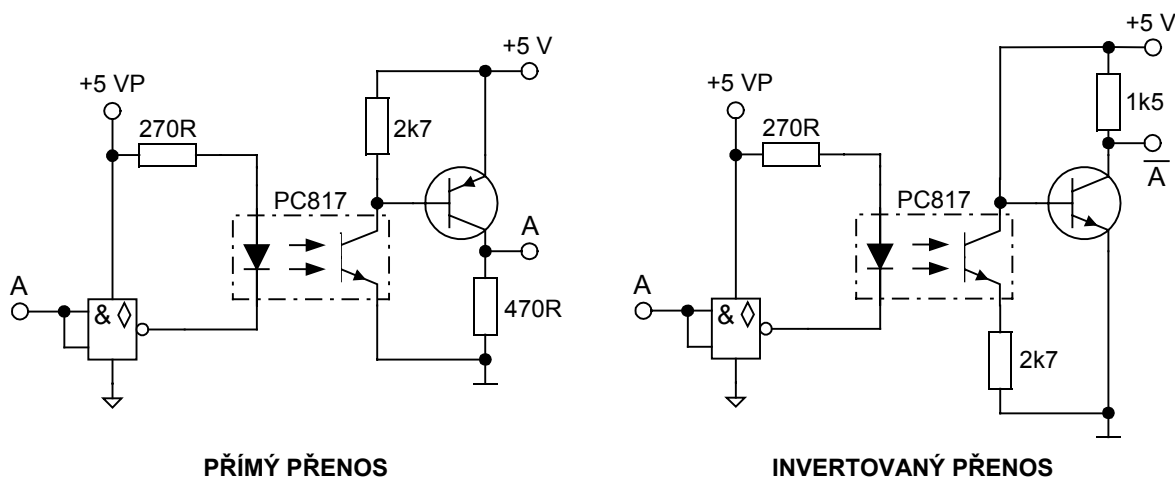
4.3 Galvanické oddělení

Potíže plynoucí z propojování zemí u rozsáhlých zařízení se nejlépe odstraní galvanickým oddělením jednotlivých sekcí. Signálová vazba je zprostředkována nejčastěji optickým zářením (optron), magnetickým polem (impulsní oddělovací transformátor), méně často elektromechanicky (relé).

4.3.1 Optoelektronické vazební členy

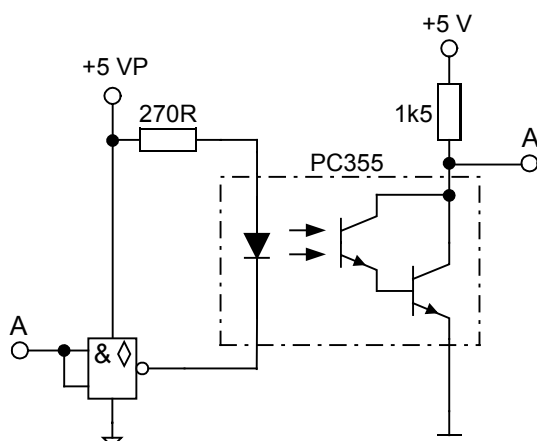
Optoelektronický vazební člen (optočlen, optron) obsahuje diodu LED a fototranzistor, případně fotodiodu. Přenos mezi nimi probíhá pomocí optického signálu. Jednoduše se realizuje přenos impulsových signálů, avšak analogové signály se touto cestou přenášejí obtížně v důsledku značné nelinearity členů.

Vyrábějí se různé druhy optronů pro různé hodnoty kolektorových proudů a napětí mezi kolektorem a emitorem. Příkladem mohou být optrony PC816, PC817, 4N26. Příklad neinvertujícího a invertujícího oddělovacího obvodu pro impulsní signály ukazuje **Obr. 4.7**. Při střídě 1:1 obvody pracují podle použitého optronu do 100 až 200 kHz.



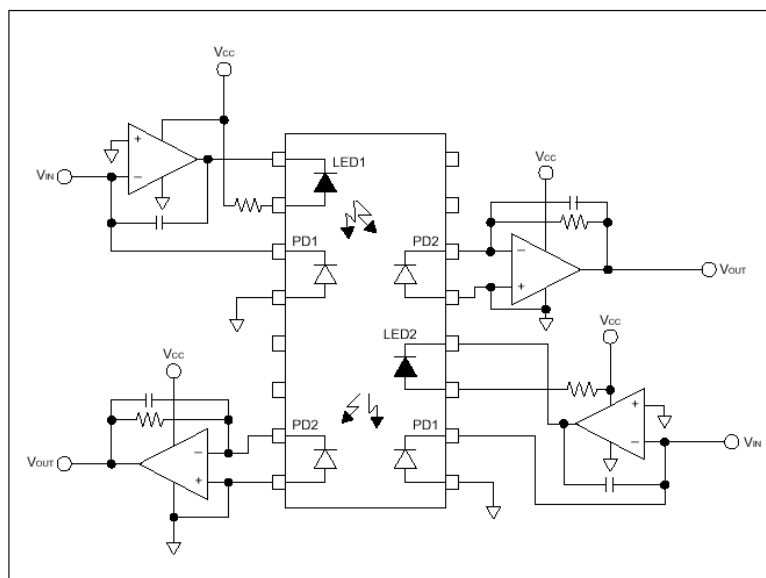
Obr. 4.7: Oddělovací obvody s optrony

Pro větší proudy se vyrábějí optrony s dvěma tranzistory v Darlingtonově zapojení (**Obr. 4.8**). Kolektorový proud může dosahovat až několik stovek miliampér, ovšem přenosová rychlost je poněkud horší.



Obr. 4.8: Oddělovací obvod s optronem s tranzistory v Darlingtonově zapojení

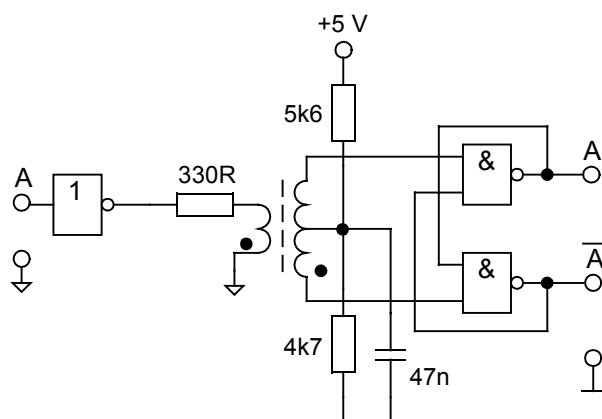
Přenosová funkce optronů není lineární, a proto se tyto členy nehodí pro přenos analogových signálů. Při malých nárocích na dynamiku lze zejména při vyšších proudech luminiscenční diodou nalézt v přenosové funkci malé lineární úseky, to však vede ke zhoršování proudového přenosu. Při malých proudech diodou zase převládá šum. Požadujeme-li lineární přenos ve větším rozsahu signálů, používají se optrony s dvěma výstupními prvky, nejčastěji fotodiodami. Jedna z nich slouží pro vlastní přenos a druhá jako kompenzace ve zpětnovazební větvi. Příklad lineárního oddělovacího obvodu znázorňuje **Obr. 4.9**.



Obr. 4.9: Kompenzační oddělovací obvod s lineární přenosovou charakteristikou

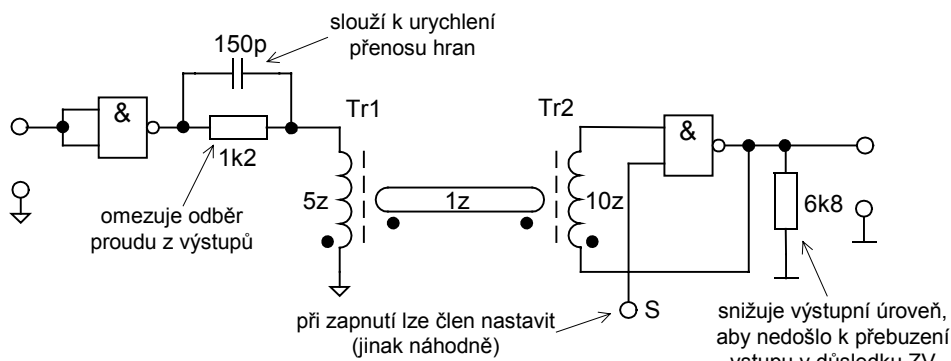
4.3.2 Oddělení impulsními transformátory

Hlavním omezením optoelektronických vazebních členů je jejich nízká mezní frekvence. Pro rychlejší přenos se používají impulsní transformátory. Příklad použití oddělovacího transformátoru ukazuje **Obr. 4.10**. Vstupní invertor musí být schopen dodat dostatečný proud. Přenášejí se pouze krátké impulsy (hrany), které překlápějí klopný obvod RS. Podmínkou pro správnou funkci je, že napájecí napětí obou částí musí být galvanicky oddělena.



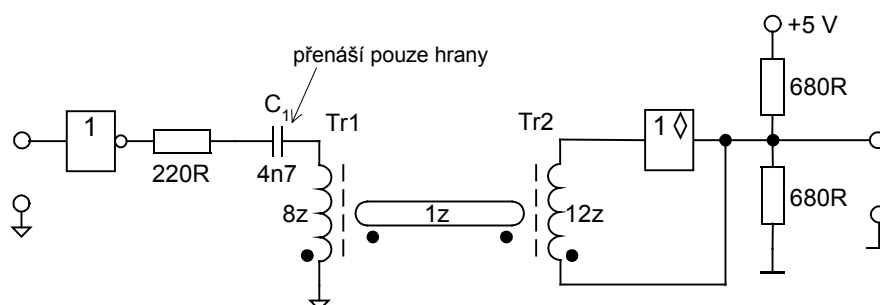
Obr. 4.10: Oddělovací obvod s impulsním transformátorem

Popsaný impulsní transformátor by bylo možné realizovat na jednom toroidním jádru. Pro dosažení vyššího zkušebního napětí a snížení parazitní kapacity mezi oddělenými částmi je však výhodnější použít transformátor se dvěma toroidy. Vinutí jsou lépe prostorově oddělena, neboť se nacházejí každé na samostatném toroidu. Vazba mezi toroidy je zprostředkována jedním závitem. Takové uspořádání zobrazuje **Obr. 4.11**.



Obr. 4.11: Oddělovací obvod s transformátorem se dvěma toroidy

Jiný způsob řešení oddělovacího obvodu se dvěma toroidy ukazuje **Obr. 4.12**. V tomto případě dochází pouze k přenosu hran signálu díky kondenzátoru C_1 .



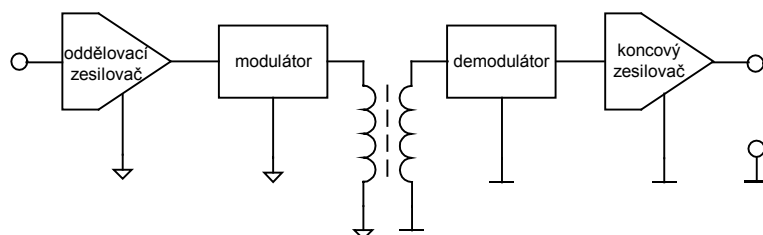
Obr. 4.12: Oddělovací obvod přenášející pouze hrany

Konstrukční provedení impulsních transformátorů se dvěma toroidy jsou uvedena na **Obr. 4.13**.



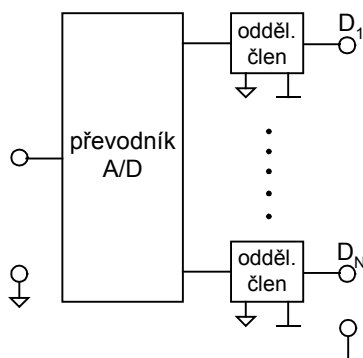
Obr. 4.13: Provedení impulsních transformátorů

Přenos analogového signálu pomocí impulsního transformátoru se realizuje pomocí modulační techniky (frekvenční, pulsní polohová, pulsní šířková modulace). Díky modulaci se zajistí neměnná amplituda primárního napětí a odstraní se tak současně i vliv nelinearity oddělovacího členu. I když dojde ke zkreslení okamžité hodnoty, kmitočet, resp. Poloha impulsu se přenesou beze změn. Při této metodě je třeba dodržet podmínku, že kmitočet modulovaného signálu musí být mnohem větší než kmitočet modulačního analogového signálu. Přenosový řetězec s popsáním galvanického oddělení ukazuje **Obr. 4.14**.



Obr. 4.14: Galvanické oddělení impulsním transformátorem s modulací

Další způsob oddělení je znázorňuje **Obr. 4.15**. Lze ho využít, když požadujeme oddělený signál v digitální podobě. Ten má impulsní podobu a odděluje se již lépe. Jestliže nechceme využít číslicový výstup, je možné po oddělení signály opět převést zpět do analogové podoby.



Obr. 4.15: Galvanické oddělení při převodu na digitální signál

5 Parazitní jevy a jejich potlačení

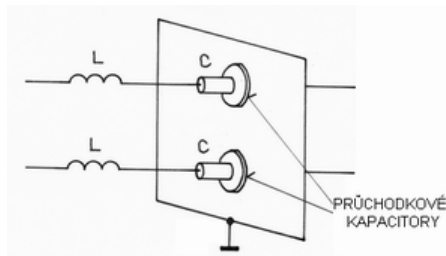
5.1 Vazby na přívodních vodičích

5.1.1 Vstupní obvody

Používané křemíkové tranzistory (i nízkofrekvenční) mají mezní kmitočty řádově desítky až stovky megahertzů. Proto se může projevit vliv rušivých signálů i mimo užitečné kmitočtové pásmo. Nežádoucí vysokofrekvenční signál může značně zhoršit vlastnosti obvodu. Tento signál je na nelinearitě vstupního obvodu uzemněn a vzniklý stejnosměrný signál posune pracovní bod – může se zmenšit zisk zesilovače, posunout výstupní stejnosměrná úroveň, zhoršit zkreslení signálu či zhoršit odstup signálu od šumu.

Vstupní obvody citlivějších zařízení obvykle pečlivě stíníme (viz kap. 6). Volíme takové geometrické uspořádání citlivých částí, aby se do nich nemohlo naindukovat rušení. Smyčky tedy navrhujeme s co nejmenší plochou. Pro odstranění vysokofrekvenčního rušení z nízkofrekvenčního nebo stejnosměrného vstupního signálu nestačí přívody pouze spojit kapacitou mezi sebou nebo se zemí. Vstupní přívody se chovají jako vysokofrekvenční vedení, v němž se energie šíří elektromagnetickým polem kolem vodičů. Kapacitor se na vysokých frekvencích chová jako zkrat a způsobí tak nehomogenitu, na které vzniknou odrazy. Energie se pak šíří v různých formách do celého obvodu.

Nežádoucí vysokofrekvenční rušení se do zařízení může dostat i přes napájecí rozvod. **Obr. 5.1** ukazuje filtr, složený z tlumivek, průchodkových kapacitorů a kovové přepážky, zamezující pronikání rušení přes napájecí vodiče.



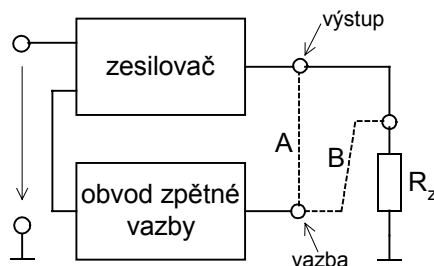
Obr. 5.1: Ochrana proti pronikání rušení přes napájecí vodiče

Přepážka se může uzemnit ve více bodech a nedoporučuje se ji používat současně jako stínění elektrostatického pole. Pro tento účel je možné použít ještě jedno stínění, které se uzemní v jednom bodě.

5.1.2 Výstupní obvody

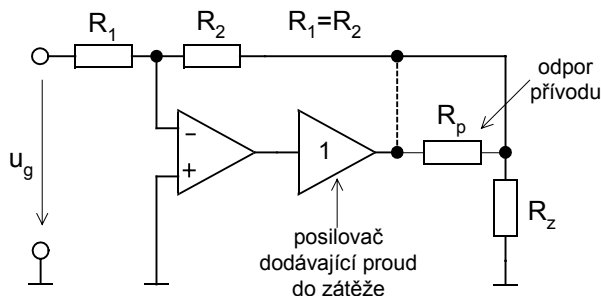
Na výstupní straně zařízení je často zpětnovazební zesilovač, obvykle s paralelní zpětnou vazbou. Podle místa připojení zpětné vazby můžeme rozlišit dva případy:

- První situaci ukazuje **Obr. 5.2**. Signál pro obvod zpětné vazby snímáme co nejbližší k zátěži, a to buď z výstupních svorek (případ A), nebo nejlépe přímo ze zátěže (případ B). Tím je potlačen vliv impedance přívodů. Způsob se používá u zdrojů přesného napětí nebo v případech, kdy je napájecí zdroj značně vzdálen od zátěže a na přívodním vodiči by mohly vzniknout velké úbytky napětí. Zpětnovazební vodič by se v takovém případě měl vést blízko, nejlépe koaxiálně, s výstupním vodičem, aby nevznikla smyčka, do které by se mohlo indukovat rušení.



Obr. 5.2: Připojení zpětnovazebního obvodu pro potlačení impedance přívodů k zátěži

Konkrétní příklad uspořádání takového obvodu je na **Obr. 5.3**.



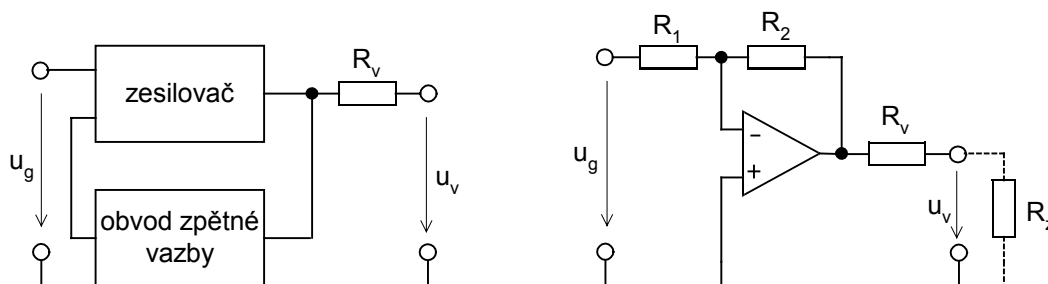
Obr. 5.3: Příklad obvodu s různými výstupními odpory

Výstupní odpor nezatíženého obvodu je možno přibližně určit podle vztahu

$$R_{\text{výst}} \approx \frac{R_1 + R_2}{R_1} \frac{R_0 + R_p}{A_0}, \quad (5.1)$$

kde $R_0 \approx 10 \Omega$ značí výstupní odpor posilovače, $R_p \approx 1 \Omega$ odpor přívodu, $A_0 \approx 150000$ zesílení operačního zesilovače bez zpětné vazby. Potom pro zpětnou vazbu připojenou přímo k zátěži je $R_{\text{výst}} \approx 0,15 \text{ m}\Omega$. Kdyby byla zpětná vazba vedena, jak je naznačeno čárkovaně, byla by hodnota výstupního odporu přibližně rovna odporu přívodu ($R_{\text{výst}} \approx R_p \approx 1 \Omega$).

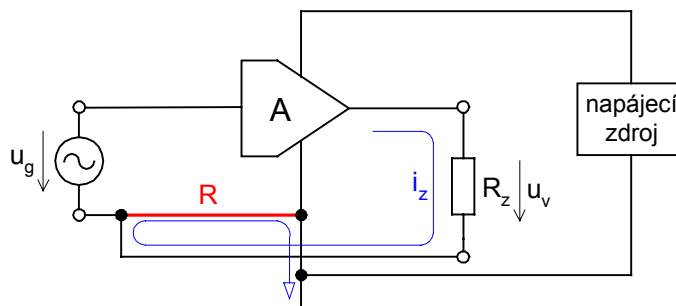
- b) V některých případech vedeme zpětnou vazbu z vnitřního bodu zapojení a zátěž je oddělena rezistorem R_V (**Obr. 5.4**). U generátorů se tak např. definuje výstupní odpor, někdy je tento rezistor využit k ochraně zařízení proti zkratu na výstupu, připojení nevhodného napětí či rozkmitání po připojení kapacitní zátěže. Rezistor R_V je v tomto případě mimo smyčku zpětné vazby a jeho odpor určuje převážnou část výstupního odporu celého obvodu. Bohužel má toto uspořádání nevýhodu, že se ztratí nejcennější vlastnost záporné zpětné vazby – nezávislost výstupního napětí na velikosti zátěže.



Obr. 5.4: Obvody se zátěží oddělenou rezistorem

5.1.3 Vazba signálových obvodů na odporu přívodu

Je-li část zemního vodiče společná jak pro vstupní, tak pro výstupní obvod zesilovače, vznikne na něm vlivem procházejícího výstupního proudu úbytek napětí. Tato vazba mezi výstupem a vstupem je obvykle způsobena uzemněním zátěže do nevhodného bodu (**Obr. 5.5**).



Obr. 5.5: Příklad nežádoucí vazby způsobené odporem přívodu

Podle zesílení A zesilovače mohou nastat dva případy:

- $A > 0$... vazba způsobí zvětšení výstupního signálu
- $A < 0$... vazba způsobí zmenšení výstupního signálu

Přenosová funkce obvodu na **Obr. 5.5** je dána vztahem

$$\frac{u_v}{u_g} = \frac{AR_z}{R_z + R(1 - A)} \quad (5.2)$$

Nemá-li se vlivem parazitní zpětné vazby na odporu přívodu změnit celkové zesílení obvodu o více než 1 %, pak pro odpor přívodu musí platit podmínka

$$R \leq \frac{R_z}{100|1 - A|} \quad (5.3)$$

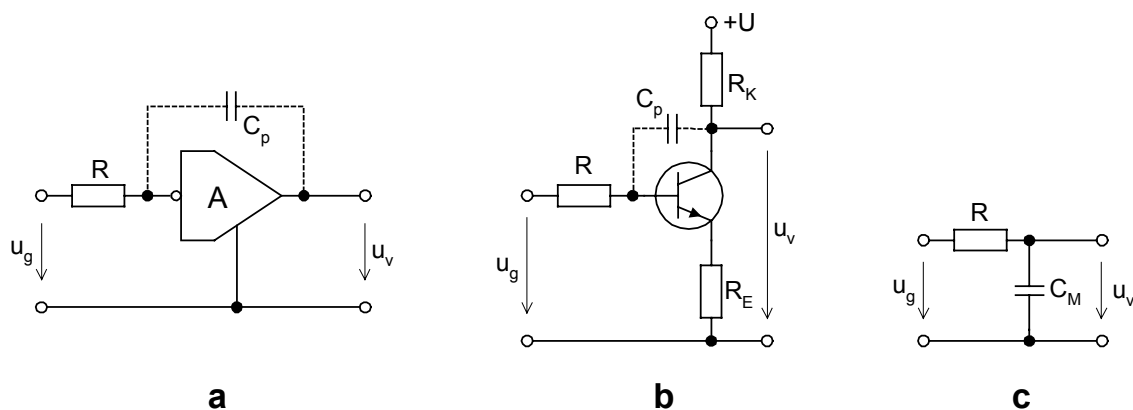
Předpokládáme-li typicky $A = -1000$ a $R_z = 1 \text{ k}\Omega$, pak pro odpor přívodu dostaneme hodnotu $R \leq 10 \text{ m}\Omega$.

Za předpokladu, že v popsaném příkladě byla výstupní impedance bez zpětné vazby nulová, vliv společného odporu $R = 10 \text{ m}\Omega$ ji zvětší při použití invertujícího zesilovače na $R_{\text{výst}} = (1 - A)R \approx 10 \Omega$. U neinvertujícího zesilovače by vyšel výstupní odpor záporný, připojením zátěže by se výstupní napětí zvyšovalo a zesilovač by byl potenciálně nestabilní. Konstrukci musíme tedy volit tak, aby vstupní a výstupní proud neprocházel společným vodičem.

5.2 Parazitní kapacity

Parazitní kapacity se objevují v reálných obvodech jako vnitřní kapacity součástek nebo kapacity mezi libovolnými body zapojení. Čím větší jsou impedance a zisky stupňů v obvodu, tím při nižších frekvencích se parazitní kapacity uplatňují. V této kapitole si povšimneme pouze důsledků parazitních kapacit, o způsobech potlačení bude pojednáno níže.

Na **Obr. 5.6** a), b) jsou uvedeny příklady invertujících zesilovačů se zesílením A a parazitní kapacitní vazbou mezi vstupem a výstupem.



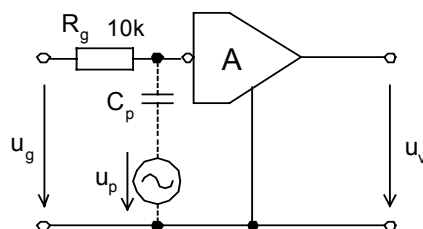
Obr. 5.6: a), b) Parazitní kapacita mezi vstupem a výstupem invertujícího zesilovače, c) náhradní model vstupního obvodu

Pro přenos včetně zpětné vazby platí

$$\frac{U_V(p)}{U_G(p)} = \frac{A}{1 + pCR(1 - A)}, \quad (5.4)$$

kde p je komplexní proměnná. Původní časová konstanta se tedy zvětšila přibližně A -krát. Např. při časové konstantě $RC = 0,1$ ms a $A = -1000$, má zesilovač novou časovou konstantu 0,1 s. Na **Obr. 5.6 c**) je nakresleno náhradní schéma vstupního obvodu, přičemž kapacitor C_M modeluje tzv. Millerovu kapacitu $C_M = C(1 - A)$. S tímto nepříznivým vlivem zpětnovazební kapacity se setkáváme u všech aktivních prvků, které mají charakter invertujícího dvojbranu. To vedlo k vývoji nových prvků, např. unipolárních tranzistorů se dvěma řídicími elektrodami.

Uvažujme zesilovač s parazitní kapacitou podle **Obr. 5.7**.

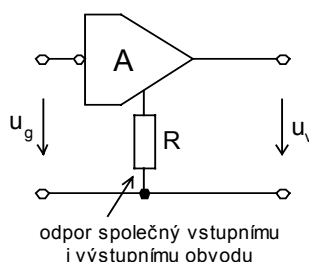


Obr. 5.7: K určení vlivu parazitní kapacity na invertující zesilovač

Zvolme $u_G = 10$ mV a požadovaný odstup signálu od rušivého síťového kmitočtu alespoň 60 dB. Na odporu R_G může rušivé napětí vyvolat úbytek pouze 10 μ V (odstup 60 dB od 10 mV), čemuž odpovídá proud 1 nA. Pokusme se určit, jaká může být maximální parazitní kapacita mezi vstupem zesilovače a zdrojem rušení o napětí $u_p = 10$ V, 50 Hz. Reaktance kapacitoru, kterým protéká při kmitočtu 50 Hz proud 1 nA, musí být 10^{10} Ω . Kapacita $C_p = 1/(\omega X_C)$ smí být pouze 0,3 pF. Je vidět, že přípustná parazitní kapacita je velmi malá i u zesilovače s běžnými středními impedancemi vstupních obvodů. Proto se v náročnějších vstupních obvodech často neobejdeme bez speciálních opatření popsaných později.

5.3 Parazitní indukčnosti

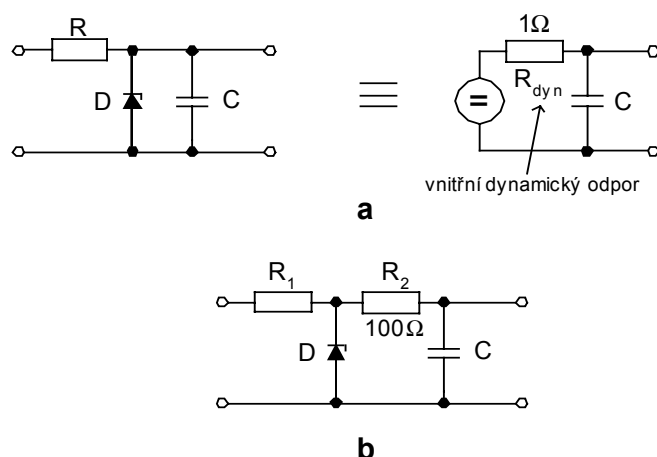
Ani ve zdánlivě nízkofrekvenčních obvodech nelze vliv parazitních reaktancí podceňovat. Vysvětleme tvrzení na příkladu z **Obr. 5.8**.



Obr. 5.8: Vznik proudové zpětné vazby na odporu, společném vstupnímu i výstupnímu obvodu

Požadujeme-li, aby se kmitočtová charakteristika měnila do 10 kHz méně než o 1 %, nesmí se modul impedance rezistoru R měnit o více než 0,01 Ω . Bude-li tato změna způsobena parazitní indukčností při 10 kHz, odpovídá tomu indukčnost 7 μH . To znamená, že není vhodné pro realizaci obvodu užívat drátové rezistory a že je nutno volit krátké spoje.

Parazitní indukčnost činí potíže při použití filtračních kapacitorů v obvodech s malou impedancí. Požadujeme např. potlačit šum diody od kmitočtů 10 kHz podle **Obr. 5.9**.

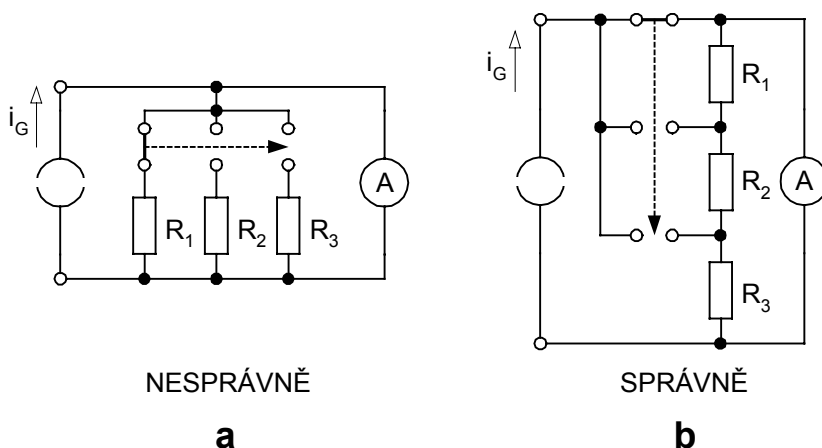


Obr. 5.9: a) Připojení kapacitoru k referenční diodě má malý filtrační účinek, b) zlepšení filtračního účinku užitím filtru RC

Reaktance kapacitoru musí být alespoň o řád menší než dynamický odpor diody, tj. maximálně 0,1 Ω . Takové reaktanci odpovídá kapacita 160 μF a tak velkou kapacitu mají pouze elektrolytické kapacitory. Použití elektrolytických kapacitorů však nepřinese zlepšení, neboť u nich nelze dosáhnout impedance menší než několik desetin ohmu a navíc při takto vysokých kmitočtech má již impedance induktivní charakter. Problém lze vyřešit umělým zvětšením výstupní impedance filtrovaného zdroje (**Obr. 5.9 c**). Stabilizační účinek na kolísání napětí zůstal zachován, filtrační účinek se podstatně zlepšil vlivem rezistoru R_2 a umožnil použít kapacitor přiměřené kapacity.

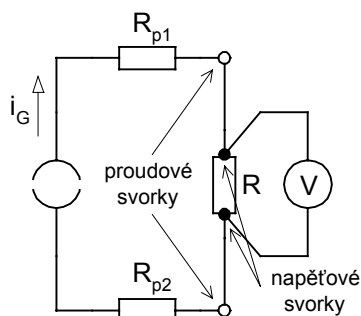
5.4 Přechodové odpory

S přechodovými odpory a jejich vlivem se nejčastěji setkáváme u rozpojitelných spojů, nejčastěji přepínačů. Hodnoty přechodových odporů se pohybují mezi setinami $\text{m}\Omega$ u kolíkových přepínačů a jednotkami až desítkami $\text{m}\Omega$ u běžných přepínačů. Přechodový odpor může podstatně zhoršit vlastnosti ampérmetru (**Obr. 5.10 a**). V tomto případě se přechodový odpor uplatňuje v měřicím obvodu. Zapojením bočnicku Ayrton-Perry se vliv přechodového odporu při měření neuplatní. Měřidlo rovněž není vystaveno proudovým rázům při přepínání.



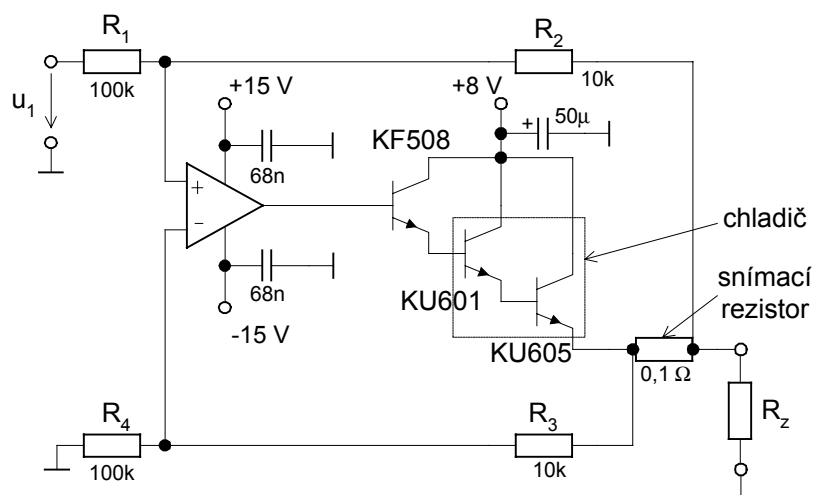
Obr. 5.10: a) Nesprávné připojení bočnicku k měřidlu, b) bočník Ayrton-Perry odstraňuje vliv přechodového odporu

Tam, kde je to možné, používáme čtyřsvorkové zapojení (**Obr. 5.11**). Při snímání napětí ze zvláštních svorek na rezistoru R se vliv přechodových odporů neuplatní, neboť napěťovým obvodem protéká jen zanedbatelný proud.



Obr. 5.11: Čtyřsvorkové zapojení potlačující vliv přechodových odporů přívodů

Příklad použití čtyřsvorkového zapojení ve zdroji proudu řízeném napětím ukazuje **Obr. 5.12**. Zpětná vazba reguluje proud do zátěže tak, aby na snímacím rezistoru byl konstantní úbytek napětí i při změnách R_z .



Obr. 5.12: Zdroj proudu řízený napětím

5.5 Termoelektrická napětí

Při vedení spojů k jednotlivým součástkám se nevyhneme propojení vodičů z různých kovů. Takový spoj, který je vystaven nestejným místním teplotám, je zdrojem tzv. termoelektrického napětí. Velikost tohoto napětí závisí na konkrétní kombinaci dvou spojených kovů a na rozdílu jejich teplot

$$U_{TH} = \alpha_{AB}(T_2 - T_1) \quad (5.5)$$

Přehled materiálových konstant α_{AB} ukazuje **Tab. 5.1**.

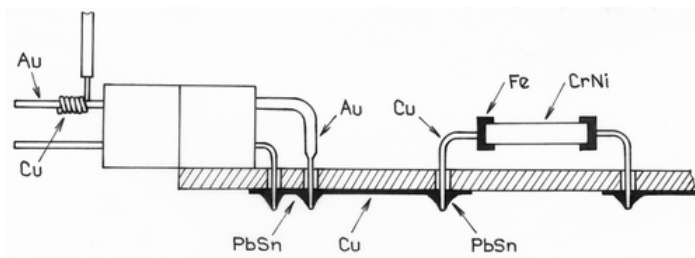
Tab. 5.1: Termoelektrické konstanty některých materiálů proti mědi. (Slitina Cd/Sn je nízkoteplotní pájka, Pb/Sn je obyčejná pájka, spoj Cu-CuO přísluší zoxidované měděné svorce.)

Materiály A-B	Termoelektrická konstanta α_{AB}
Cu - Cu	< 0,2 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Cu - Ag	0,3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Cu - Au	0,3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Cu - Cd/Sn	0,3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Cu - Pb/Sn	1 až 3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Cu - Si	400 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Cu - Kovar	40 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Cu - CuO	1000 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

Z rovnice (5.5) vyplývají dvě konstrukční zásady pro potlačení nežádoucích termoelektrických napětí:

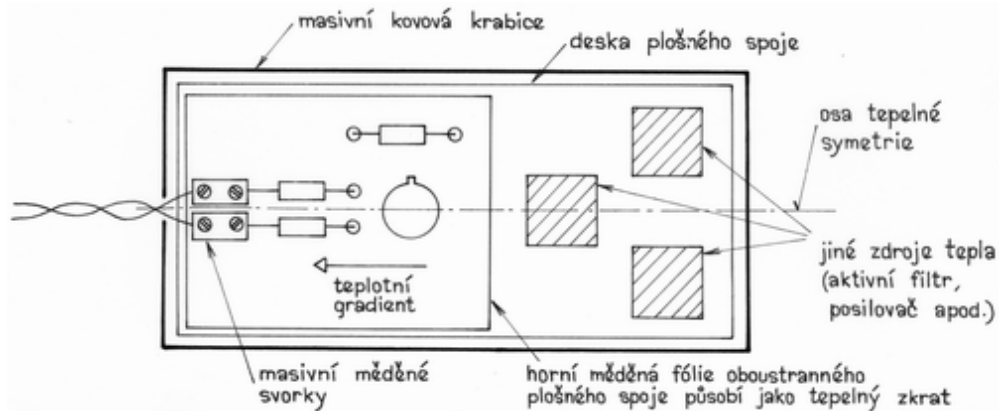
1. použití jediného kovu
2. úplné vyrovnání teplot

První zásada je realizovatelná jen obtížně v zařízeních obsahujících různorodé součástky (**Obr. 5.13**).



Obr. 5.13: Nežádoucí termoelektrické spoje v systému obsahujícím různorodé součástky

Druhá zásada se realizuje také obtížně v soustavě, která mění elektrickou energii v teplo. K potlačení nežádoucích termoelektrických napětí jsou nutné promyšlenější postupy (). Teplotní rozdíly ve vstupní části zesilujícího obvodu musí být co nejmenší. Působení sálavého tepla a volně cirkulujících vzdušných proudů zabrání masivní uzavřená kovová krabice. Teplo přiváděné po signálových a napájecích vodičích se omezí zmenšením jejich průřezu a teplotním zkratem do kostry (masivní vstupní svorky izolované keramikou nebo slídou). Výkonové členy se umístí pokud možno mimo krabici.

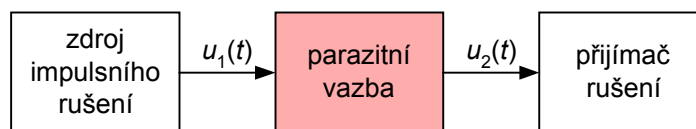


Obr. 5.14: Symetrická konstrukce s ohledem na nežádoucí termoelektrická napětí

5.6 Pronikání impulsního rušení

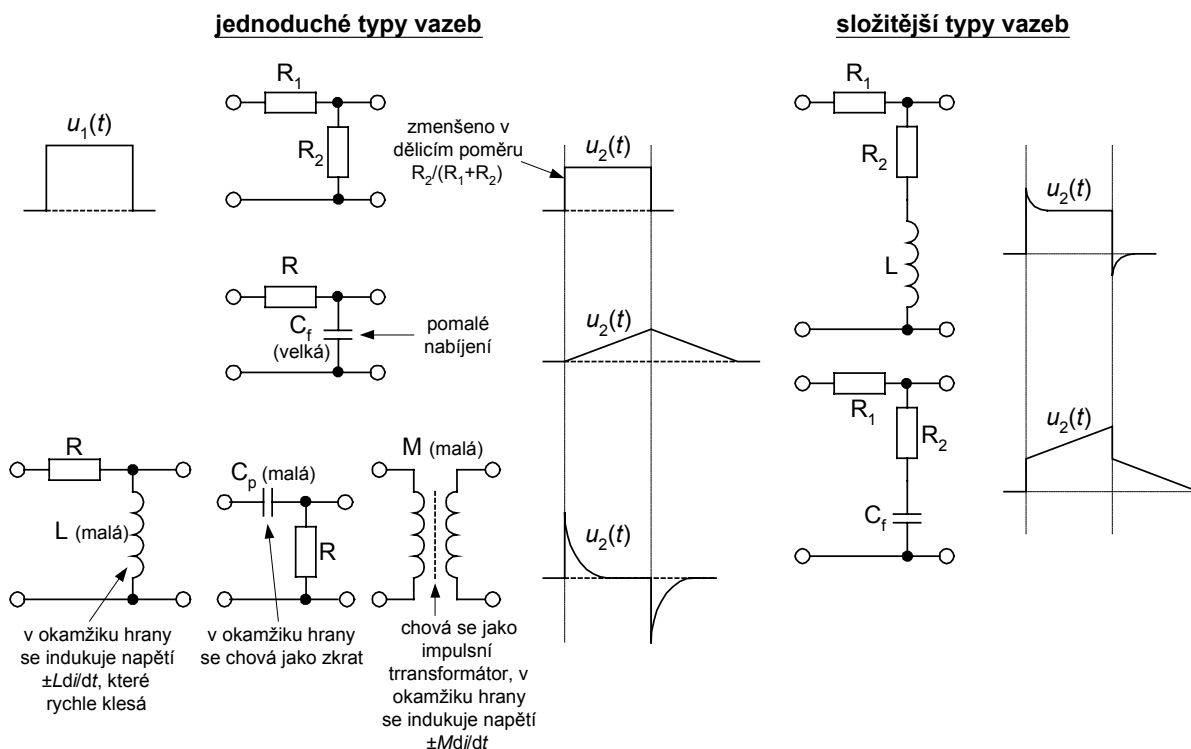
Při zapínání relé, tyristorů, při překlápění číslicových obvodů apod. vznikají napěťové skoky s ostrými hranami. Ty mohou v důsledku parazitních vazeb mezi obvody způsobit impulsní rušení. Nežádoucí jevy tohoto typu se musí potlačit na co nejmenší míru v místě vzniku blokováním, stíněním či filtrem a zabránit jejich nekontrolovanému šíření.

Dostane-li se pravoúhlý impuls parazitní vazbou na přijímač rušení (**Obr. 5.15**), můžeme podle tvaru impulsu na straně přijímače usuzovat na to, o jaký charakter vazby jde.



Obr. 5.15: Pronikání impulsního rušení parazitní vazbou mezi obvody

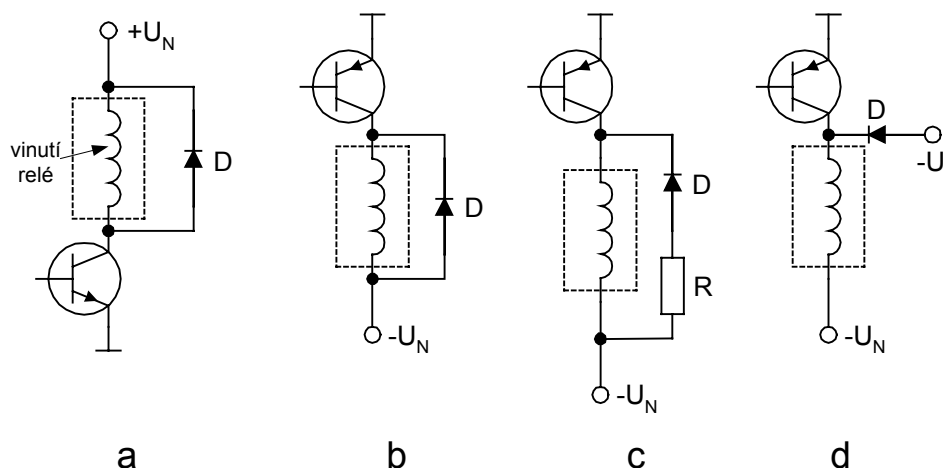
Příklady zkreslení pravoúhlého impulsu různými vazebními členy ukazuje **Obr. 5.16**.



Obr. 5.16: Různé typy parazitní vazby a jejich vliv na přenášený pravoúhlý impuls

5.7 Přepětí na indukční zátěži

Relé a ostatní zařízení s elektromagnety mají impedanci indukčního charakteru. Při vypnutí proudu bez ochranných obvodů by na vinutí těchto součástek vznikla velká přepětí, které je ve většině případů větší než maximální přípustné napětí tranzistoru U_{CEmax} . Stabilizátor napětí tuto špičku neodstraní, protože je moc pomalý. Špička se odstraňuje v místě vzniku připojením paralelního členu k vinutí. Používají se diody, rezistory, nelineární rezistory, referenční diody, kapacitory či jejich kombinace (**Obr. 5.17**).



Obr. 5.17: Odstranění přepětíových špiček na indukční zátěži pomocí diod

Pro běžné použití je nejvýhodnější dioda (**Obr. 5.17 a, b**)), která je zapojena vzhledem k napájecímu napětí vždy v závěrném směru. Po odpojení napájecího zdroje se indukčnost vinutí snaží zachovat původní velikost a směr proudu přes diodu, která je v tomto okamžiku pólována v propustném směru. Tím je zamezeno vzniku přepětí, ale zpožďuje se odpad kotvy relé vlivem procházejícího proudu. Dobu odpadu lze zkrátit rezistorem zapojeným v sérii s diodou (**Obr. 5.17 c**)). Zde ovšem připouštíme napětíovou špičku nad napětí zdroje. Hodnota použitého odporu proto musí splňovat podmínku

$$R \leq \frac{U_{CE \max} - U_N - U_F}{I_C}. \quad (5.6)$$

U_F značí napětí na diodě v propustném směru. Jsou-li k dispozici dvě různá napájecí napětí, můžeme též použít zapojení podle **Obr. 5.17 d**), v němž je dioda připojena na pomocné napětí, přičemž musí platit $|U| > |U_N|$ a $|U_{CE \max}| > |U + U_F|$.

5.8 Přenos signálů dlouhým vedením

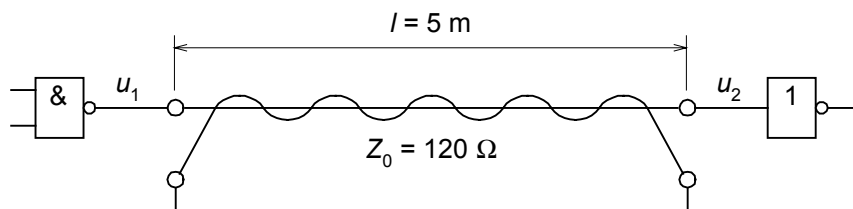
Hlavními problémy při použití dlouhého vedení jsou zpoždění signálu, odrazy, přeslechy, nabíjení a vybíjení vedení. Jevy budou ilustrovány na příkladech spojení výstupu a vstupu dvou číslicových obvodů dlouhým vedením.

5.8.1 Odrazy na vedení

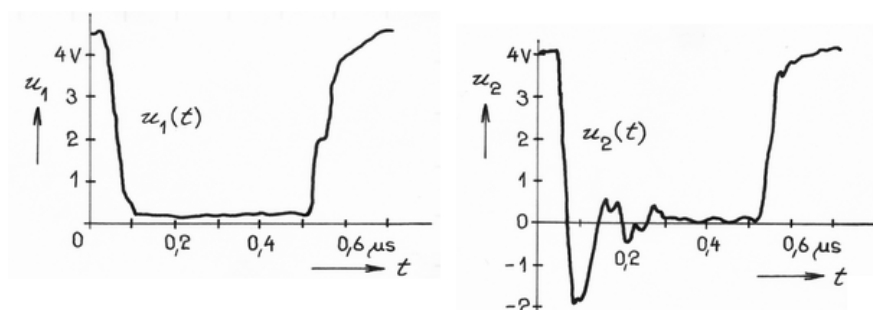
Impuls neprochází vedením okamžitě, ale dojde k jeho zpoždění. U koaxiálních kabelů je možno počítat s největší dobou zpoždění asi 5 ns na metr délky, u krouceného dvou vodiče je zpoždění asi o 20 % větší. Za vedení můžeme považovat i plošné spoje, zvláště ty se souvislou zemní vrstvou.

Přenášeli-li se signál prostřednictvím vedení, dochází k přenosu bez odrazu pouze v případech, kdy je vedení zakončeno rezistorem s odporem rovným charakteristické impedanci vedení Z_0 . Její hodnota nezávisí na délce vedení, ale je určena vlastnostmi prostředí mezi vlastním vodičem a vodičem, který vytváří zpětnou vodivou dráhu a který je obvykle uzemněn. Dva plošné vodiče o šířce 2 mm vedené paralelně po obou stranách desky plošného spoje o tloušťce 1 mm mají přibližně impedanci $Z_0 \approx 50 \Omega$. Impedance vedení bývá nejčastěji mezi 50 až 120 Ω .

Jestliže vedení není přizpůsobeno, dochází k odrazům. Charakter odraženého signálu závisí na impedanci vedení a na druhu zakončení vedení. Signál odražený na výstupu vedení se vrací na vstup, odtud zpět na výstup, atd. Velikost odraženého signálu se postupně zmenšuje, až je zanedbatelně malá. Odražené signály se superponují s užitečným signálem a zkreslují jeho tvar. Toto zkreslení může dosáhnout takové velikosti, že signál může na určitou dobu překročit rozmezí povolených napěťových úrovní. Příklad nesprávně zakončeného přenosového spoje a zkreslených signálů na obou koncích vedení ukazují



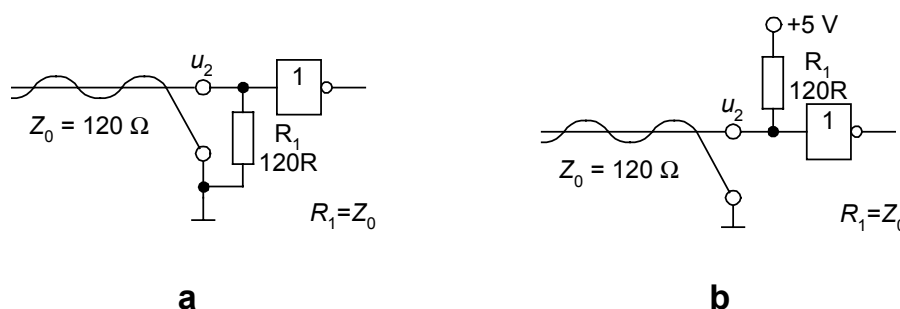
Obr. 5.18: Přenos signálu elektricky dlouhým nepřizpůsobeným vedením



Obr. 5.19: Průběhy napětí při přenosu dlouhým nepřizpůsobeným vedením

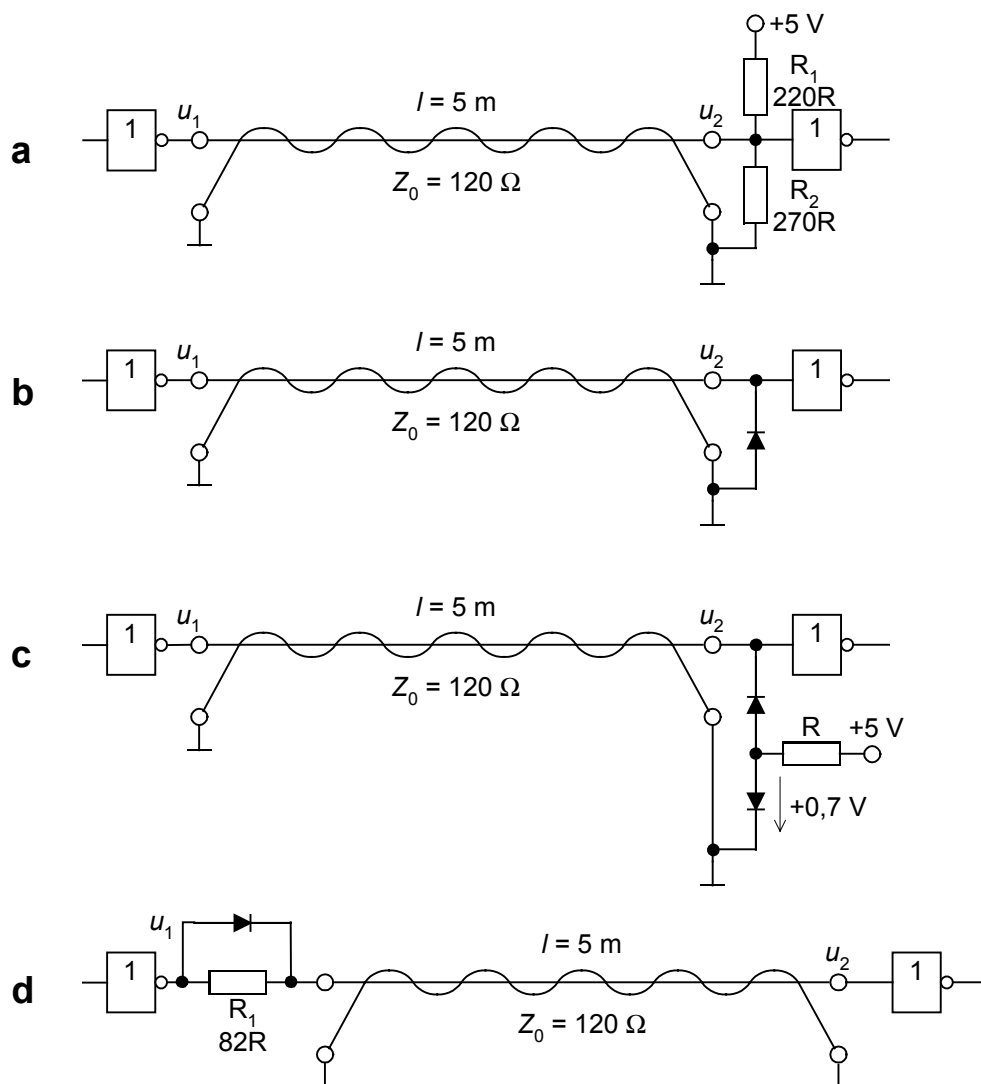
Dlouhé vedení mezi výstupem a vstupem dvou logických prvků lze málokdy považovat za přizpůsobené. Výstupní odpor prvního a vstupní odpor druhého prvku totiž většinou neodpovídají charakteristické impedanci vedení. V praxi je často možné použít vedení nepřizpůsobená, někdy to však nelze. Rozhodnout mezi těmito případy bývá obtížné a často se provádí experimentální měření zkreslení. Obvykle se uvádí, že spoje mezi obvody TTL o délce větší než 1 m musí být přizpůsobeny.

Jednoduché zakončení odporem $R_1 = Z_0$ (**Obr. 5.20 a**) není možné použít. Výstup budicího hradla by byl v úrovni H tímto odporem přetížen a došlo by k poklesu úrovně pod minimální rozhodovací úroveň na vstupu hradla. Připojení rezistoru R_1 na napájecí napětí místo na zem na konci vedení (**Obr. 5.20 b**) by představovalo mezní zátěž výkonového hradla v úrovni L a nelze je proto rovněž doporučit.



Obr. 5.20: Jednoduché zakončení vedení pomocí rezistoru o odporu rovném charakteristické impedanci nelze použít

Několik úprav, které podstatně zlepšují tvar přeneseného impulsu a vylučují chybný přenos vlivem vedení, ukazuje **Obr. 5.21**.



Obr. 5.21: Některé způsoby zlepšení přenosových vlastností nesymetrického vedení

Používáme-li na začátku i konci vedení logické obvody, je vhodné nezatěžovat výstup vysílacího hradla v úrovni H, kde je zatížitelnost malá, ale raději v úrovni L. Dělič (**Obr. 5.21 a**)) se proto navrhne na úroveň H naprázdno a zároveň je třeba splnit podmínku, že paralelní kombinace $R_1 \parallel R_2 = Z_0$. Vyjádříme-li podmínky rovnicemi, pak dostaneme

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = Z_0, \quad (5.7)$$

$$U_N \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_H. \quad (5.8)$$

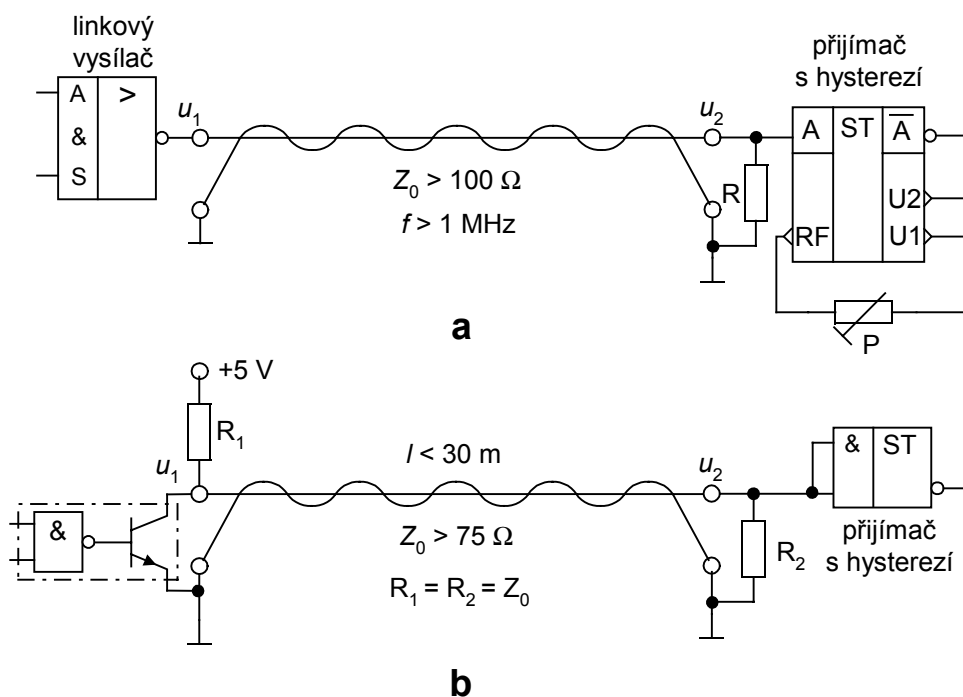
Např. pro $Z_0 = 120 \Omega$, $U_N = 5 \text{ V}$, $U_H = 2,75 \text{ V}$ je vhodné volit $R_1 = 220 \Omega$, $R_2 = 270 \Omega$. Vedení je pak impedančně přizpůsobeno, děličem však teče přídatný proud asi 10 mA při

přenášené úrovni H. Je-li přenášen signál s úrovní L, teče vedením proud přibližně 20 mA. Tím se zvyšuje úroveň logické nuly na konci vedení a zmenšuje se proto šumová imunita.

Záporné zákmity na konci vedení lze omezit diodou připojenou ke konci vedení (**Obr. 5.21 b**). Dioda sice nezabrání odrazům, ale omezí zákmity na přijatelnou míru. Vhodné jsou Schottkyho diody, které odkrojí napětí $u_2 < -(0,2 \text{ až } 0,4) \text{ V}$. U obvodů 74S je tato dioda integrována a připojovat ji ke vstupu je proto zbytečné, pokud se nepřipojí, jak ukazuje **Obr. 5.21 c**). Funkcí zakončovacího článku je nepřipustit na vstupu hradla záporné napětí. Jedna z diod slouží jako zdroj napětí 0,7 V, druhá pracuje jako spínač s úbytkem napětí 0,7 V. Opět se zde nejedná o přizpůsobení, ale jen odkrojení záporných kmitů.

Obr. 5.21 d) znázorňuje přizpůsobení na začátku vedení. U nepřizpůsobeného vedení se nejhůře přenáší hrana $H \rightarrow L$ impulsů (**Obr. 5.19**). Na přizpůsobovacím rezistoru R_1 na začátku vedení se zmenší skok $H \rightarrow L$ tak, že na konci vedení bude součet přímého a odraženého impulsu nulový. Vhodné je rezistor R_1 nahradit potenciometrem, výstupní průběh měřit osciloskopem a nastavit tvar výstupního impulsu tak, aby se vliv odrazů uplatnil co nejméně.

Nesymetrická vedení však můžeme budít i speciálními k tomu určenými integrovanými obvody a rovněž signály z vedení můžeme snímat speciálními obvody. Příkladem může být obvod na **Obr. 5.22 a**) pro přenos signálu nesymetrickým vedením se zkrouceným dvou vodičem nebo koaxiálním kabelem. Vysílač pracuje jako výkonový tvarovací obvod převádějící úroveň na $\pm 5 \text{ V}$. Přijímač pracuje jako komparátor s hystezí a rozhodovací úroveň napětí se nastavuje odporovým trimrem P.

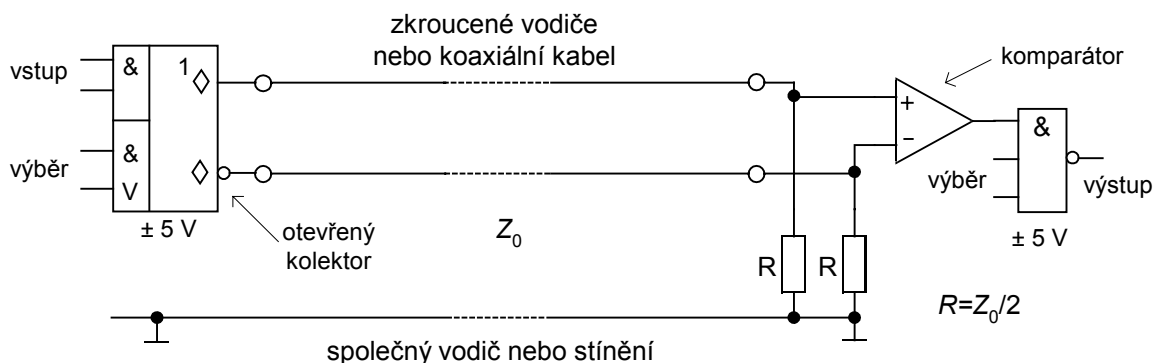


Obr. 5.22: Speciální vysílače a přijímače pro nesymetrické vedení

Nesymetrické vedení lze také budít obvodem, který obsahuje logický obvod NAND a samostatný tranzistor. Vedení je přizpůsobeno rezistory R_1 a R_2 a k odrazům nedochází. Jako přijímač lze použít jakýkoliv logický obvod s hysterezní charakteristikou Schmittova klopného obvodu.

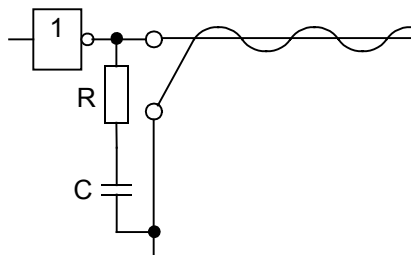
Při přenosu dat na větší vzdálenosti a více rušeným prostředím se používají symetrická vedení (kap. 2.2). Příklad takto řešené přenosové cesty je na **Obr. 5.23**. Komplementární

výstupy s otevřenými kolektory vysílače budí vedení a signál na konci vedení je zpracováván vstupním napěťovým komparátorem přijímače. Do obou signálových vodičů se indukuje stejné rušivé napětí, které je na vstupu přijímače potlačeno, protože komparátor reaguje pouze na rozdílovou složku signálu.



Obr. 5.23: Přenos dat symetrickým vedením

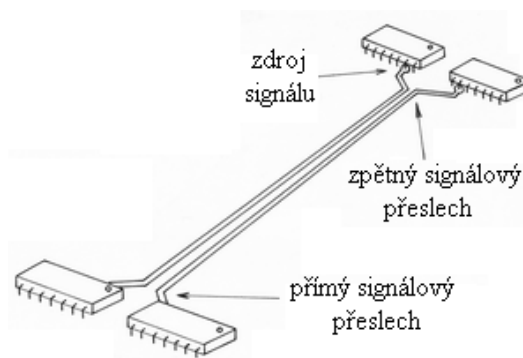
Z předchozích úvah je zřejmé, že pro dokonalé zamezení vlivu odrazů je třeba používat buď jen krátké spoje nebo přizpůsobená vedení anebo v náročných případech při přenosu číslicových signálů vysílače a přijímače logických signálů. U systémů, kde příliš nezáleží na přenosové rychlosti, se k odstranění nežádoucích odrazů nebo jejich následků mohou použít ještě jiné prostředky. Jednou z možností je zpomalení náběžných a sestupných hran signálu. Vysílač se pak upraví podle **Obr. 5.24**. Velikost odporu R se volí o něco menší, než je velikost impedance Z_0 . Tato metoda je použitelná i proti přeslechům.



Obr. 5.24: Zpomalení náběžné a sestupné hrany přenášeného impulsu

5.9 Přeslechy

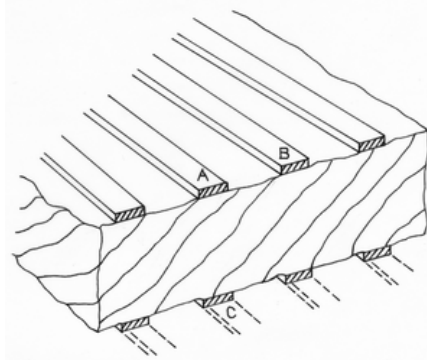
Dalším důležitým jevem, se kterým je třeba při konstrukci zařízení počítat, jsou přeslechy. Jde o parazitní signály indukované do vodiče změnou proudu v sousedním vodiči. Velikost přeslechů závisí na mnoha jevech – charakteristické impedanci vodičů, jejich vzdálenosti a délce, strmosti hran a úrovni signálů a na ukončení vodičů. Podle umístění jednotlivých částí zařízení a směru signálu rozeznáváme různé druhy přeslechů (viz **Obr. 5.25**).



Obr. 5.25: Přímý a zpětný signálový přeslech

Největší potíže činí zpětný přeslech. Pro omezení přeslechů je vhodné zkrátit délku vodičů vedoucích rovnoběžně, vodiče oddálit či zavést zemní vodiče do všech míst, kde nejsou signálové vodiče.

Je třeba poznamenat, že např. u desek o tloušťce 1,5 mm vazba mezi sousedními plošnými vodiči o šířce 0,5 mm vzdálenými 1,25 mm, je přibližně stejná jako vazba mezi rovnoběžnými vodiči na opačných stranách desky (**Obr. 5.26**).

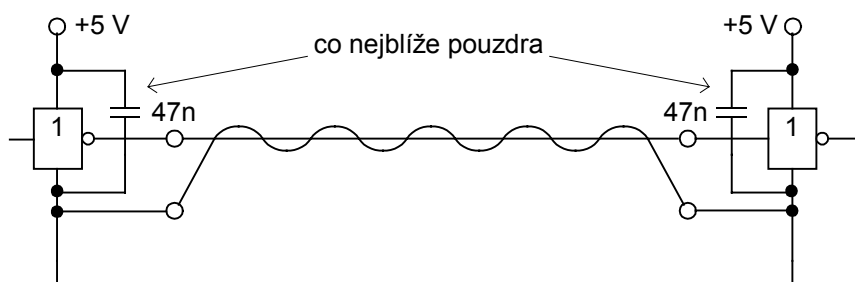


Obr. 5.26: Přeslechy u dvouvrstvé desky s paralelními plošnými vodiči (vazba mezi vodiči A a B je přibližně stejná jako mezi vodiči A a C)

Ze stejného důvodu se nedoporučuje vyvazovat drátové vodiče do svazků. Výhodnější je propojovat citlivá místa nejkratší cestou. Nejvhodnější je stíněný koaxiální kabel, dobrých výsledků dosahuje i kroucený dvou vodič.

5.10 Nabíjení a vybíjení vedení

Aby se zabránilo šíření proudových impulsů, způsobených činnostmi logických obvodů, nežádoucími cestami, je nutné dbát na to, aby se užitečné signály šířily vždy jen jediným (signálovým) vedením a nikoli po paralelně vedených napájecích, popř. zemních vodičích. Vedení se chová jako kapacitní zátěž a při změně úrovně z L do H vznikne proudová špička v napájení. V okamžiku proudové špičky je proud dodáván kapacitoy připojenými k napájecím svorkám logických obvodů (**Obr. 5.27**). Použité kapacity mají mít zanedbatelnou indukčnost a kapacitu řádu 10 až 100 nF. Rušivé účinky na společném zemnicím vodiči způsobené vybíjením vedení lze odstranit tak, že oba konce tohoto vodiče se spojí co nejkratším spojem se zemnicí svorkou obou logických obvodů.



Obr. 5.27: Způsob ochrany proti šíření proudových impulsů po napájecích a zemnicích vodičích

6 Stínění

V zařízeních pracujících s vyššími kmitočty je nutno používat různé druhy stínění. Nejčastěji je třeba odstínit elektrické nebo magnetické pole, řidčeji elektromagnetické pole (v technice VKV). Metodika přesného výpočtu stínění díky jeho složitosti neexistuje a proto se ve většině případů musíme spolehnout na kvalitativní posouzení jevu a výsledky experimentu.

Existují dva základní přístupy jak realizovat stínění:

- stínit zdroj rušení (motory, tyristorové regulátory, tyristorové usměrňovače),
- stínit citlivou část (citlivé vstupní díly).

Rušivý signál může pronikat kapacitní nebo induktivní vazbou, popř. nežádoucí vodivou drahou.

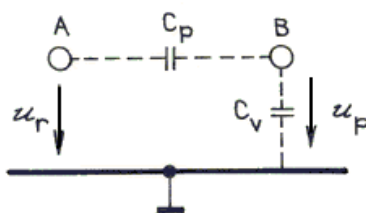
6.1 Stínění elektrického pole

Čisté elektrické pole je pouze idealizací, protože je vždy doprovázeno slabým magnetickým polem. Charakteristickou vlastností elektrického pole je, že v prostoru uzavřeném ze všech stran vodivou plochou pole chybí, i když je tato plocha nabita na vysoký potenciál nebo i když se taková plocha nachází v silném elektrickém poli. Účinek elektrického pole je dán rozložením elektrických siločar mezi objekty. Elektrické vazby budeme modelovat pomocí modelových kapacitorů.

6.1.1 Stínění obvodů

Vazba mezi dvěma obvody A a B je v **Obr. 6.1** charakterizována kapacitorem C_p , kapacitor C_v modeluje kapacitu obvodu B vůči zemi (kostře). Bez stínění bude parazitní napětí vyvolané zdrojem rušení A

$$u_p = u_r \frac{C_p}{C_v + C_p}. \quad (6.1)$$



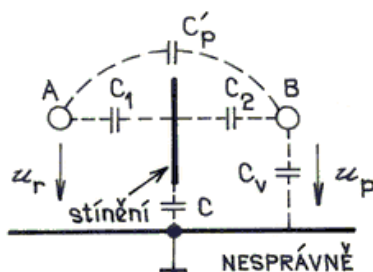
Obr. 6.1: Parazitní kapacitní vazby bez stínění

Diskuse vztahu (6.1) ukazuje, že napětí u_p bude tím menší, čím menší bude vzájemná kapacita C_p , tedy čím dále od sebe budou body A a B a čím větší bude kapacita C_v , tedy čím blíže bude bod B k uzemněné kovové desce. O existenci této vazby se snadno přesvědčíme vložením ruky mezi obvody. Změní-li se chování rušeného obvodu, je třeba uvažovat o odstínění.

Vložíme-li mezi obvody A a B stínicí kovovou desku nespojenou se zemí (**Obr. 6.2**), může se parazitní napětí zmenšit, ale i zvětšit. Zanedbáme-li přímou vazbu modelovanou kapacitou C_p' , bude

$$u_p \approx u_r \frac{C_1}{C_1 + C_3} \frac{C_2}{C_2 + C_v}. \quad (6.2)$$

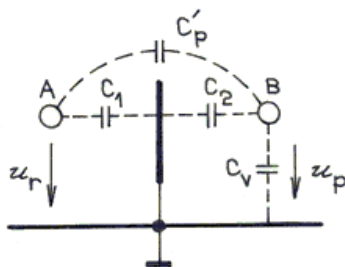
Bude-li např. $C_1 = C_2 = C_3 = 2C_p$ a $C_v < C_p$, dosáhneme zvětšení parazitního napětí. Jestliže $C_3 = C_v \ll C_p$, pak se napětí u_p po vložení stínění zmenší.



Obr. 6.2: Parazitní kapacitní vazby s neuzemněným stíněním

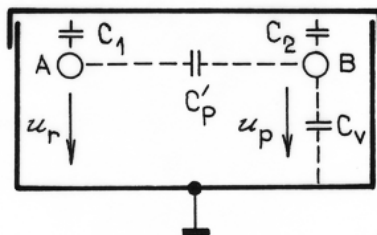
Účinného zmenšení napětí u_p dosáhneme uzemněním stínicí přepážky (**Obr. 6.3**), protože

$$u_p = u_r \frac{C_p'}{C_p' + C_2 + C_v} \approx u_r \frac{C_p'}{C_2 + C_v}. \quad (6.3)$$



Obr. 6.3: Parazitní kapacitní vazby s uzemněným stíněním

Parazitní vazbu mezi zdrojem rušení a přijímačem můžeme také účinně zmenšit vložení obou obvodů do stínicího krytu, přičemž není nutné, aby mezi oběma obvody byla stínicí přepážka (**Obr. 6.4**).

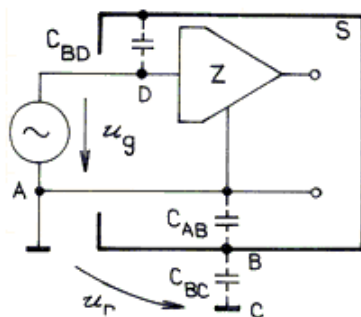


Obr. 6.4: Odstranění parazitních vazeb stínicím krytem

Příčina spočívá v tom, že kapacitor C_1 odvádí rušivé signály do stínicího krytu (tvoří pro rušení kapacitní zkrat) a kapacitor C_2 přispívá k dalšímu zmenšení parazitního signálu.

Fyzikální smysl kovového stínění spojeného s kostrou je zkratování velké části parazitních kapacit mezi odstíňovanými body na kostru. Z tohoto důvodu se doporučuje montovat citlivé prvky co nejbližší stínicího krytu. Nejlepší ochranou je vložit citlivé obvody do stínicího krytu. Malé otvory nebo štěrby nezmění stínicí účinek, a proto lze užít kovovou mříž nebo síť. Protože po povrchu stínění tekou jen malé proudy, nezávisí účinek na tloušťce stínění (stačí $15\mu\text{m}$) a v některých případech lze použít izolant s napařenou kovovou vrstvou.

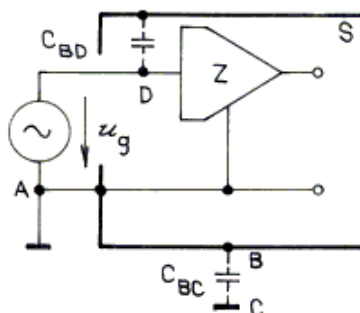
Aby bylo stínění elektrického pole účinné, musí se dodržovat několik zásad. Signálové vodiče se mají vést stíněným prostorem a stínění musí být spojeno se zemí přístroje, a to jen v jednom bodě. Neuzemněné stínění (**Obr. 6.5**) má omezený účinek. Jsou-li body A a C od sebe vzdáleny, může se mezi nimi projevit rušení u_r . Toto napětí se na stínění projeví poněkud zmenšené v závislosti na poměru kapacit C_{AB} a C_{BC} . Přes parazitní kapacitu C_{BD} se toto napětí přeneso do vstupu zesilovače Z.



Obr. 6.5: Neuzemněné stínění má omezený účinek

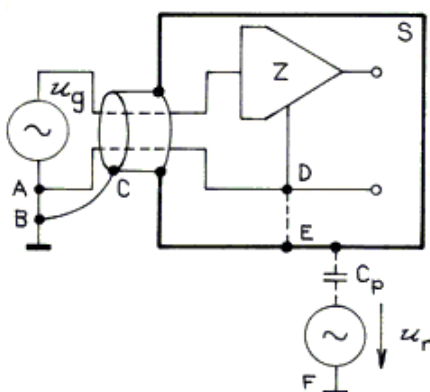
Zkratujeme-li kapacitor C_{AB} propojením bodů A, B, odstraníme průnik rušivého napětí přes kapacitory C_{AB} a C_{BD} . Stínění se připojuje k referenčnímu potenciálu na straně zdroje

signálu, a to pouze v jednom bodě (**Obr. 6.6**). Spoj mezi stíněním a zemí nesmí být dlouhý. Impedance dlouhého spoje narůstá s kmitočtem, což ve svém důsledku odpovídá zvětšování kapacity C_{AB} .



Obr. 6.6: Připojení stínění na společný referenční potenciál

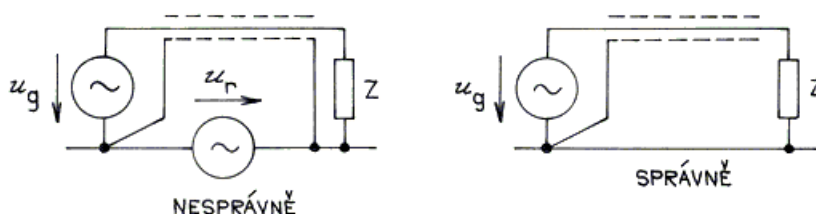
Stínicí vodič se nedoporučuje používat jako vodič signálový. Správný způsob používající dvoužilový stíněný kabel ukazuje **Obr. 6.7**. Společný vodič signálového rozvodu je představován spojem A-D. Stínění je spojeno stínicím pláštěm kabelu s referenčním bodem zapojení na vstupu. Případný proud zdroje rušení se uzavírá obvodem F-E-C-B-F a na společném vodiči proto nevyvolá úbytek napětí.



Obr. 6.7: Správný způsob stínění (propojíme-li navíc body D-E, účinek stínění se zhorší)

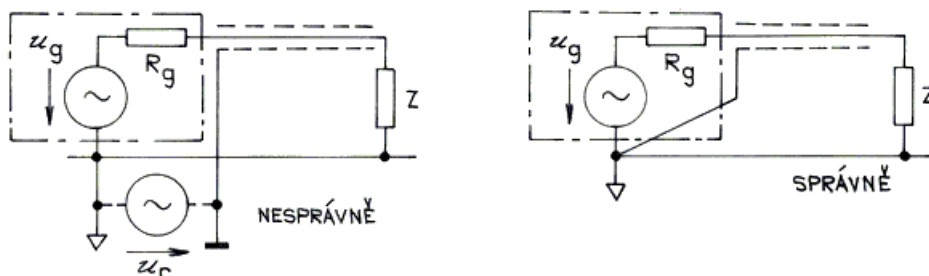
6.1.2 Stínění spojů

Podobné zásady jako pro stínění obvodů platí i pro stínění spojů. Stínicí plášť nosného kabelu má být spojen s vodičem nesoucím referenční potenciál jen v jednom bodě (**Obr. 6.8**). Jinak by mohla vzniknout tzv. zemní smyčka, do které se může indukovat rušivé napětí. Stíněním nemá protékat proud – mohl by indukovat napětí ve vodičích vedených stíněným prostorem.



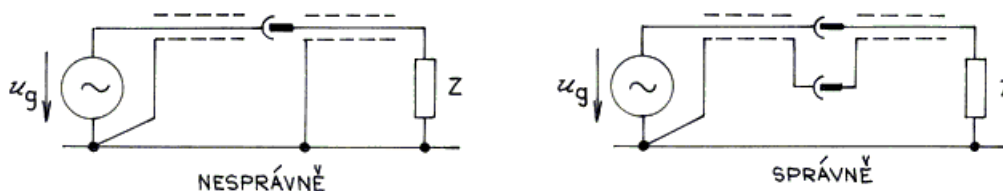
Obr. 6.8: Připojení souosého kabelu do místa s referenčním potenciálem

Na stínění nemá být napětí proti referenční úrovni (**Obr. 6.9**).



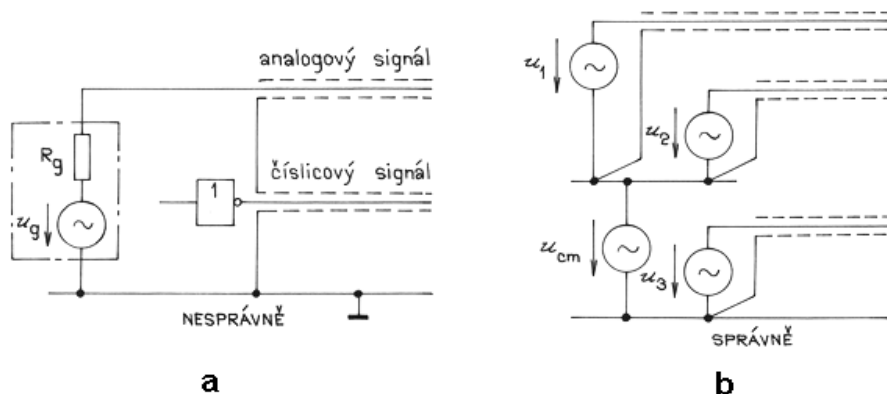
Obr. 6.9: Stínění musí být připojeno k referenčnímu potenciálu vlastního zdroje, jinak dochází ke kapacitní vazbě rušivého signálu

Skládá-li se stínění z několika po sobě následujících částí, musí být dílčí stínění propojena za sebou a spojena se společnou svorkou pouze v jednom bodě (**Obr. 6.10**).



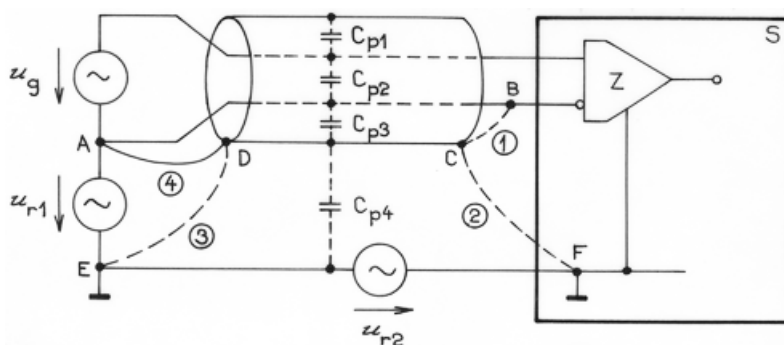
Obr. 6.10: Propojení několika úseků stínění

Je třeba vždy prověřit, kudy se uzavírá dráha pro rušivý signál mezi stíněním a zemí. Na **Obr. 6.11 a)** je ukázán nesprávný způsob spojení dvou systémů – analogového a číslicového - se zemí. Je-li použito několik zdrojů, je třeba použít pro každý signálový vodič nezávislé stínění připojené na referenční potenciál příslušného zdroje (**Obr. 6.11 b)**).



Obr. 6.11: a) do stíněného vodiče může pronikat rušení, b) správný způsob připojení stínění k referenčnímu potenciálu zdroje.

Konstrukci stínění nelze řešit mechanicky, vždy se musí provést analýza a najít optimální řešení. Na **Obr. 6.12** je zobrazeno několik možností připojení stínicího vodiče.



Obr. 6.12: Způsob připojení stínění signálových vodičů k přístroji s diferenčním vstupem

Zařízení je buzeno z neuzemněného signálového zdroje u_g . Zdroje u_{r1} a u_{r2} modelují rušivá napětí. Rovněž jsou zakresleny kapacity modelující parazitní kapacity. V obrázku jsou načrtnuty čtyři možnosti, kam stínění připojit:

1. rušivý proud vyvolaný rušivým napětím u_{r1} teče přes A-B-C- C_{p4} -E a v úseku A-B teče signálovým vodičem – NEVHODNÉ;
2. rušivá napětí u_{r1} a u_{r2} jsou v sérii, rušivý proud teče přes A- C_{p2} - C_{p1} -C-F a k užitečnému napětí se přidá $u_r = (u_{r1} + u_{r2})C_{p1}/(C_{p1} + C_{p2})$. Varianta je NEVHODNÁ;
3. důsledky podobné jako v předchozím případě – NEVHODNÉ;
4. vyloučí se vliv obou zdrojů rušení – OPTIMÁLNÍ.

Seznam použité literatury

- [1] FILKA, M. – VRBA, K.: Telekomunikační projekty – specializované přednášky, 2. doplněné vydání (skriptum). VUT v Brně 1990
- [2] FILKA, M.: Optoelektronika v telekomunikacích, (skriptum). Praha, SNTL 1985
- [3] ABEL, M.: Plošné spoje se SMD, návrh a konstrukce. Pardubice, Nakladatelství Platan 2000
- [4] ZÁHLAVA, V.: Metodika návrhu plošných spojů, (skriptum). Vydavatelství ČVUT Praha 2000
- [5] VOLIN, M., L.: Parazitní vazby a přenosy. Praha, SNTL 1970
- [6] VACKÁŘ, J.: Technologie elektronických zařízení II, (skriptum). Praha, Ediční středisko ČVUT 1983