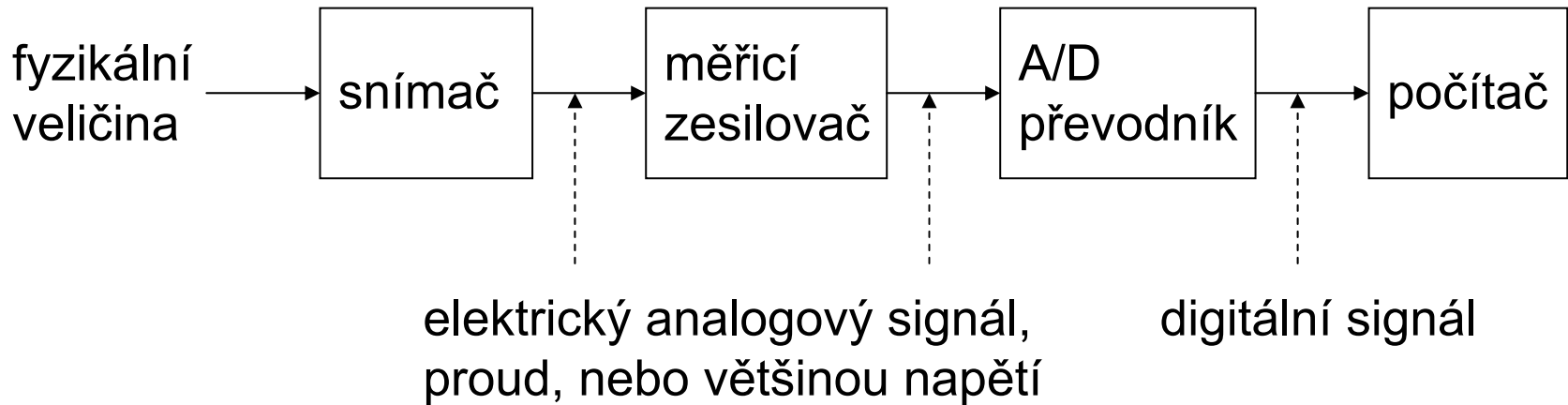


Signál

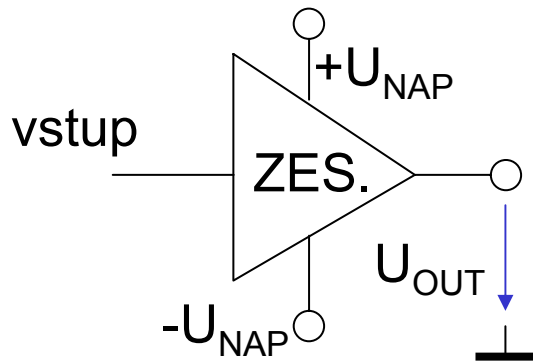
Pojmem **signál** míníme většinou elektrickou reprezentaci informace.



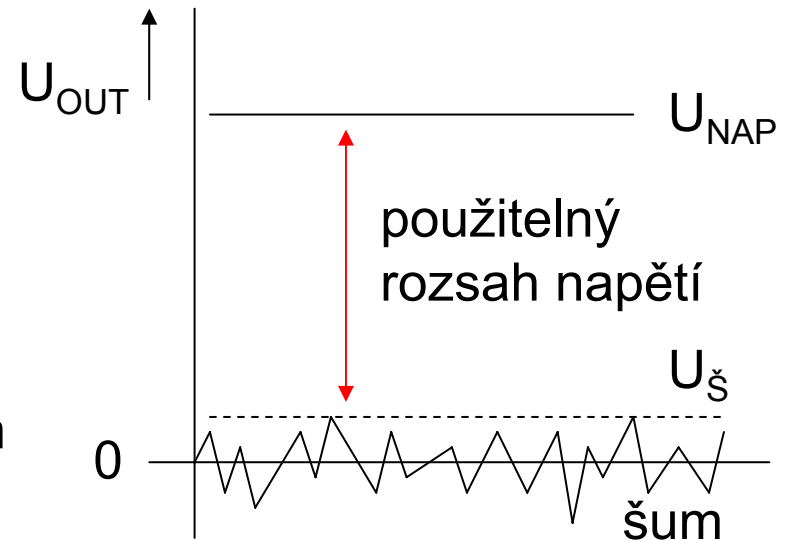
Zhoršení kvality signálu v analogové části řetězce (snímač – zesilovač) je způsobeno šumem, který je vlastní všem elektrickým obvodům, dále elektrickým rušením z okolí a pak zkreslením nelinearitami zesilovačů.

Dynamika, dynamický rozsah

Dynamika je klíčový pojem při zpracování signálů. Vyjadřuje poměr mezi maximální a minimální hodnotou zpracovatelného signálu.



Např. u zesilovače je dynamika rozsahem mezi max. napětím a hladinou šumu. Signál menší, než šum se v něm ztrácí.



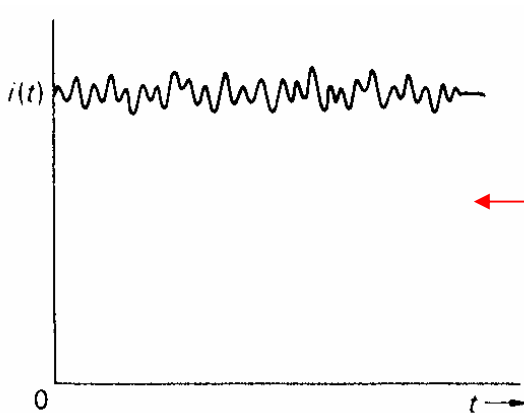
Dynamika se vyjadřuje relativně, v poměru U_{MAX} / U_{MIN} , navíc obvykle logaritmicky v jednotkách zvaných decibel (dB).

Spodní hranicí nemusí být vždy jen šum, ale třeba citlivost, **rozlišení** metody, fyzikálního principu.

U digitálních systémů je citlivostí změna na poslední číslici o 1.

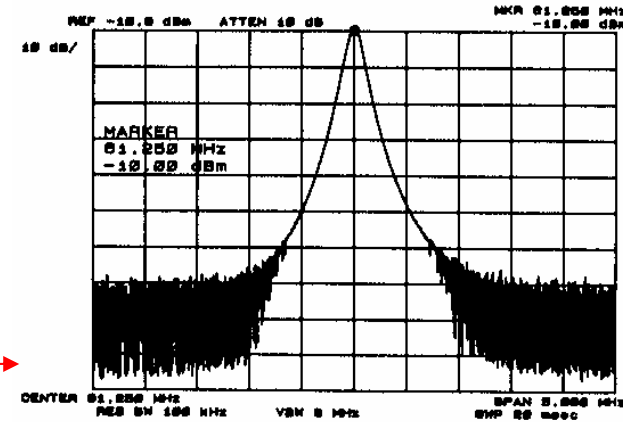
Poměr signál – šum

Obdobou dynamiky je parametr: **poměr signál – šum**. Popisuje nikoli vlastnost přístroje (např. zesilovače), ale signálu jako takového.



Úroveň šumu vidíme např.
na záznamu osciloskopu u
stejnosměrné veličiny,

nebo spektrálního analyzátoru
u střídavého signálu



Počítáme-li poměr z výkonu, pak:

$$s/\bar{s} = 10 \cdot \log (P_{\text{SIG}} / P_{\text{ŠUM}}) \quad [\text{dB}]$$

V řetězci, kde mají jednotlivé stupně stejnou impedanci (u vf obvodů typicky 50 Ω) lze počítat $P = U^2 \cdot R$, takže v logaritmickém poměru bude:

$$\begin{aligned} 10 \log (U_{\text{SIG}}^2 / U_{\text{ŠUM}}^2) &= \\ = 20 \log (U_{\text{SIG}} / U_{\text{ŠUM}}) \end{aligned}$$

takže: $s/\bar{s} = 20 \cdot \log (U_{\text{SIG}} / U_{\text{ŠUM}}) \quad [\text{dB}]$

Původ šumu

Každý členek řetězce přispívá k celkovému šumu. Šumem může být zatížena už fyzikální veličina, kterou měříme, např. mechanické vibrace, teplotní fluktuace, ap.

Výstřelový, kvantový šum – základní všudypřítomný šum ve všech polovodičích, je poměrně slabý. Jeho podstatou je kvantová povaha proudu.

$$I_{\text{š}} = \sqrt{2 \cdot e \cdot I_j \cdot B}$$

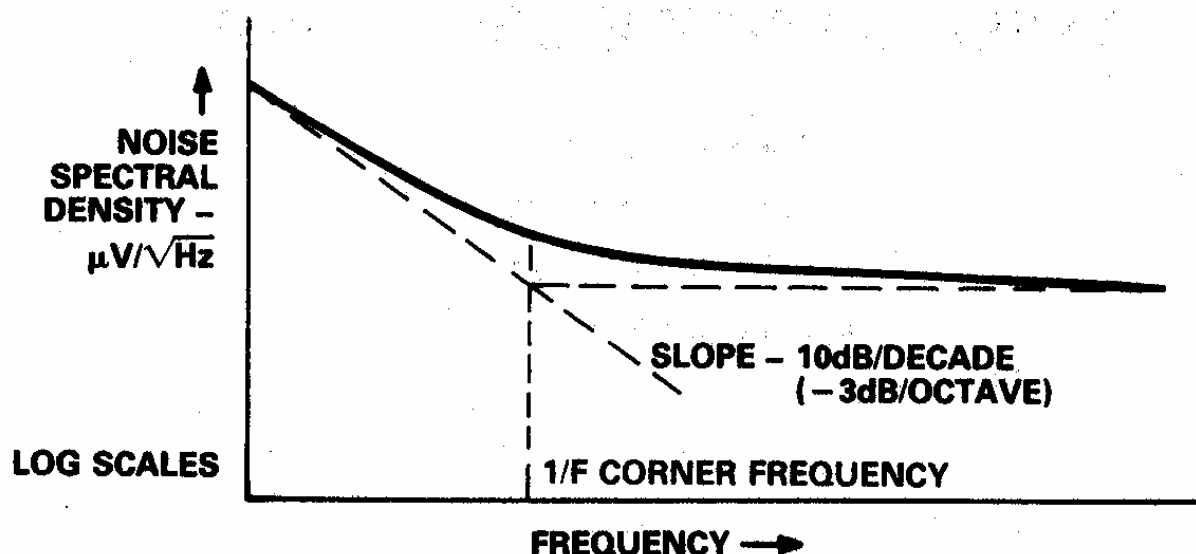
kde

I_j ... proud PN přechodu

B ... šířka pásma v Hz

e ... náboj elektronu

Plápolavý, praskavý šum – typický pro výbojky, ale i polovodiče a zvláště lasery je silný pro nízké kmitočty, pro vyšší jeho úroveň klesá ($1/f$).



Druhy šumu

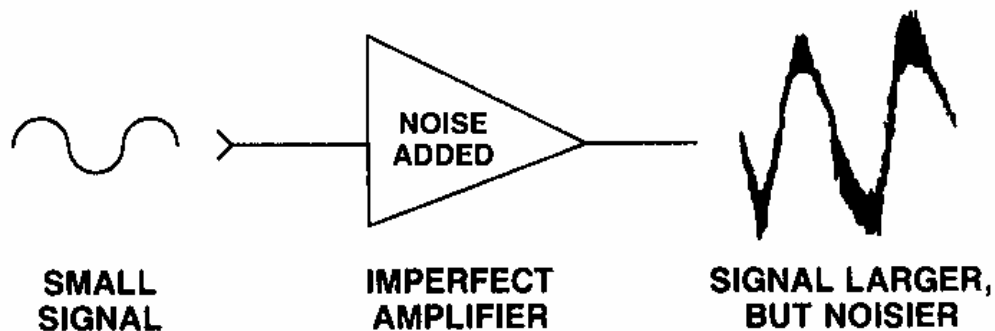
Tepelný, Johnsonův šum – jeho zdrojem je každý odpor. Podstatou je opět kvantová povaha proudu – jednotlivých volných elektronů a jejich kolizí s atomy vodiče.

$$U_{\text{š}} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot B}$$

kde k ... Boltzmannova konst.
 T ... teplota v Kelvinech
 R ... odpor v Ohmech
 B ... šířka pásma v Hz

1. Na nízkých kmitočtech obvykle dominuje 1/f šum.
2. Na vyšších kmitočtech je šum konstantní (bílý).
3. Tepelný šum hraje roli u odporových snímačů s velkým odporem.
4. Ve všech případech závisí velikost šumu na šířce pásma. Omezení pásma pásmovými filtry, dolní propustí, digitálním průměrováním zlepší šumové poměry. Šířka pásma řetězce by neměla být větší, než je z podstaty měřené veličiny nutné.
5. Šum má nekorelovaný charakter, nesčítá se prostou superpozicí, ale podle pravidla: $U_{\text{š}} = \sqrt{U_{\text{š}_1}^2 + U_{\text{š}_2}^2}$

Šumové číslo zesilovače



V signálovém řetězci každý stupeň přispívá ke zhoršení poměru signál – šum.

Šumové vlastnosti zesilovače popisuje šumové číslo F

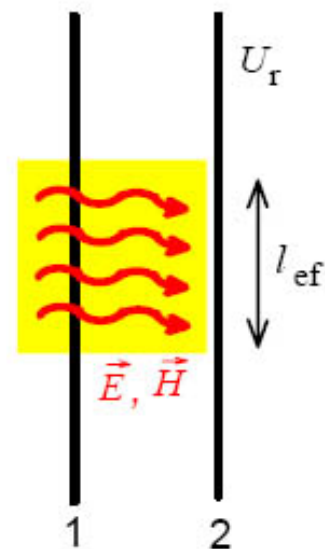
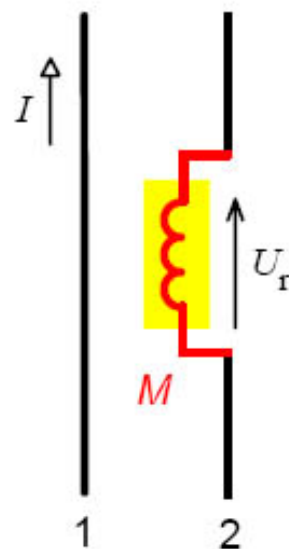
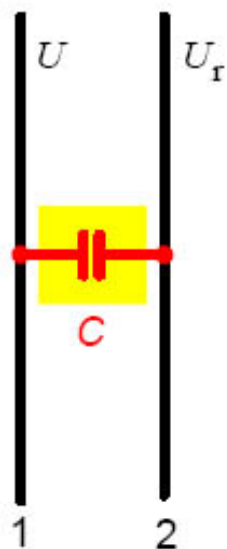
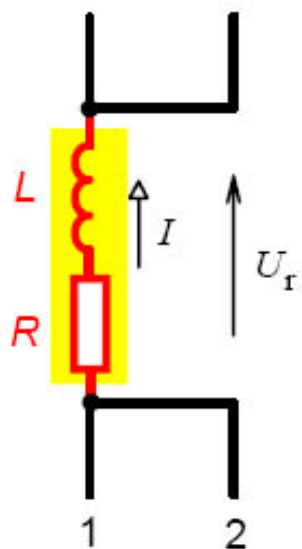
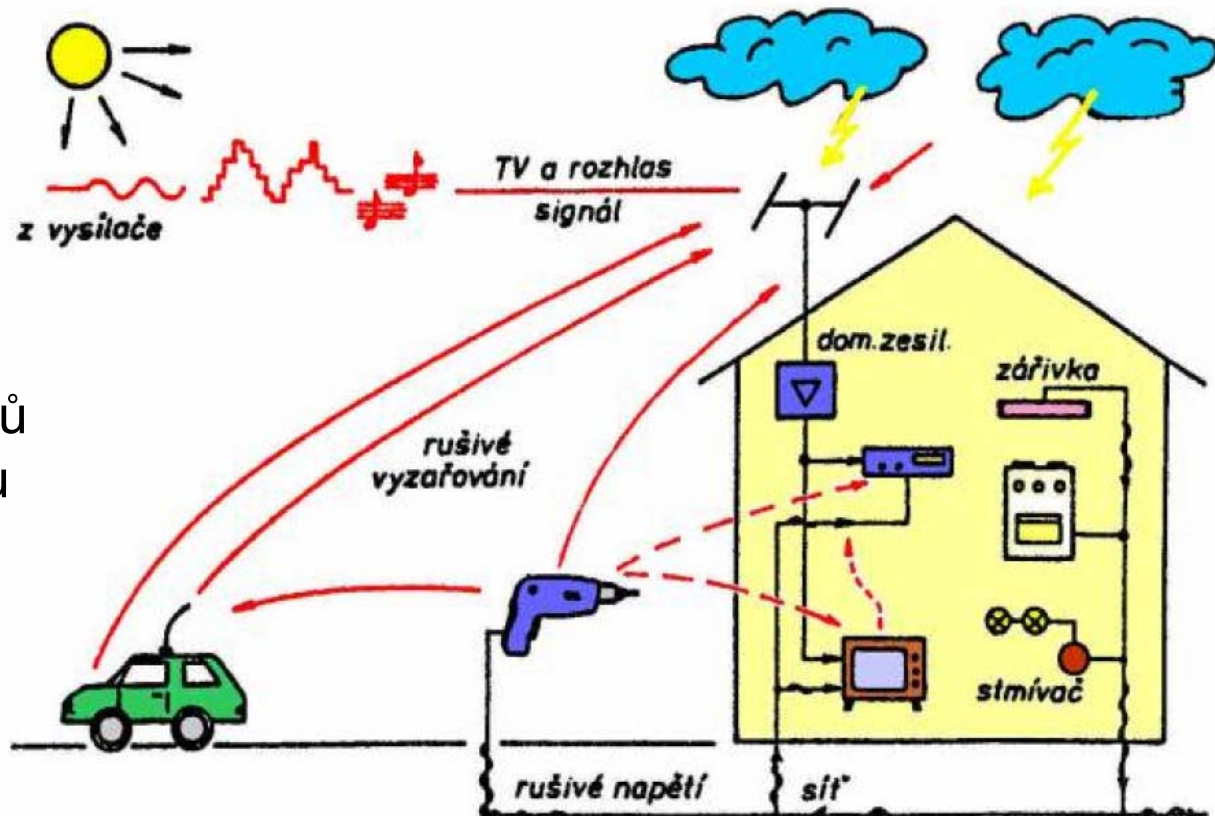
$$F = \frac{P_{\text{SIG}} / P_{\text{ŠUM}} \text{ na vstupu obvodu}}{P_{\text{SIG}} / P_{\text{ŠUM}} \text{ na výstupu obvodu}}$$

Každý zesilovač zesiluje šum v signálu již přítomný stejně, jako signál, přidává k němu šum svých vstupních obvodů, který také zesílí a přidá šum výstupních obvodů, nezávislý na zesílení – aditivní šum.

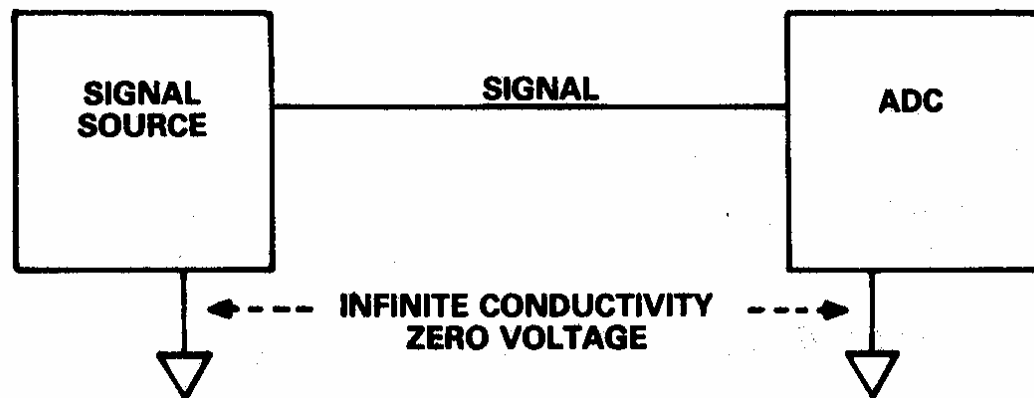
Z toho plyne ponaučení: je vhodné v kaskádě zesilovačů volit co největší zesílení v prvním stupni, další stupně již pak nezesilují aditivní šum předchozích zesilovačů.

Elektrické rušení

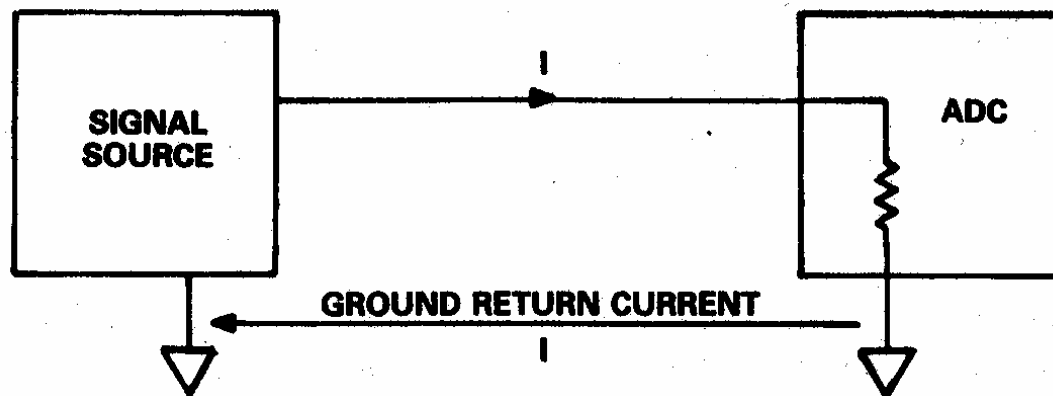
Elektrické rušení je všudypřítomné a do obvodů se dostává vazbou: přímou galvanickou, kapacitní, induktivní a vyzařováním.



Galvanická vazba

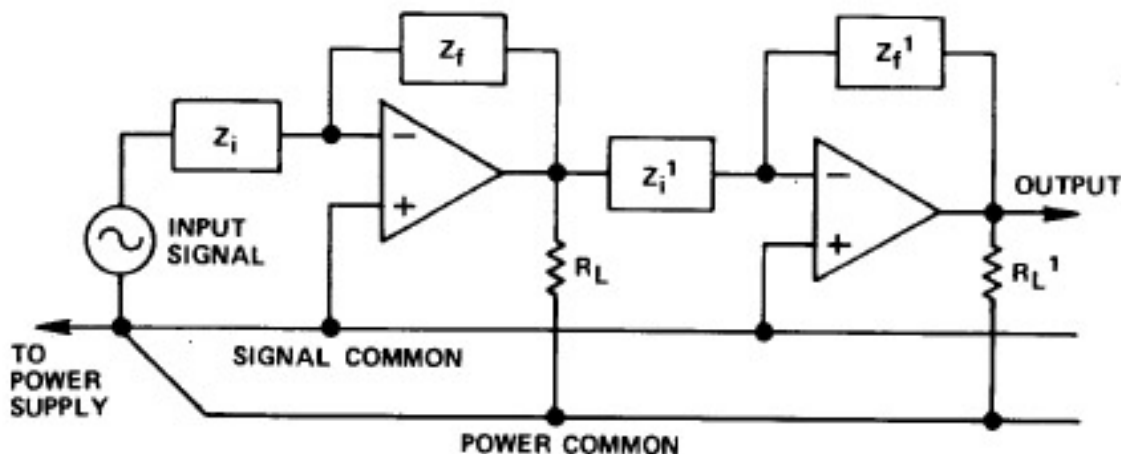


Ideální referenční spoj („zem“) mezi zdrojem signálu a dalšími obvody má nulový odpor. V praxi tomu tak není.



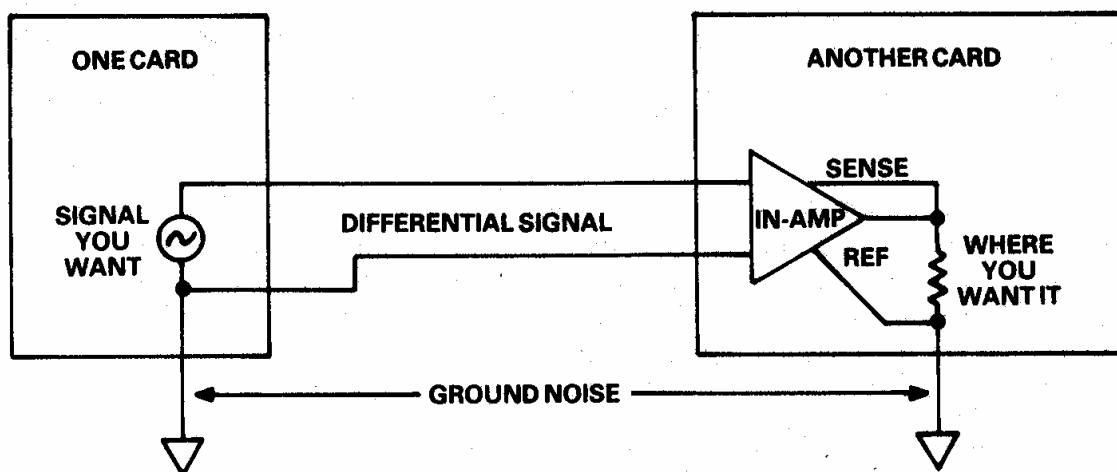
Proud, který teče jak signálovým vodičem, tak nazpět zemí způsobí na nenulových odporech vodičů úbytky napětí, které se přičtou / odečtou od měřeného napětí.

Galvanická vazba



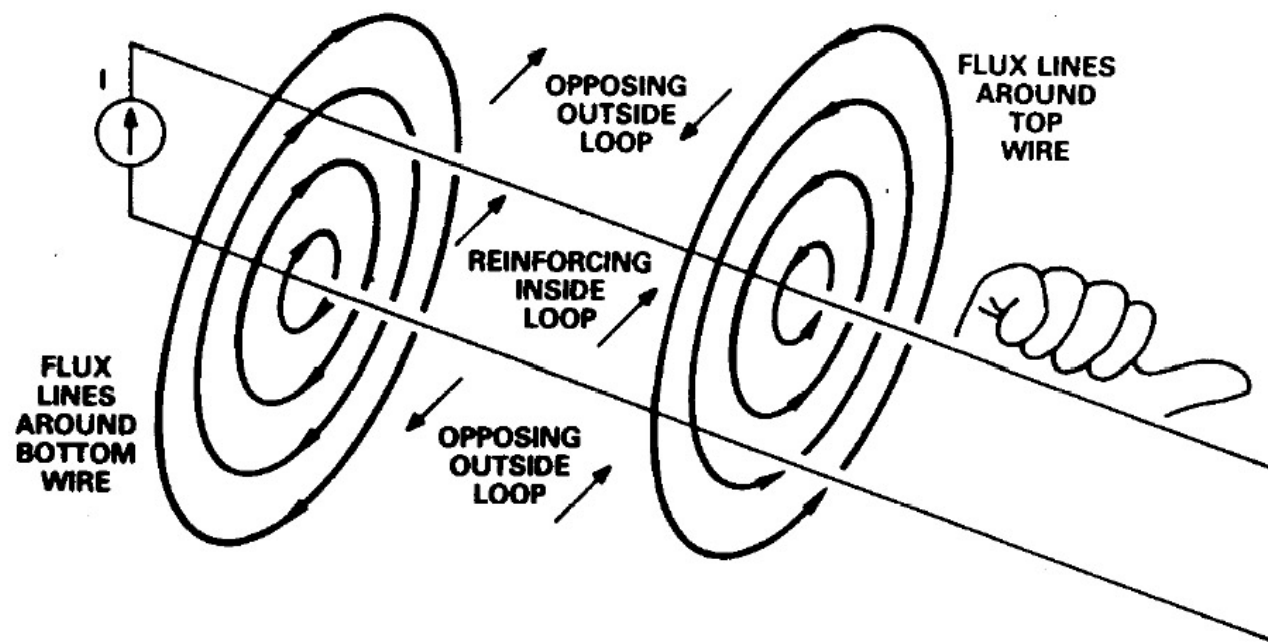
Navíc po zemním vodiči mezi zdrojem signálu a dalšími stupni tečou další proudy, především napájecí. Na odporu vodiče způsobí další napětí, které se přičte k signálu.

Řešení: oddělit napájecí a signálovou zem, jejich propojení by mělo být co nejblíže zdroje signálu.



Ještě lepší je diferenční připojení zdroje signálu, nezávislé na zemi, např. přístrojovým operačním zesilovačem. Rozdíl napětí mezi zemí zdroje signálu a zesilovače se odečte.

Indukční vazba



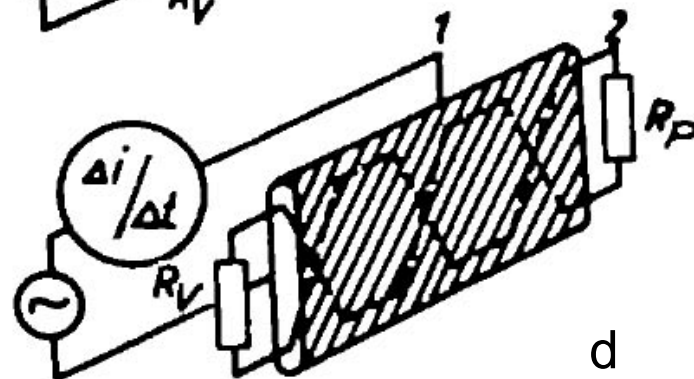
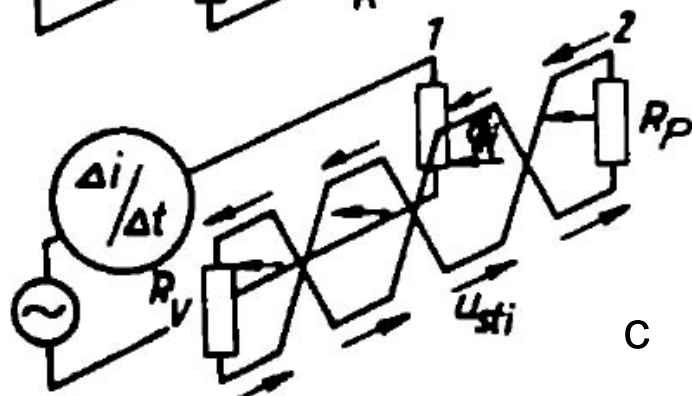
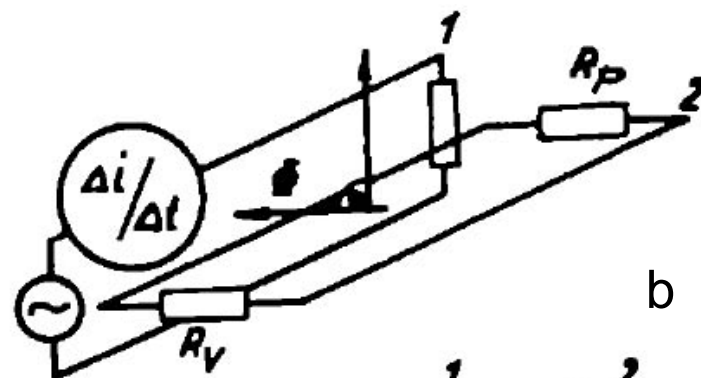
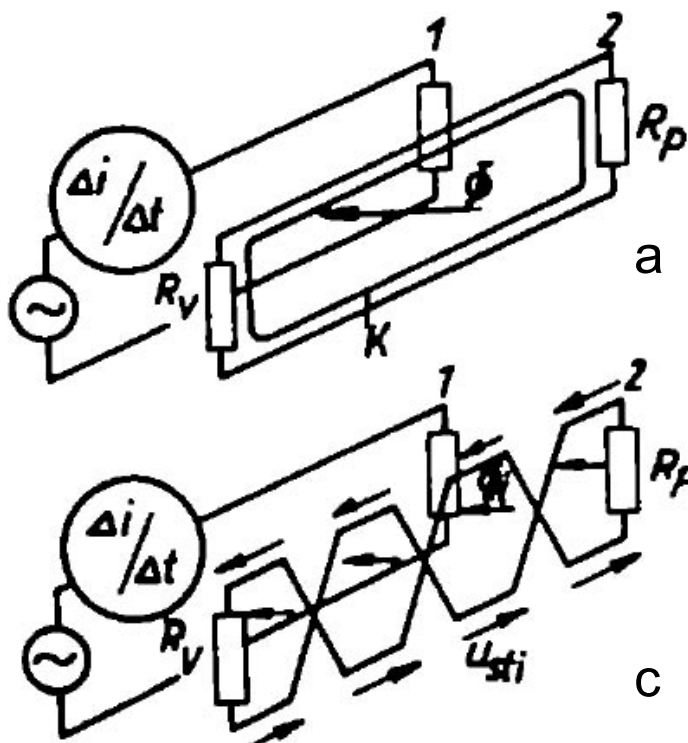
Střídavé magnetické pole indukuje ve vodivé smyčce proudy úměrné ploše smyčky. Zdrojem mag. pole je každý vodič střídavého proudu, především síťové vedení o kmitočtu 50 Hz.

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

kde S je plocha smyčky, v níž je rušivé napětí indukováno. Je-li magnetické pole vytvářeno průtokem proudu I vodičem přibližně kruhového průřezu, lze pro jeho intenzitu H ve vzdálenosti r podle Ampérova zákona celkového proudu psát

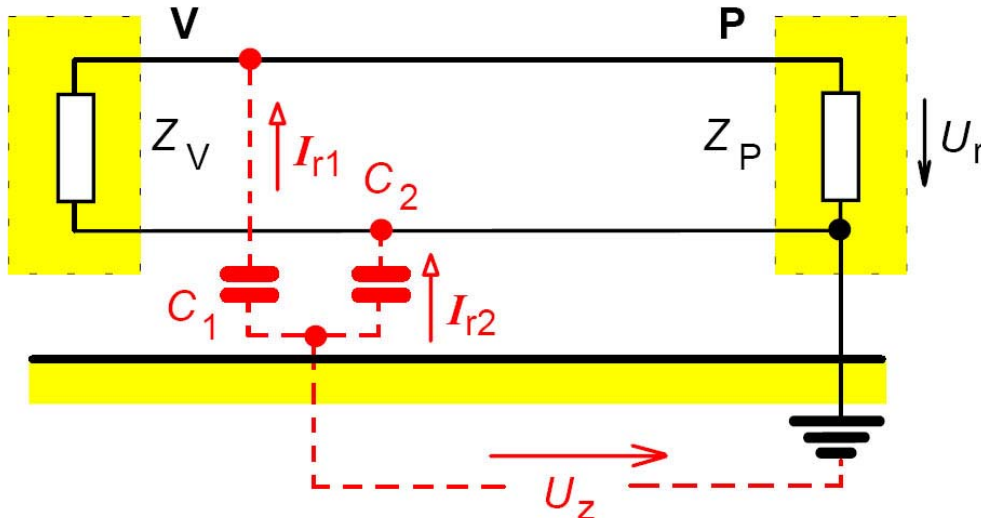
$$H = \frac{I}{2\pi r} , \quad \text{takže indukované rušivé napětí} \quad U_r \approx -\frac{\mu_0 S}{2\pi r} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} . \quad (3.4)$$

Indukční vazba a zemní smyčky

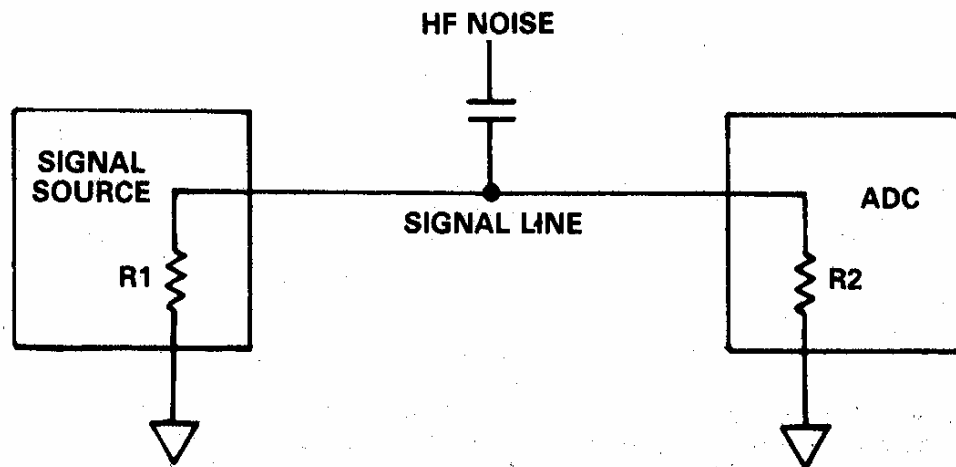


Indukční vazba mezi zdrojem střídavého magnetického pole a smyčkou je největší, jsou-li rovnoběžné (a). Zmenšení vazby je možné natočením smyček kolmo vůči sobě (b). Zkroucení vodičů smyčky zajistí, že se indukované proudy v dílčích smyčkách orientují obráceně a odečtou se (c). Přidáním magnetického stínění okolo vodičů dále zlepší potlačení rušení (d).

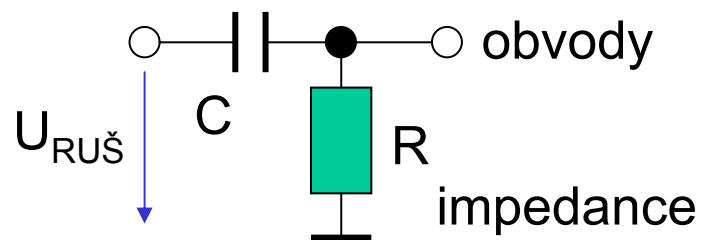
Kapacitní vazba



Vodiče v blízkosti signálových vodičů s nimi tvoří kondenzátor. Ten představuje další bránu rušení. Střídavá napětí na blízkých vodičích budí nabíjecí proudy tohoto kondenzátoru.



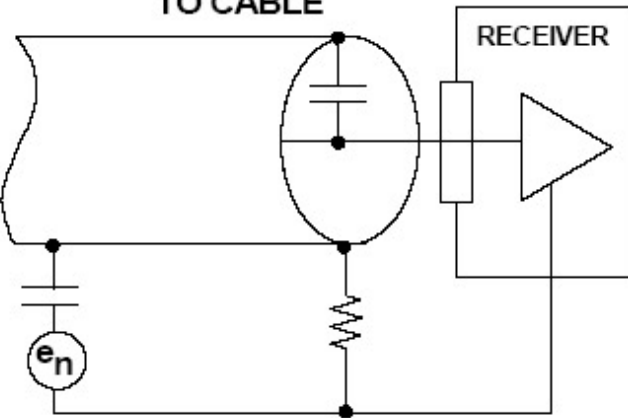
kap. vazba



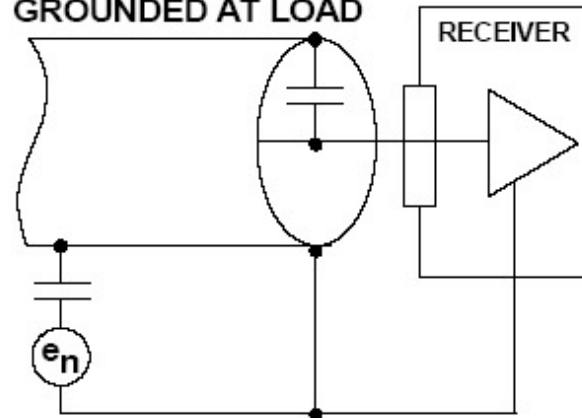
Pro velikost vazby je důležitá impedance (vnitřní odpor) zdroje signálu a vstupní odpor zesilovače. S nimi tvoří kapacitní vazba RC článek. Pro zmírnění rušení kapacitní vazbou je žádoucí mít impedanci co nejmenší.

Stínění

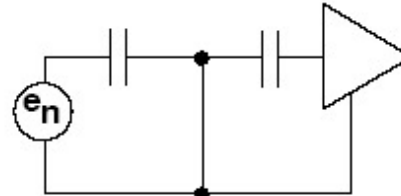
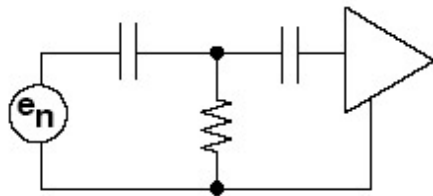
CAPACITIVE COUPLING
TO CABLE



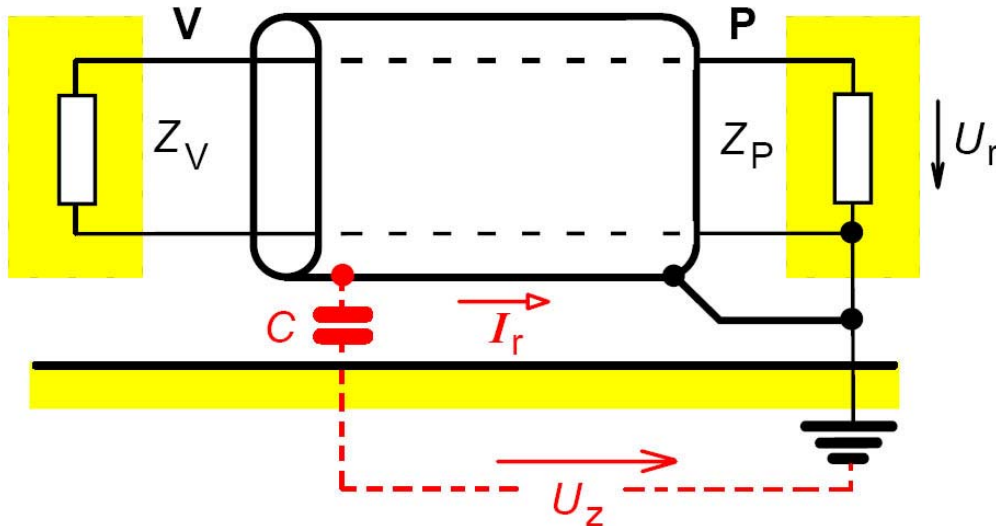
CABLE SHIELD
GROUNDED AT LOAD



EQUIVALENT
CIRCUITS



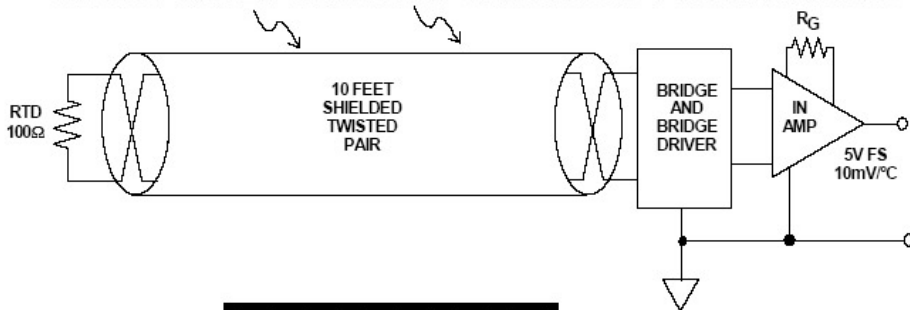
Účinnou ochranou proti kapacitní vazbě rušení je použití stíněných (koaxiálních) vodičů. Kapacitní vazba do stínění je svedena do země. Signálový vodič má kapacitu jen vůči stínění. Stínění chrání i proti vazbě vyzařováním.



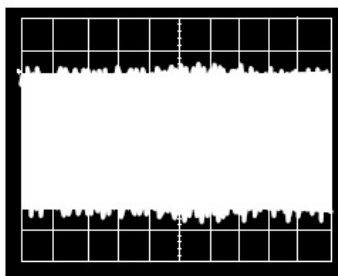
Ještě lepší je kombinace diferenčního vedení signálu, kde stínění není referenčním vodičem.

Uzemnění stínění

UNGROUNDING SHIELDED CABLES ACT AS ANTENNAS

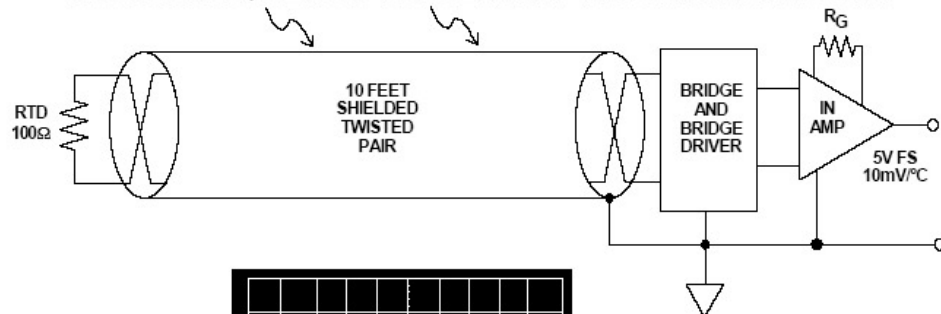


IN-AMP
OUTPUT

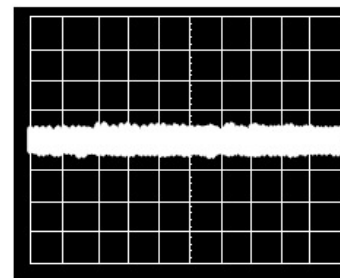


VERTICAL SCALE: 2mV/div
HORIZONTAL SCALE: 10ms/div

GROUNDING SHIELD AT RECEIVER END SHUNTS LOW- AND HIGH-FREQUENCY NOISE INTO RECEIVER GROUND

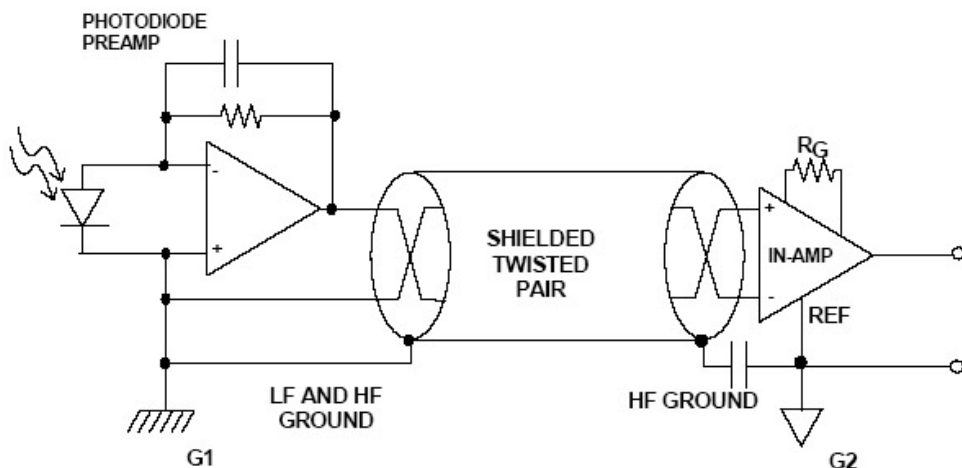


IN-AMP
OUTPUT



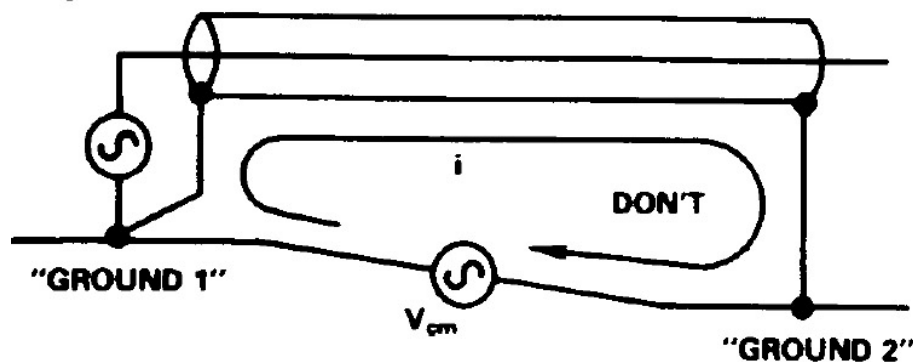
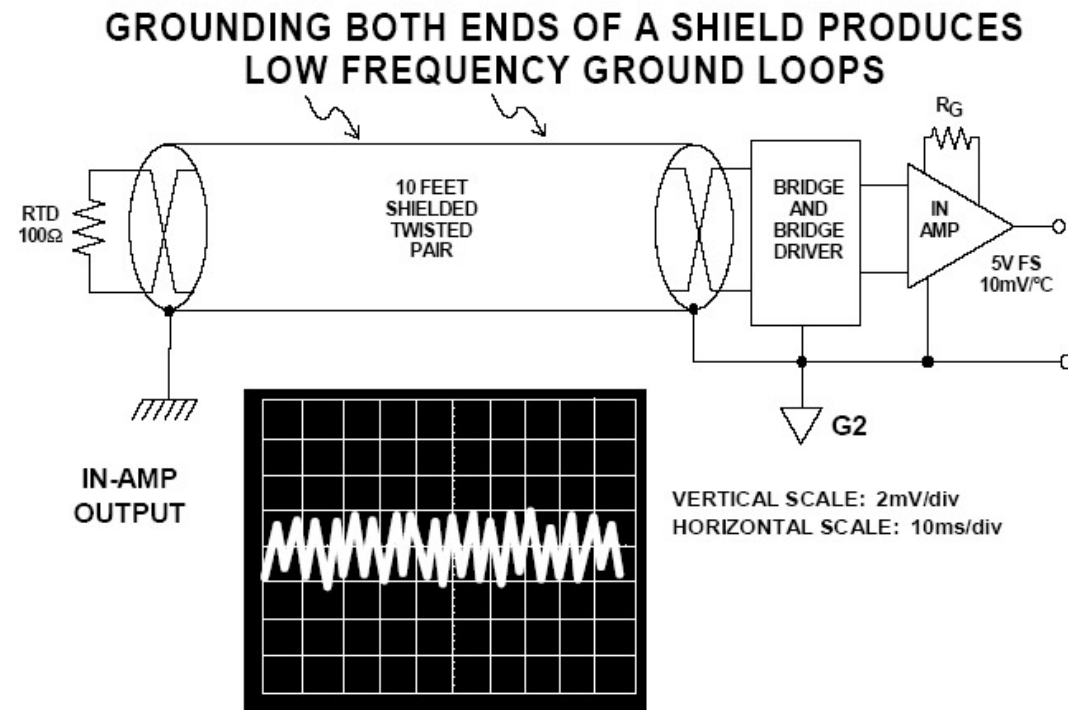
VERTICAL SCALE: 2mV/div
HORIZONTAL SCALE: 10ms/div

REMOTELY LOCATED HIGH IMPEDANCE
SENSOR WITH PREAMP



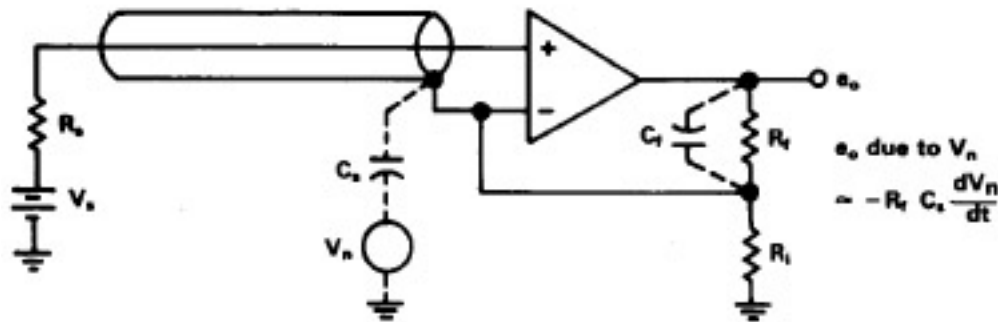
Stínění nepřipojené nikde k zemi se chová jako anténa a neplní svoji funkci. Je-li zdrojem signálu neuzemněný pasivní prvek (odpor), je vhodné uzemnit stínění u zesilovače. Aktivní zdroj signálu (se zesilovačem) by měl mít stínění uzemněné u sebe.

Stínění a zemní smyčky

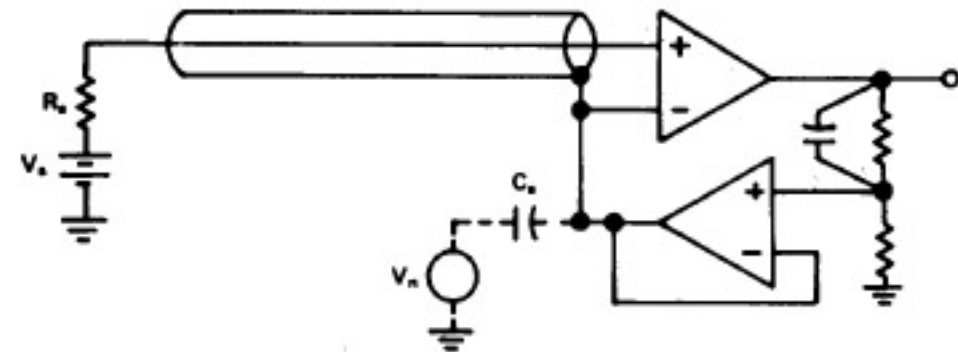


Velkou chybou je uzemnění stínění na dvou (nebo více) místech. Spolu se zemí vytváří stínící plášť signálového vodiče zemní smyčku, do které se může indukovat rušení indukční vazbou, nebo mohou stíněním téct proudy i přímou galvanickou vazbou.

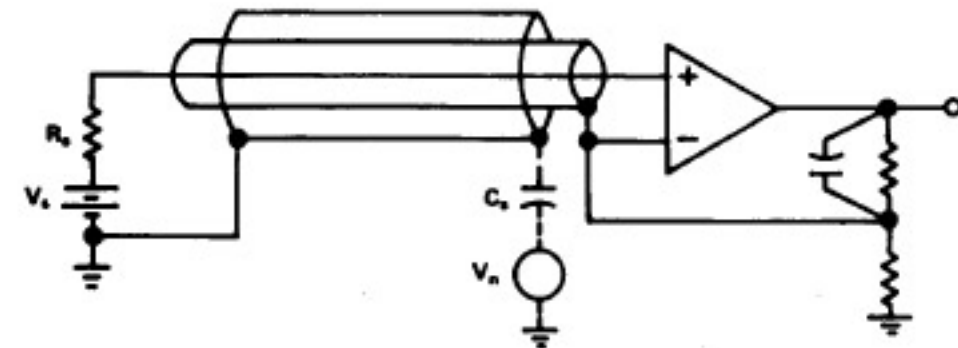
Aktivní stínění



Aktivní stínění je takové, které je udržováno na stejném napětí, jako je napětí na signálovém vodiči. Používá se u nízkofrekvenčních signálů a tehdy, když musí mít zdroj signálu i zesilovač velkou impedanci.



Napájení aktivního stínění je vhodné posílit pomocným zesilovačem.



Nejlepší ochranou je dvojité stínění, přičemž vnitřní stínící plášť je aktivní, napájený, vnější je pak v jednom bodě (u zdroje signálu) uzemněný.