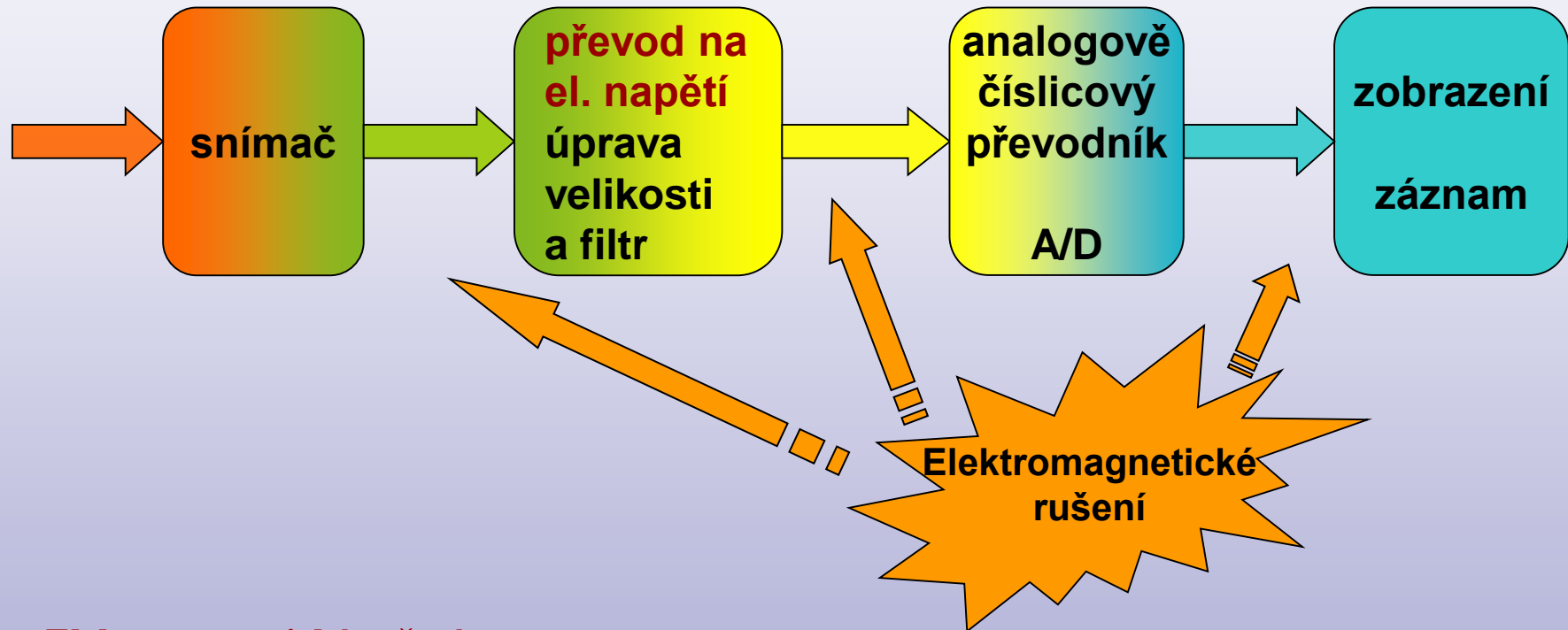


MĚŘICÍ ŘETĚZEC A ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENÍ



- 4.1. Princip a rozdělení elektromagnetického rušení
- 4.2. Vazební mechanismy přenosu rušení
- 4.3. Ochrana před elektromagnetickým rušením
- 4.4. Optimalizace zapojení děleného řetězce z hlediska omezení rušení

4.1. PRINCIP ELEKTROMAGNETICKÉHO RUŠENÍ



Elektromagnetické rušení:

- signál generovaný zdrojem rušení se přenáší prostřednictvím galvanické nebo elektromagnetické vazby do měřicího řetězce
- způsobí zkreslení (šum) na měřeném signálu

4.1. ROZDĚLENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO RUŠENÍ

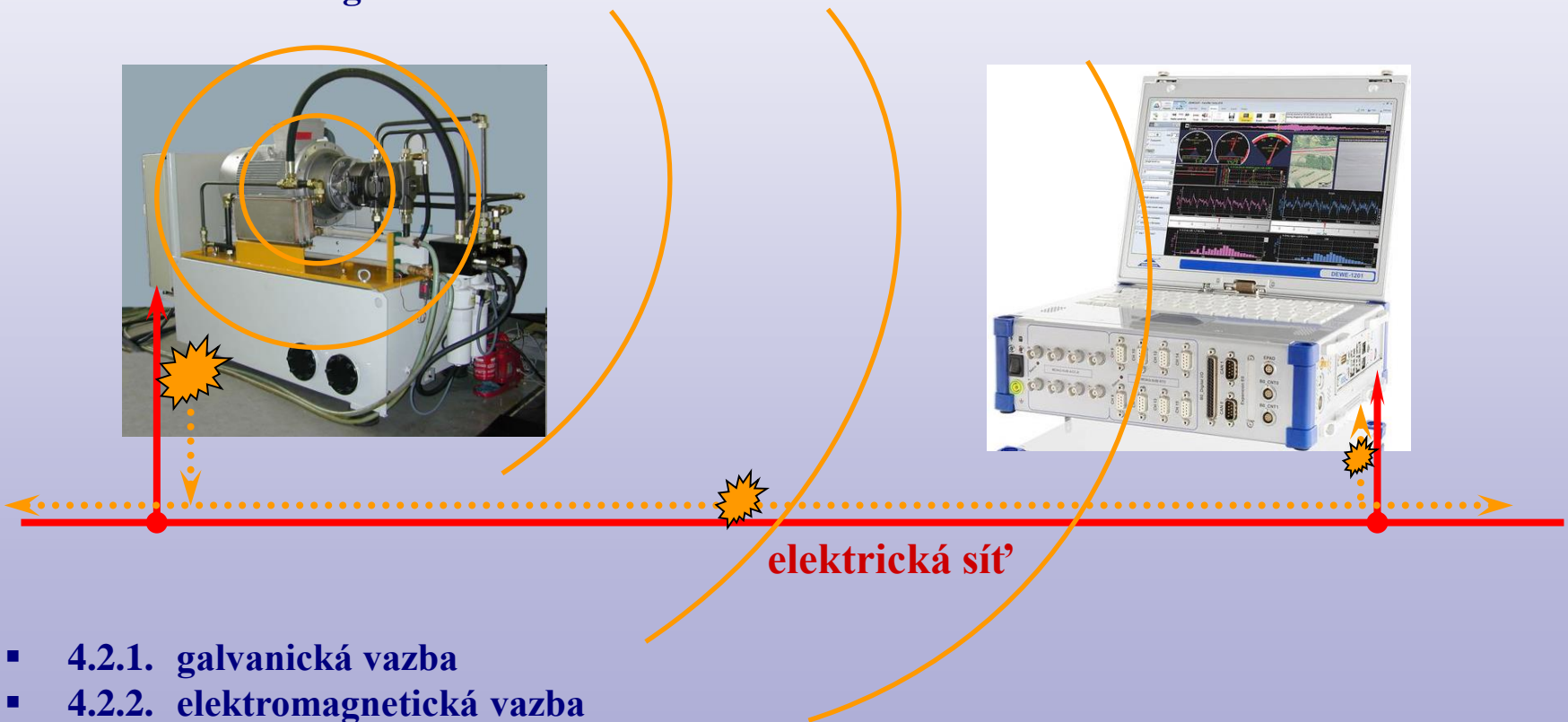
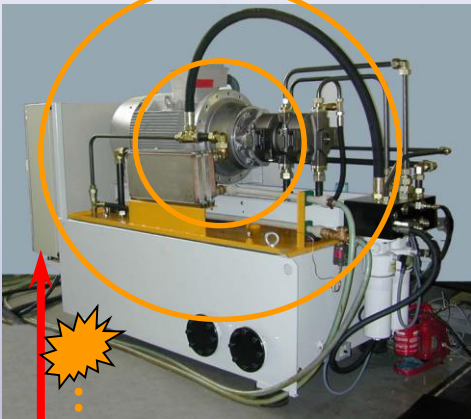
- **podle zdroje**
 - **přirozené:** bouřková činnost, sluneční aktivita
 - **umělé:** zdroje vzniklé lidskou činností
 - **funkční:** produkce signálu je smyslem jejich existence, ale pro jiná zařízení je jejich signál rušivý – vysílače, radiolokátory
 - **parazitní:** rušivý signál vytváří jako vedlejší produkt své činnosti motory, frekvenční měniče, spínané zdroje, stykače

- **podle charakteru signálu**
 - **spojité:** motory, vysílače
 - **impulzní:** sepnutí stykačů

- **podle frekvence**
 - **úzkopásmové:** síťový kmitočet 50Hz
 - **širokopásmové:** frekvenční měniče, spínané zdroje

4.2. VAZEBNÍ MECHANISMY PŘENOSU RUŠENÍ

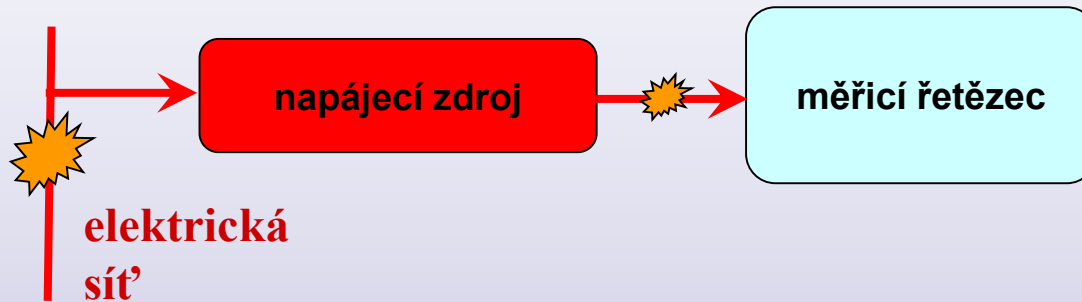
- od zdroje rušení se signál šíří
 - elektrickou rozvodnou sítí (galvanická vazba)
 - elektromagnetickou vazbou



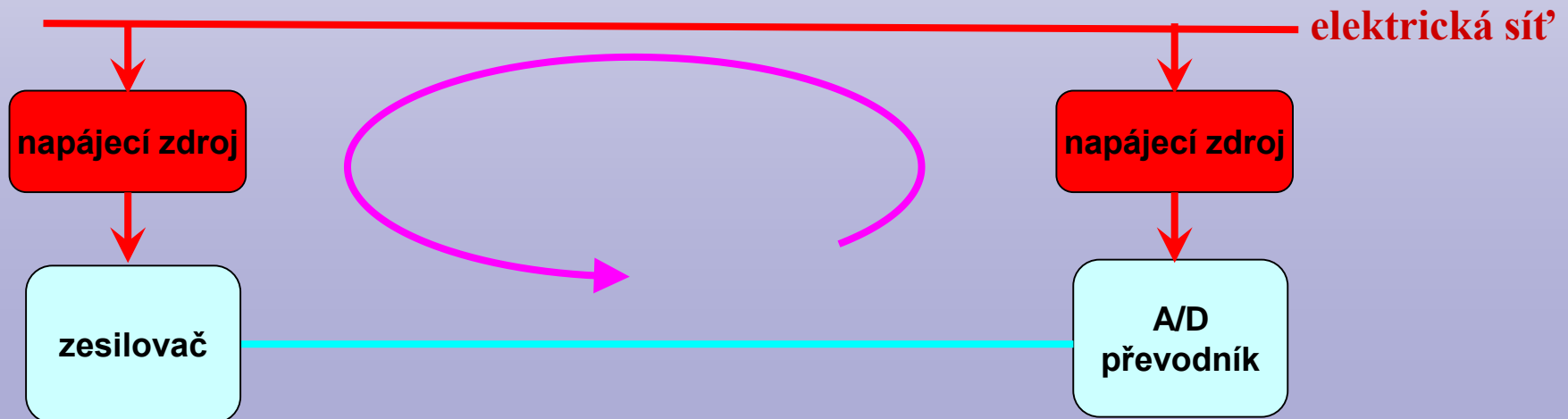
- 4.2.1. galvanická vazba
- 4.2.2. elektromagnetická vazba

4.2.1. GALVANICKÁ VAZBA

- rušení se od zdrojů šíří elektrickou sítí a z ní pronikne do měřicího řetězce přes napájecí zdroj

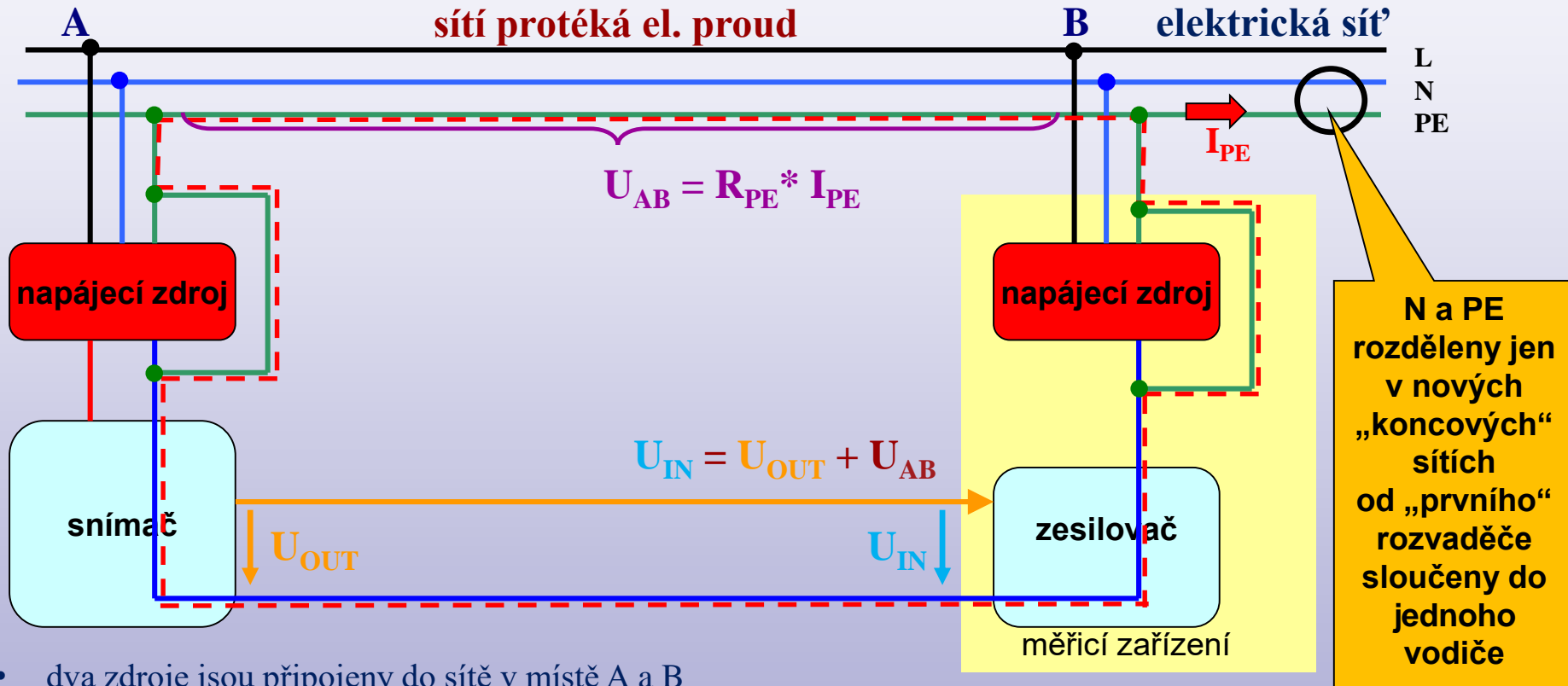


- při děleném řetězci s více napájecími zdroji nebo více uzemňovacími body může dále vzniknout **zemní smyčka**



4.2.1. GALVANICKÁ VAZBA

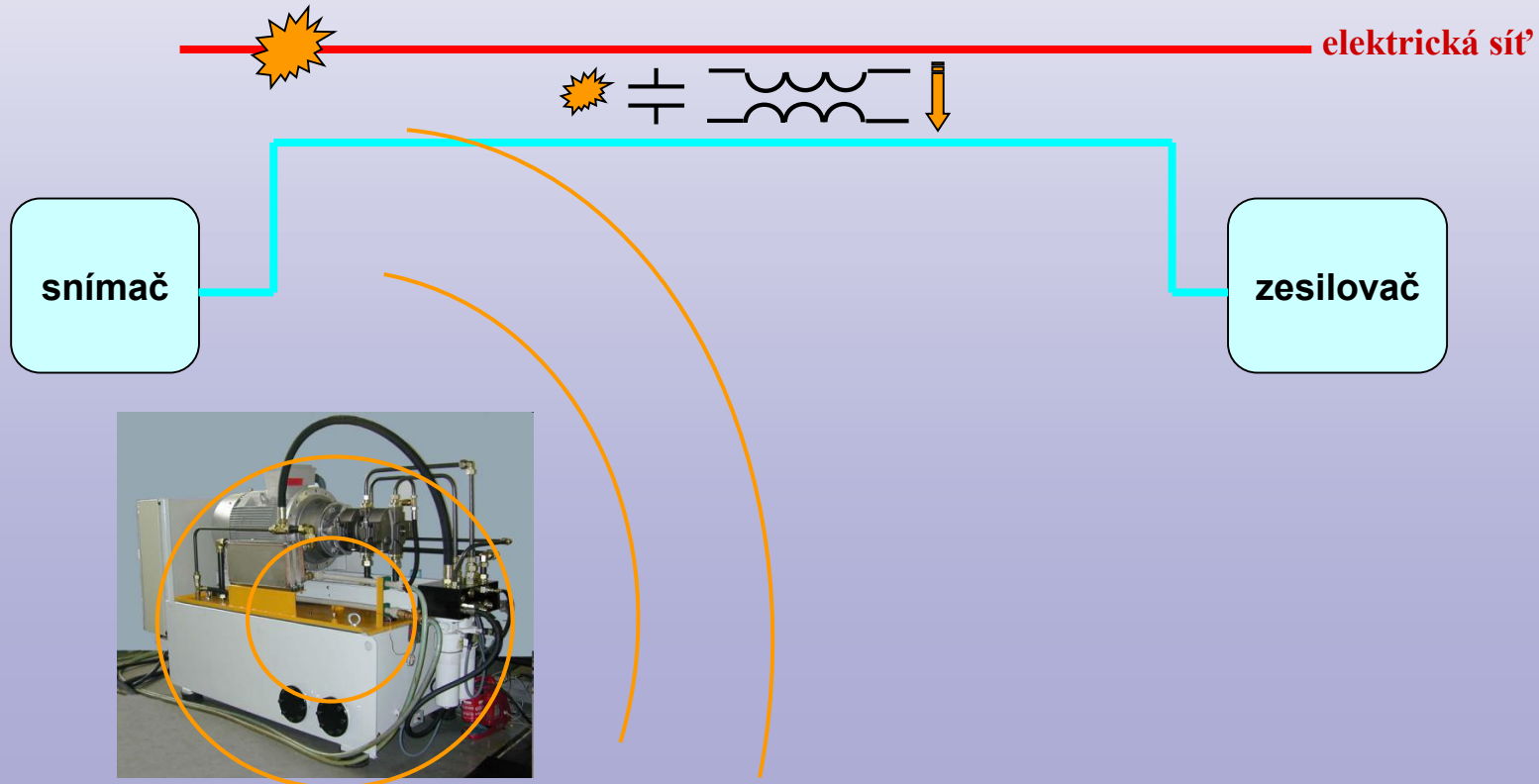
- zemní smyčka



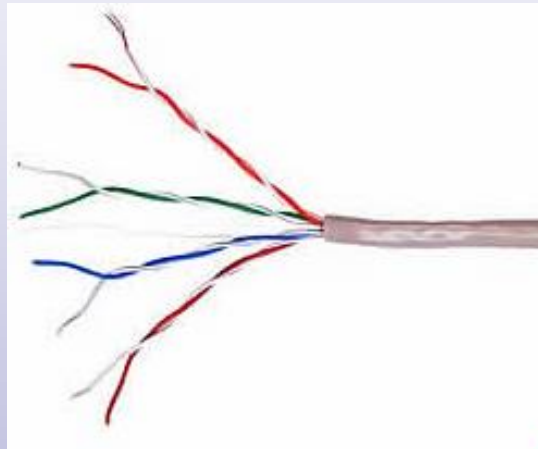
- dva zdroje jsou připojeny do sítě v místě A a B
- oddělené části měřicího zařízení jsou propojeny dvěma vodiči (signál a zem) a zem je z bezpečnostních důvodů propojena na PE vodič sítě v obou zdrojích
- vodičem PE protéká proud I_{PE} a protože vodič má odpor R_{PE} , vznikne na něm mezi body A a B napětí U_{AB}
- U_{AB} se přičítá k signálu snímače U_{OUT} , měřený signál U_{IN} je tedy jiný než signál senzoru U_{OUT}
- proud I_{PE} a tím i U_{AB} jsou velmi proměnné v čase a parazitické napětí U_{AB} se na měřeném signálu projeví jako šum, který je časově proměnný a může být i velmi silný

4.2.2. ELEKTROMAGNETICKÁ VAZBA

- **kapacitní vazba**
- **induktivní vazba**
 - každé dva paralelní vodiče mají mezi sebou kapacitní a induktivní vazbu
- **vyzařované elektromagnetické pole**
 - zdroj rušení vyzařuje elektromagnetické pole a každý vodič tvoří přijímací „anténu“



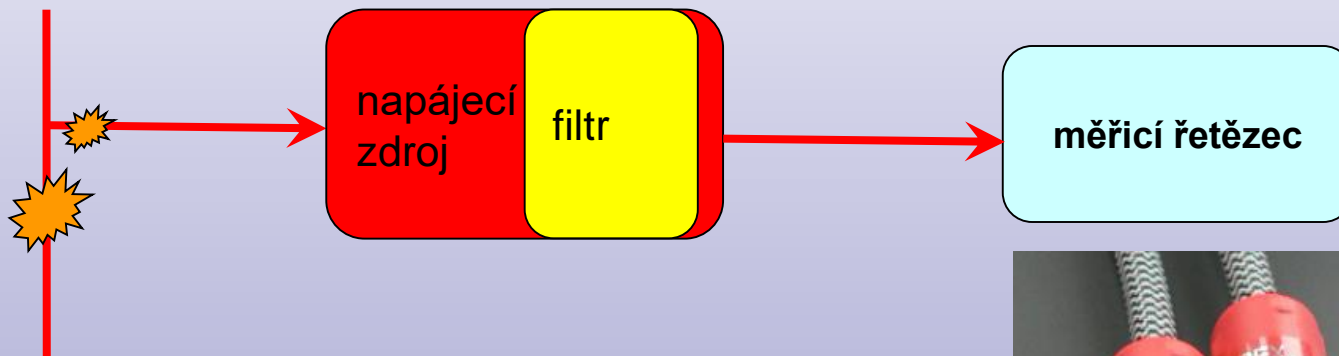
4.3. OCHRANA PROTI ELEKTROMAGNETICKÉMU RUŠENÍ



- 4.3.1. ochrana proti přenosu rušení přes napájecí zdroj
- 4.3.2. ochrana proti přenosu rušení zemní smyčkou
- 4.3.3. ochrana proti přenosu kapacitní a indukční vazbou
- 4.3.4. ochrana proti rušení elektromagnetickým polem

4.3.1. OCHRANA PROTI PŘENOSU RUŠENÍ PŘES NAPÁJECÍ ZDROJ

- **mezi napájecí zdroj a měřicí řetězec se vloží odrušovací člen**
 - zabraňuje průniku rušení do měřicího řetězce
 - tvoří ho
 - pasivní součástky – kondenzátory, cívky
 - feritové kroužky na kabelu
 - často je přímo vestavěn v napájecím zdroji

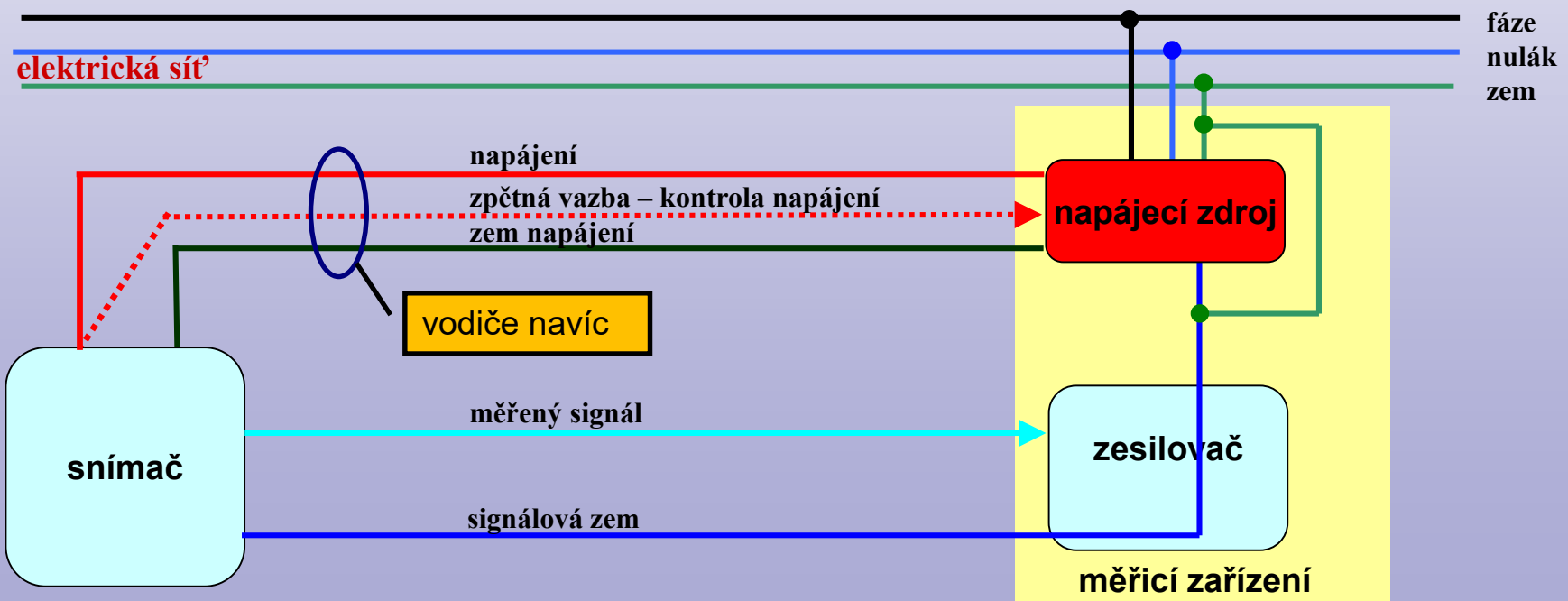


- vzhledem k širokému pásmu rušivých frekvencí nikdy nemůže filtr bránit průchodu rušení na 100%
- přesto nenahrazujte originální zdroj měřicího zařízení levnou náhradou, která nemusí mít žádný filtr



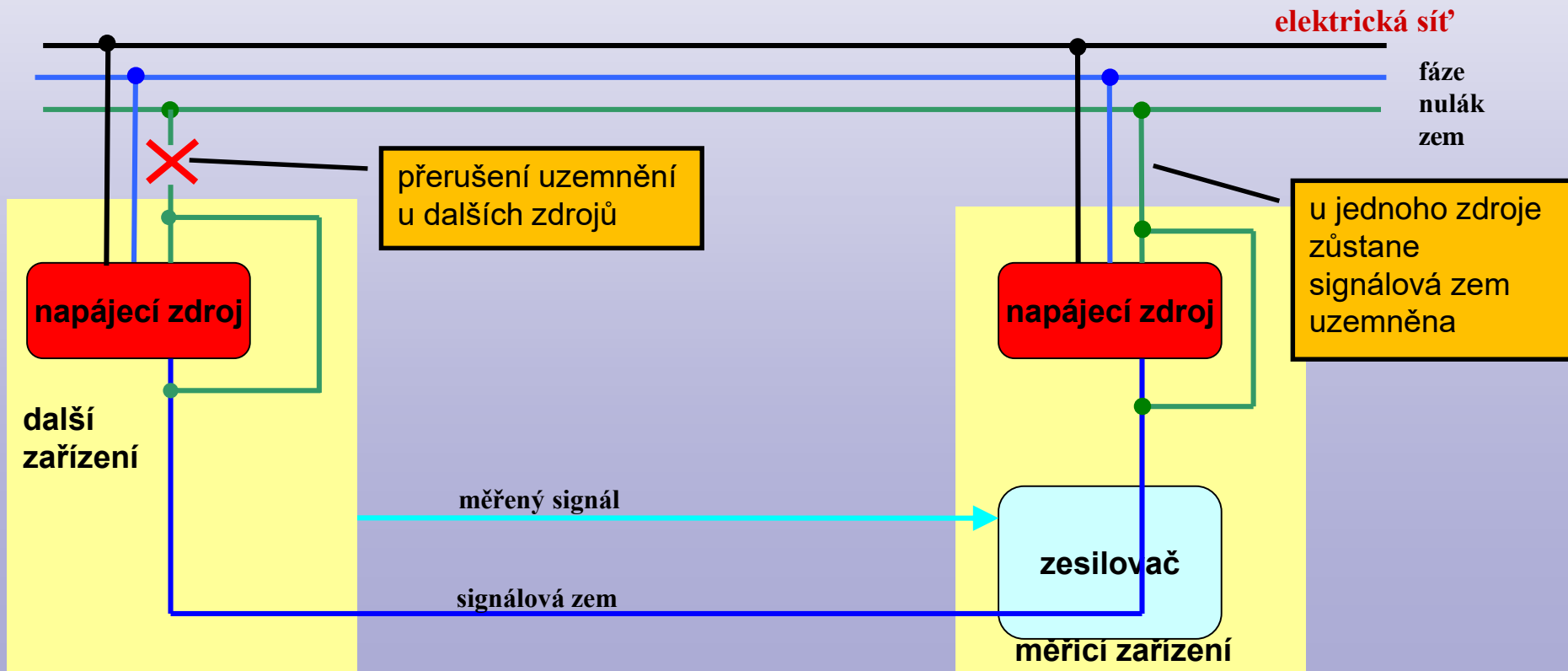
4.3.2. OCHRANA PROTI PŘENOSU RUŠENÍ ZEMNÍ SMYČKOU

- napájení z jednoho místa - jednoho zdroje
- **výhoda**
 - jednoduchost
- **nevýhody**
 - další propojovací vodiče navíc
 - při delších vodičích může docházet k úbytku napětí – skutečné napájecí napětí prvku je nižší než u zdroje, u přesných aplikací nutné zavést zpětnou vazbu pro kontrolu napájení



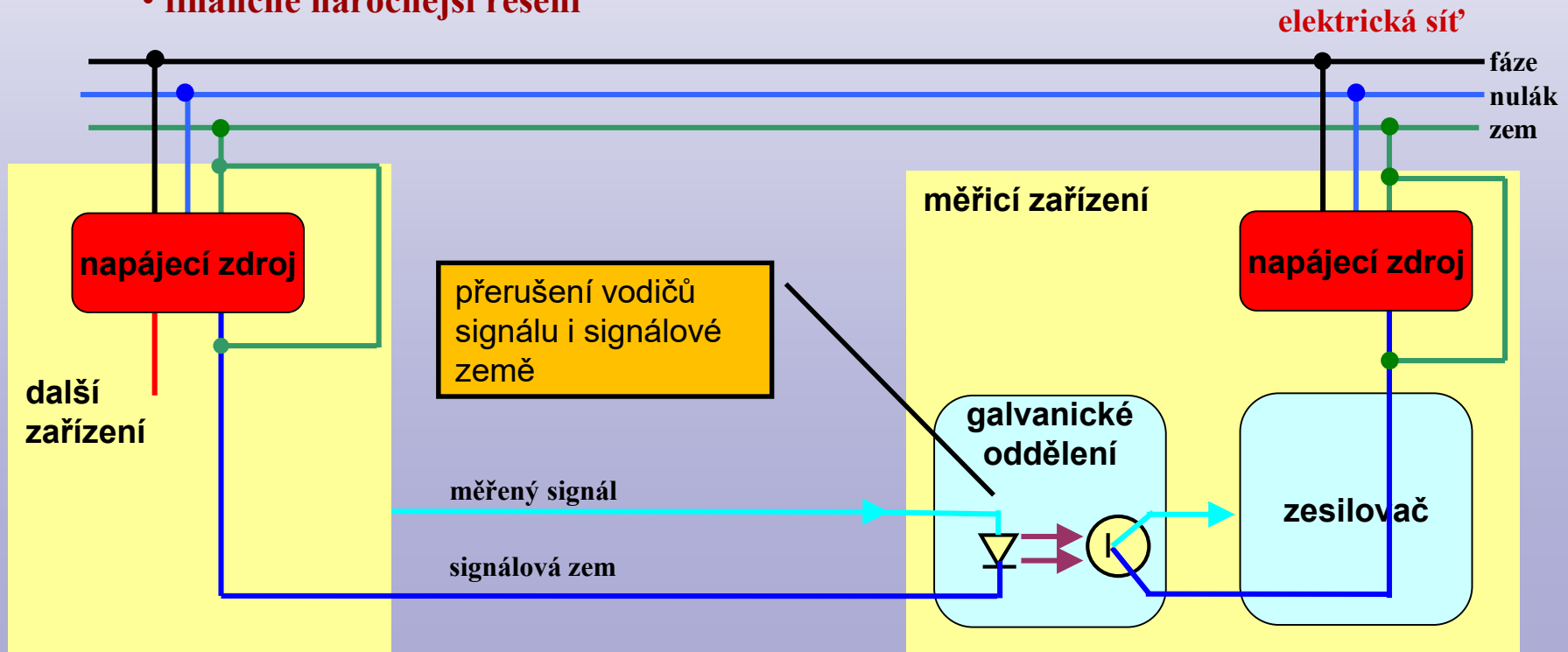
4.3.2. OCHRANA PROTI PŘENOSU RUŠENÍ ZEMNÍ SMYČKOU

- **napájení z více míst, z více zdrojů**
 - je třeba vyvarovat se spojení měřicí země se zemí elektrické sítě ve více místech
- **výhoda**
 - nepotřebuje žádné další prostředky
- **nevýhody**
 - obtížně realizovatelné, v rozporu s bezpečnostními předpisy



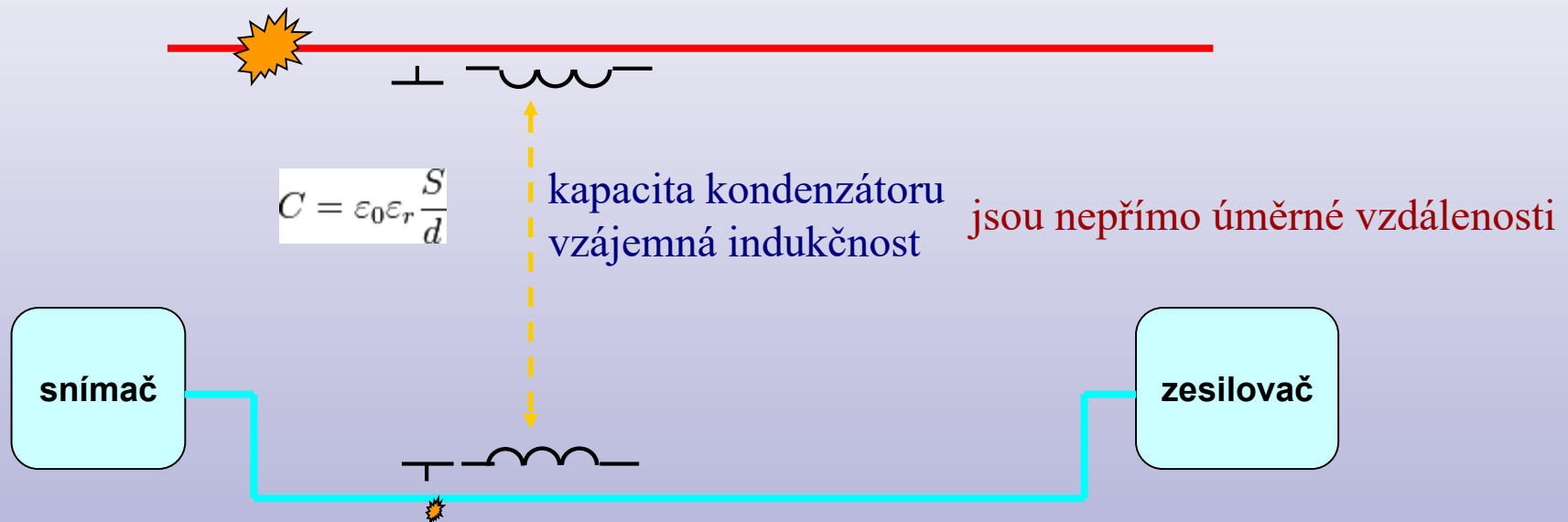
4.3.2. OCHRANA PROTI PŘENOSU RUŠENÍ ZEMNÍ SMYČKOU

- galvanické oddělení jednotlivých částí řetězce při napájení z více míst
 - mezi prvky řetězce se zařadí speciální člen – galvanický oddělovač
 - přeruší galvanické spojení země v signálové cestě (optický nebo elektromagnetický princip)
 - často bývá součástí vstupních obvodů zesilovače
- **výhoda**
 - optimální z hlediska propojovacích vodičů a bez „zásahů“ do uzemnění
- **nevýhoda**
 - finančně náročnější řešení



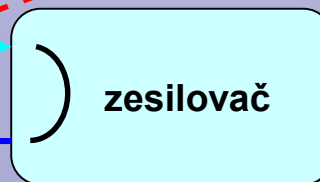
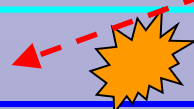
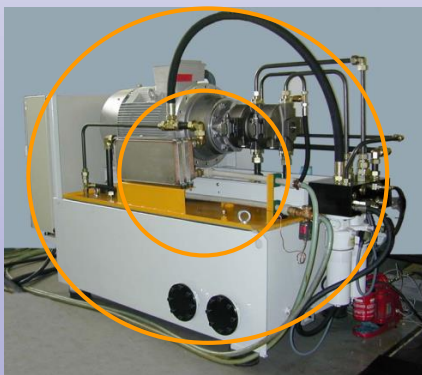
4.3.3. OCHRANA PŘED RUŠENÍM KAPACITNÍ A INDUKČNÍ VAZBOU

- prostorově oddělit silovou a měřicí kabeláž



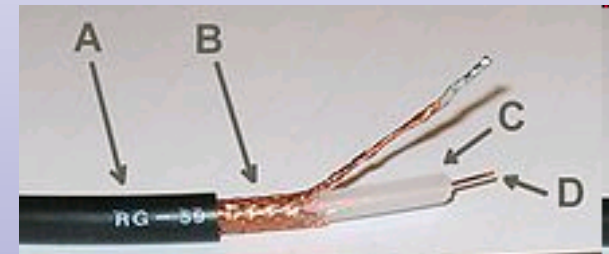
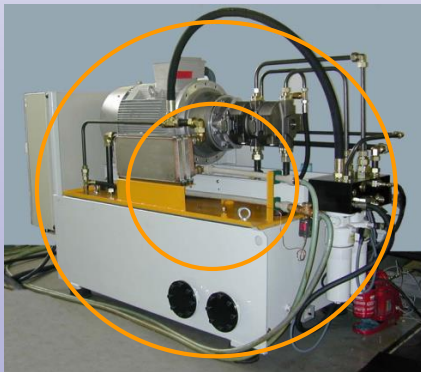
4.3.4. OCHRANA PŘED RUŠENÍM ELEKTROMAGNETICKÝM POLEM

- prvky děleného řetězce jsou propojeny vždy minimálně dvěma vodiči
 - paralelně vedené vodiče spolu se výstupními a vstupními obvody tvoří smyčku, což je ideální anténa – silný „příjem“ rušení
- možná ochrana:
 - „zrušit“ smyčku tvořenou vodiči = koaxiální kabel nebo kroucený pár
 - zamezit přístupu elektromagnetického pole k vodičům = stínění



4.3.4. OCHRANA PŘED RUŠENÍM ELEKTROMAGNETICKÝM POLEM

- **koaxiální kabel**
 - dva soustředné vodiče oddělené izolantem netvoří smyčku
- **výhoda**
 - **velká odolnost proti rušení**
- **nevýhoda**
 - **poměrně drahý**
 - **ze své podstaty je „dvoužilový“, tj. při více signálech je pro každý signál nutný samostatný kabel**

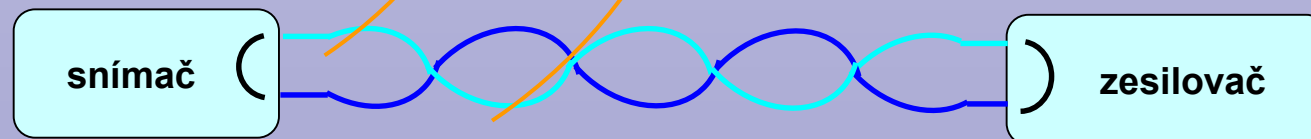
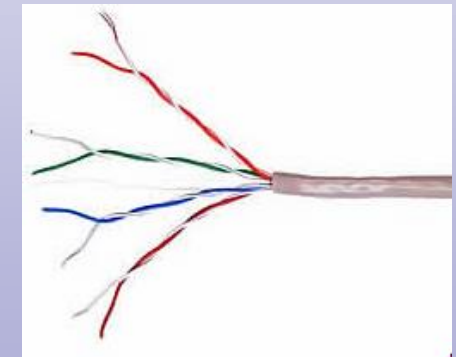
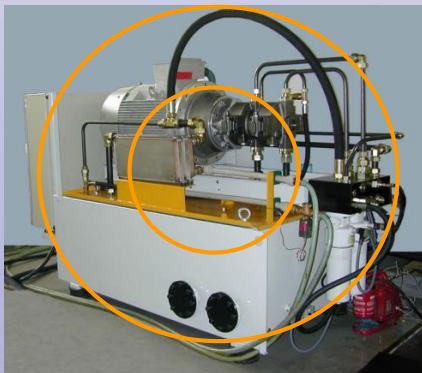


A - Plášť
B - Vodivé opletení
C - Dielektrikum
D - Vnitřní vodič



4.3.4. OCHRANA PŘED RUŠENÍM ELEKTROMAGNETICKÝM POLEM

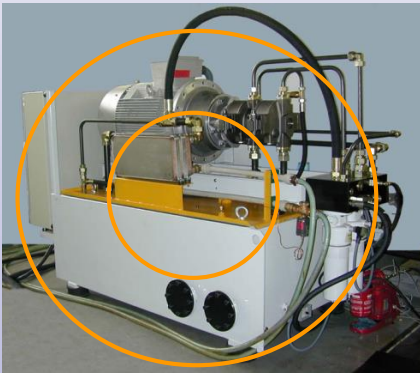
- **kroucený pár** v současnosti hodně používané řešení
 - série malých smyček vzájemně otočených o 180°
 - rušení, které se v jedné smyčce „přičte“, se v následující „odečte“
- **výhody**
 - levný
 - více párů v jednom kabelu
- **nevýhoda**
 - menší odolnost proti rušení než koaxiální kabel (vzhledem k nehomogennímu elektromagnetickému poli rušení neplatí stoprocentně „co se přičte se odečte“)



4.3.4. OCHRANA PŘED RUŠENÍM ELEKTROMAGNETICKÝM POLEM

▪ stínění

- princip Faradayovy klece
- celé měřicí zařízení je „obaleno“ vodivou vrstvou, která „nepustí“ elektromagnetické vlnění k zařízení uvnitř
- potřeba odvádět indukované napětí ze stínění = nutnost stínění uzemnit



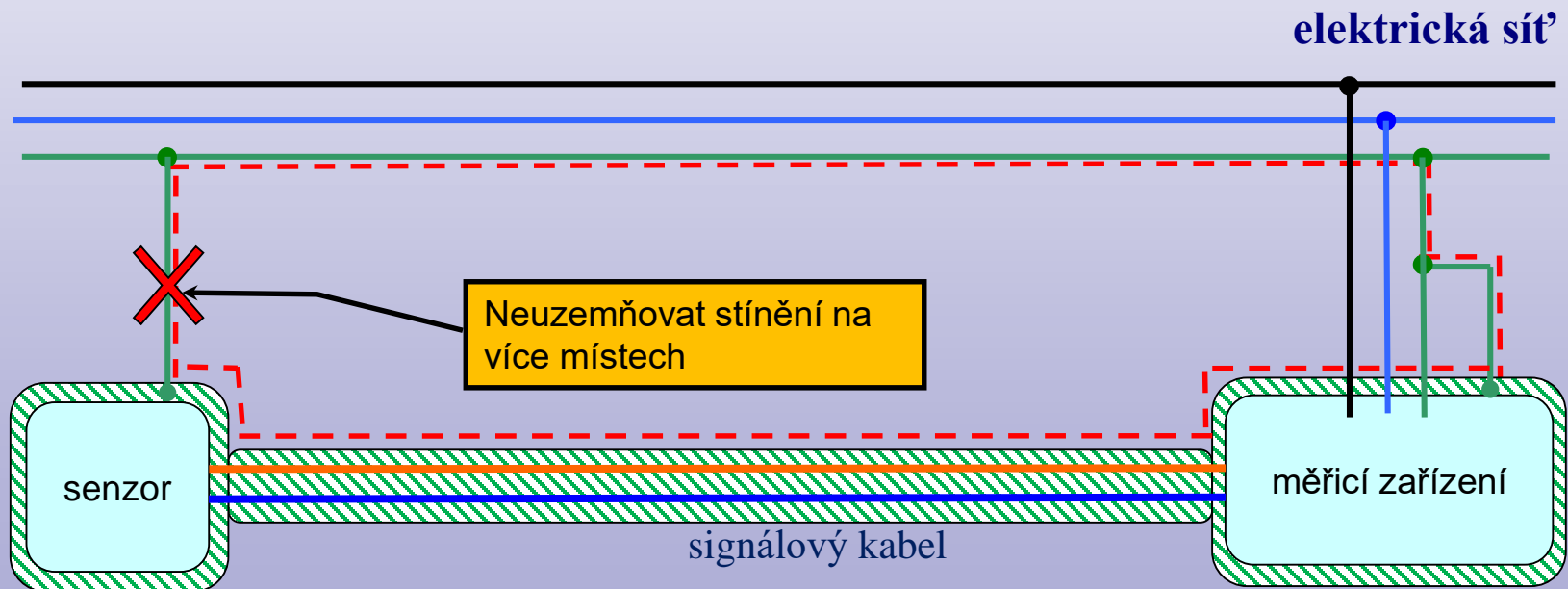
FARADAYOVA KLEC

Její princip je založen na tom, že elektrický náboj je soustředěn pouze na povrchu vodiče, nikoli v jeho objemu.



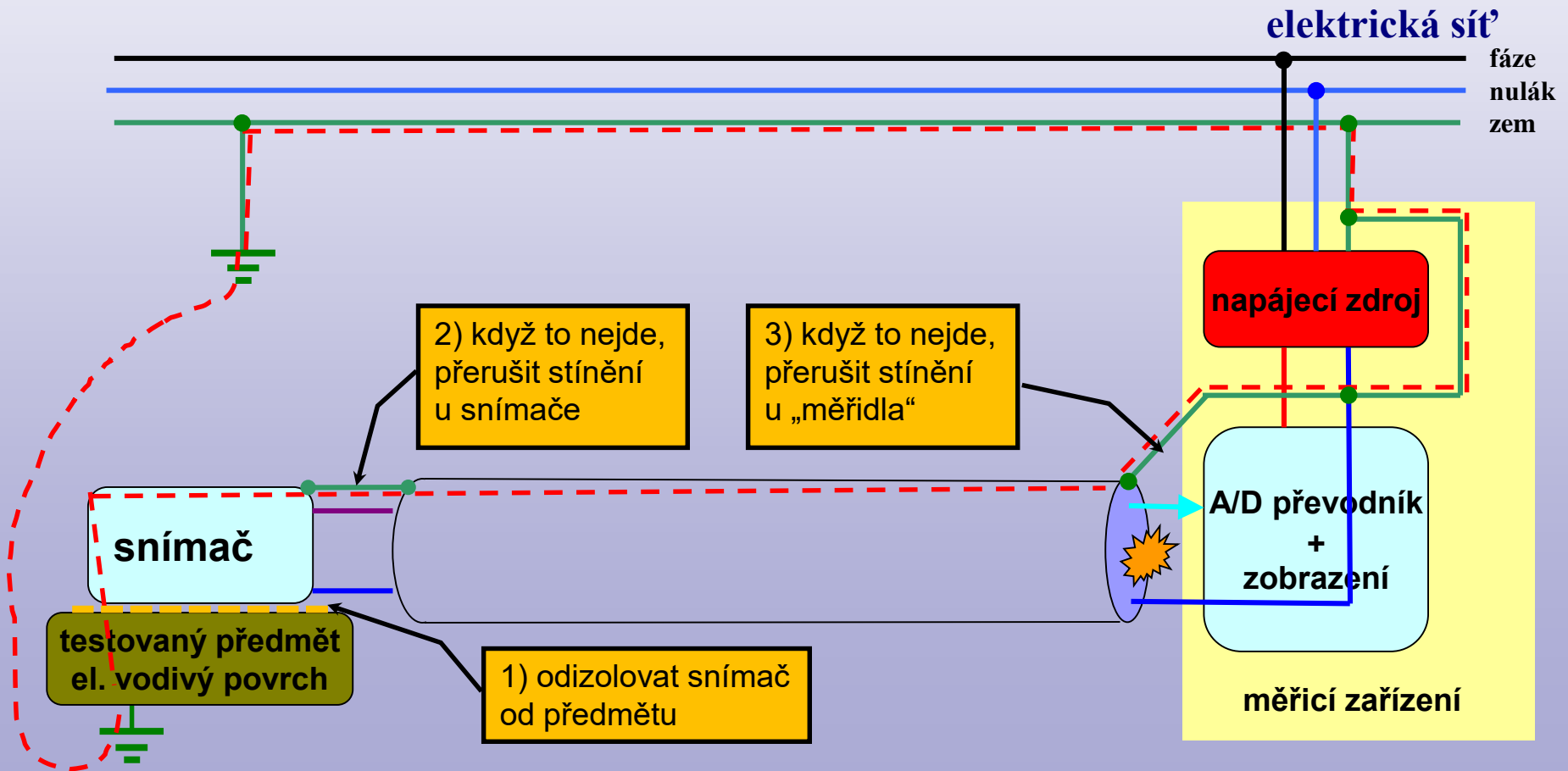
4.3.4. OCHRANA PŘED RUŠENÍM ELEKTROMAGNETICKÝM POLEM

- **POZOR na uzavření zemní smyčky přes stínění !!!**
 - stíněním protéká proud zemní smyčky a indukční a kapacitní vazbou se přenáší rušení do vnitřních vodičů
 - je bezpodmínečně nutné stínění uzemnit jen v jednom bodě !!!!



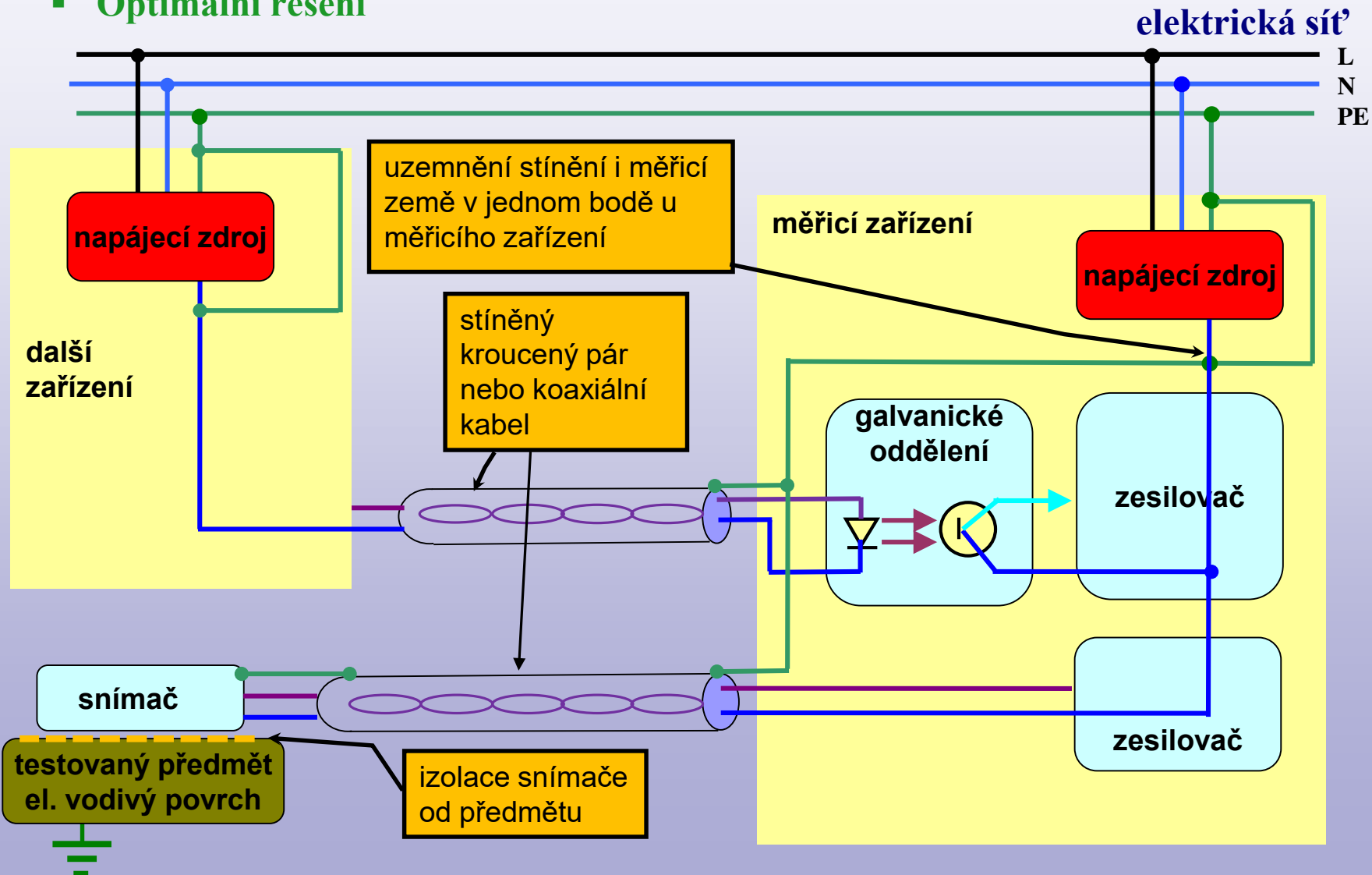
4.3.4. OCHRANA PŘED RUŠENÍM ELEKTROMAGNETICKÝM POLEM

- **„základní zemní smyčka přes pouzdro snímače !!!**
 - výrobce „velmi rád“ spojuje stínění kabelu s vodivým pouzdem snímače
 - umístění snímače na vodivý uzemněný testovaný předmět vytvoří zemní smyčku
 - je bezpodmínečně nutné stínění uzemnit jen v jednom bodě !!!!



4.3.4. OCHRANA PŘED RUŠENÍM ELEKTROMAGNETICKÝM POLEM

Optimální řešení



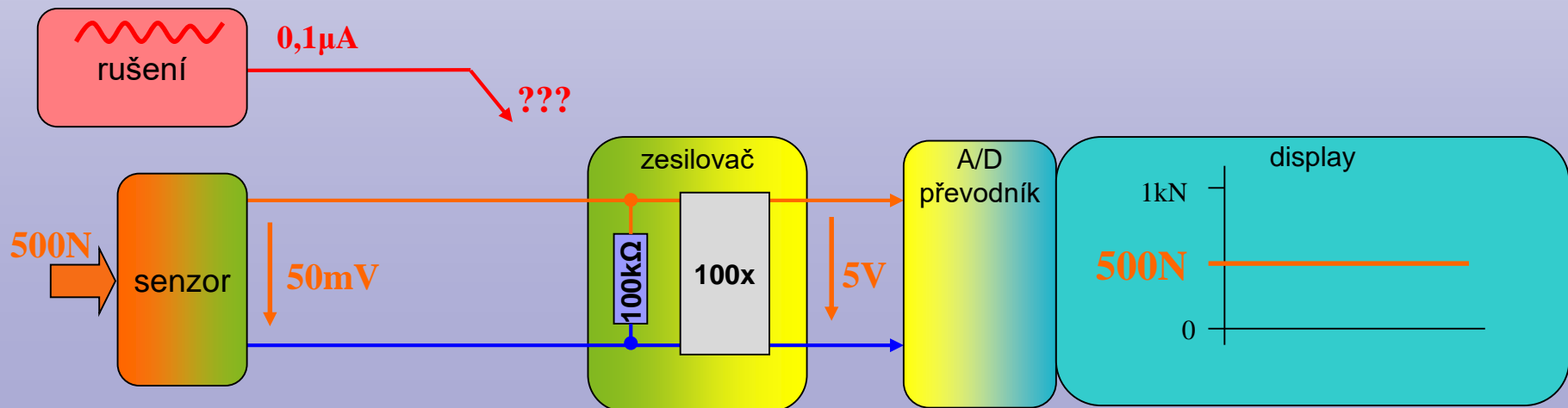
4.4. PŘÍKLADY OVLIVNĚNÍ SIGNÁLU RUŠENÍM PRO RŮZNÉ VARIANTY DĚLĚNÉHO MĚŘICÍHO ŘETĚZCE

Identické vstupní ředpoklady pro všechny varianty:

všechny dále uvedené hodnoty jsou jen ilustrační, v realitě mohou být odlišné!

- snímač síly s rozsahem 0-1kN dává výstupní signál 0-100mV
- A/D převodník má vstupní rozsah 0-10V, signál snímače musí být zesílen 100x aby rozsah převodníku byl využit
- zesilovač má vstupní odpor 100kΩ

- snímač je zatížen silou 500N, jeho výstupní signál je tedy **50mV**
- **rušení vstupuje do propojovacího kabelu**
 - lze si ho představit jako zdroj parazitního střídavého proudu s amplitudou např. 0,1 μA, který se přičítá k signálu ze snímače

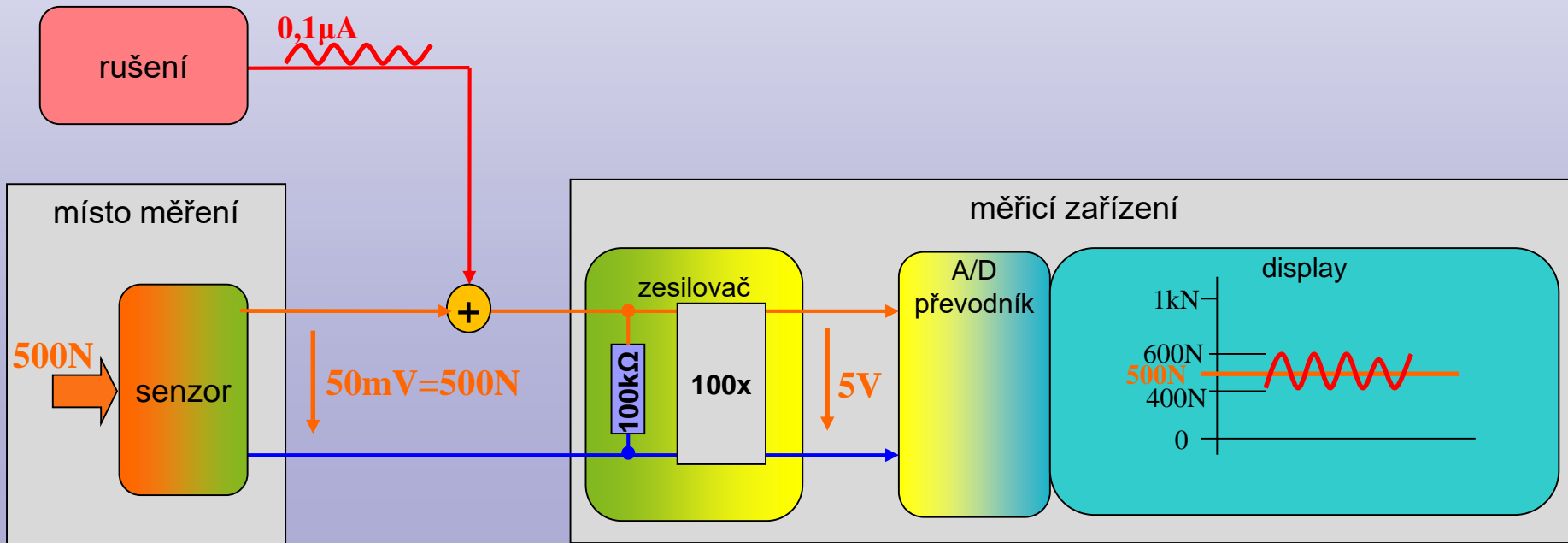


4.4. PŘÍKLADY OVLIVNĚNÍ SIGNÁLU RUŠENÍM PRO RŮZNÉ VARIANTY DĚLĚNÉHO MĚŘICÍHO ŘETĚZCE

Samostatný snímač:

Nejhorší varianta, protože rušení je zesíleno 100x společně se signálem snímače

- parazitní AC proud s amplitudou $0.1\mu\text{A}$ na vstupním odporu $100\text{k}\Omega$ vytvoří AC napětí s amplitudou 0.01V ($R \times I$)
- po zesílení 100x je amplituda šumu **1V**
- to je 10% rozsahu, tedy 100N
- místo hodnoty 500N, display ukazuje kmitající průběh v rozsahu 400N až 600N !!

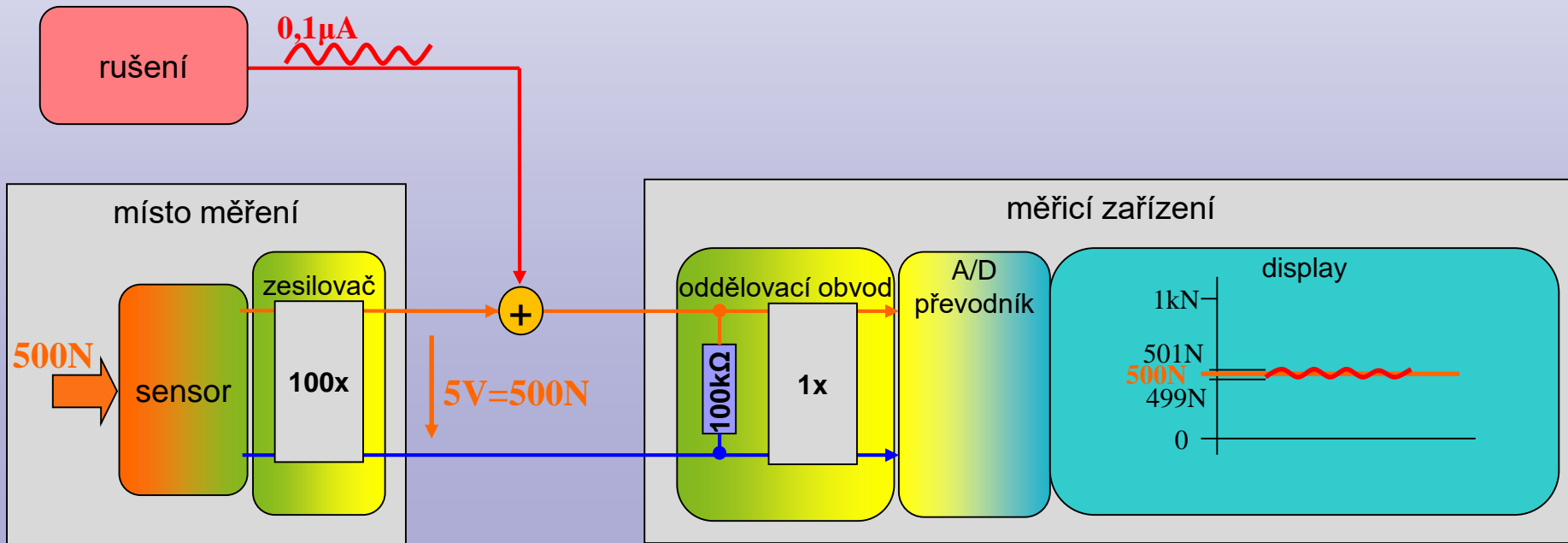


4.4. PŘÍKLADY OVLIVNĚNÍ SIGNÁLU RUŠENÍM PRO RŮZNÉ VARIANTY DĚLĚNÉHO MĚŘICÍHO ŘETĚZCE

snímač a zesilovač, laboratorní verze, signál 0-10V:

lepší řešení, protože rušení není zesíleno

- pokud je zesilovač u snímače, bývá v měřicím zařízení vstupní oddělovací obvod, aby zůstal vysoký vstupní odpor $100\text{k}\Omega$ a i pro ochranu převodníku
- parazitní AC proud s amplitudou $0.1\mu\text{A}$ na vstupním odporu $100\text{k}\Omega$ vytvoří AC napětí s amplitudou 0.01V ($R \times I$), které není dále zesíleno
- to je jen 0.1% z rozsahu, tedy 1N
- **display ukazuje prakticky hodnotu 500N , šum je jen $\pm 1\text{N}$**

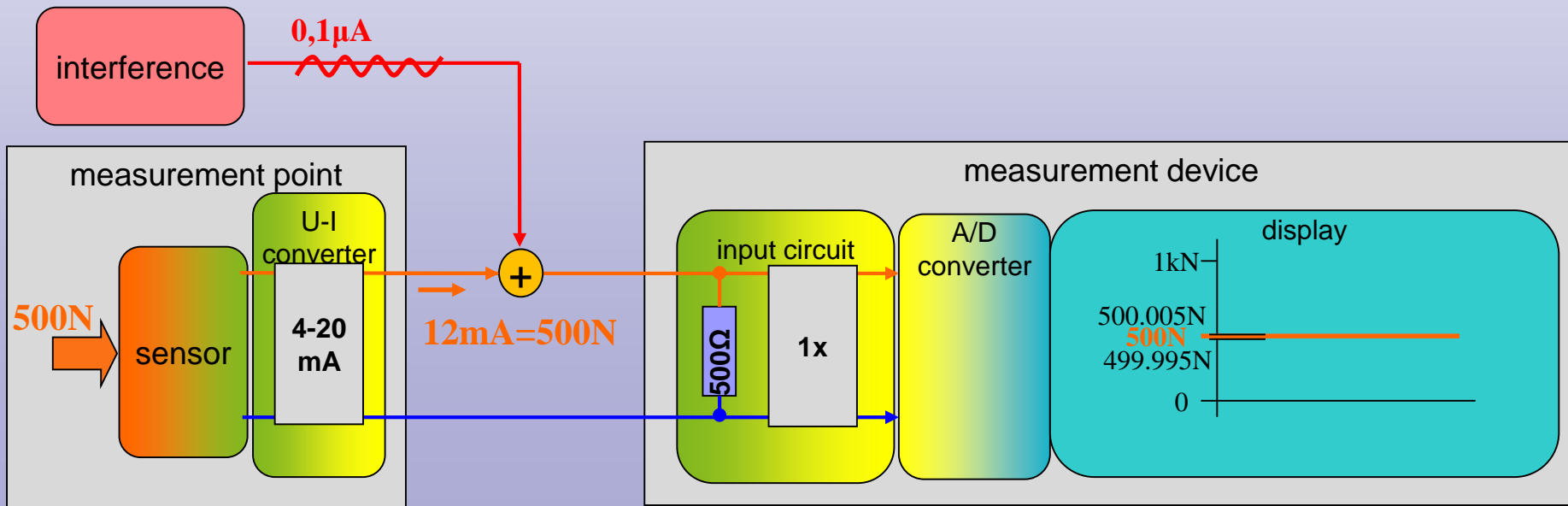


4.4. PŘÍKLADY OVLIVNĚNÍ SIGNÁLU RUŠENÍM PRO RŮZNÉ VARIANTY DĚLĚNÉHO MĚŘICÍHO ŘETĚZCE

snímač a zesilovač, průmyslová verze, signál 4-20mA:

první nejlepší řešení, protože rušení není zesíleno a vstupní obvod má malý vstupní odpor

- vstupní obvod před A/D převodníkem má vstupní odpor jen 500Ω , na kterém se převádí 4-20mA na 2-10V ($R \times I$)
- parazitní AC proud s amplitudou $0.1\mu\text{A}$ na vstupním odporu 500Ω vytvoří AC napětí s amplitudou jen 0.00005V ($R \times I$), které není dále zesíleno
- to je pouze 0.0005% z rozsahu, tedy 0.005N
- display ukazuje prakticky správnou hodnotu 500N s nepatrným šumem $\pm 0.005\text{N}$

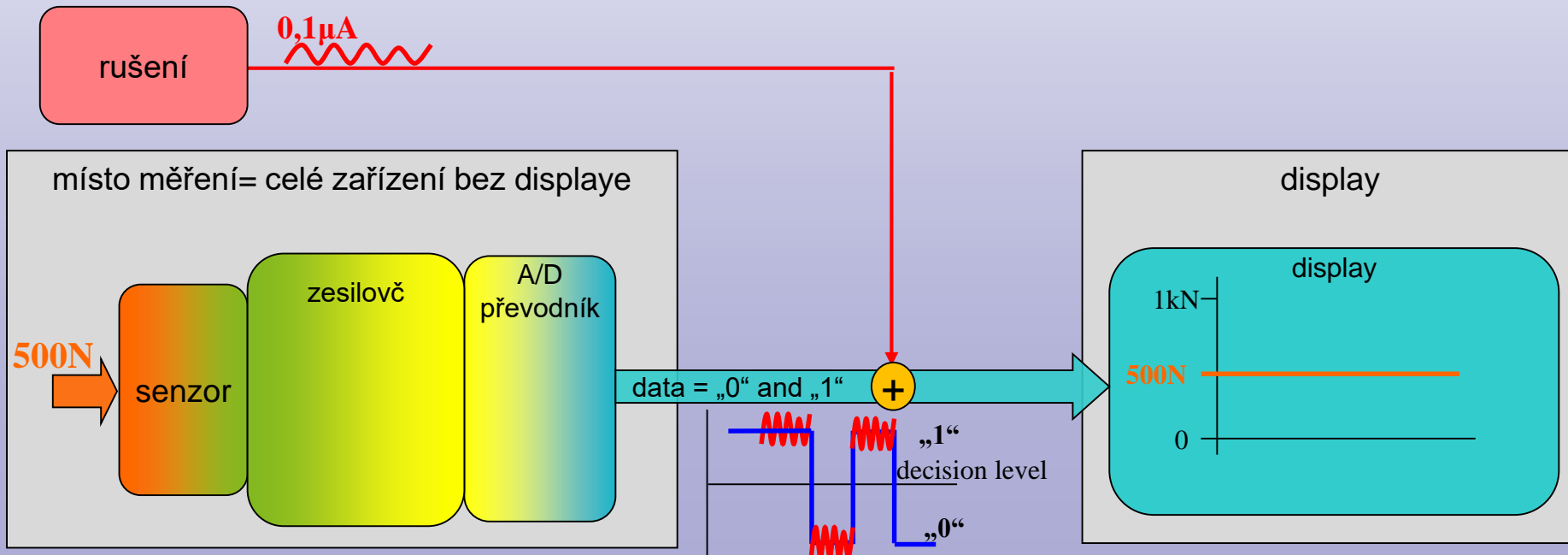


4.4. PŘÍKLADY OVLIVNĚNÍ SIGNÁLU RUŠENÍM PRO RŮZNÉ VARIANTY DĚLĚNÉHO MĚŘICÍHO ŘETĚZCE

oddělený display:

druhé nejlepší řešení, rušivý signál jde do digitální linky

- digitální linka přenáší logické "0" a "1". "0" je vyjádřena napětím 0V a "1" napětím 5V, rozhodovací úroveň je 2,5V, vše nad je "1", vše pod "0"
- **jestliže rušení nepřekročí rozhodovací úroveň, přenášený signál není ovlivněn a display ukazuje přesných 500N**
- Pokud by ale rušení překročilo rozhodovací úroveň, dojde naopak k totální ztrátě informace, display nebude ukazovat nic!!



KONTROLNÍ OTÁZKY

- elektromagnetické rušení
 - rozdělení podle zdroje, charakteru a frekvence (str. 3)
 - vazební mechanismy přenosu (str. 4)
 - princip přenosu galvanickou vazbou, princip zemní smyčky (str. 5, 6)
 - princip přenosu elektromagnetickou cestou (str.7)
- ochrana proti rušení
 - ochrana proti přenosu rušení přes napájecí zdroj (str. 9)
 - možnosti zamezení vzniku zemní smyčky (str. 10, 11, 12)
 - ochrana proti přenosu kapacitní a induktivní vazbou (str.13)
 - koaxiální kabel, kroucený pár princip – výhody a nevýhody (str. 15, 16)
 - princip stínění (str. 17)
 - stínění a zemní smyčka (str. 18, 19)
 - optimální zapojení měřicího řetězce z hlediska rušení (str.20)