

Počítačové řízení experimentu

Letní semestr

Doc. Ing. Miroslav Čech, CSc.

míst. 234 – Trojanova, 2.NP

tel.: 778 532 036

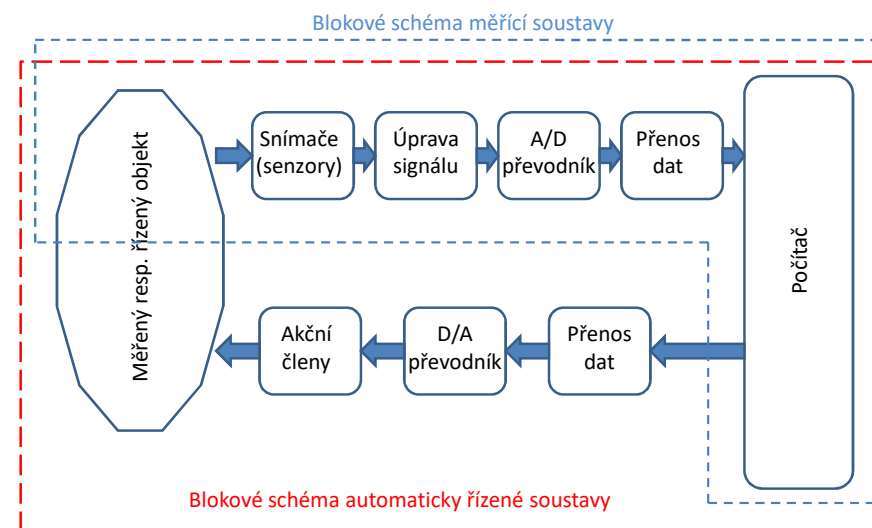
E-mail: miroslav.cech@fjfi.cvut.cz

<http://people.fjfi.cvut.cz/cechmiro/vyuka.html>

Literatura

- H. Häberle: Průmyslová elektronika a informační technologie, Europa-Sobotáles cz., Praha 2003
- J. Balátě a kol.: Technické prostředky automatického řízení, SNTL Praha, 1986
- F. Dlabola, J. Starý: Systémy s mikroprocesory a přenos dat, NDS Praha 1986
- J. Bayer, J. Bílek: Návrhy řídicích systémů, Skripta ČVUT, 1987
- V. Haasz, J. Roztočil, J. Novák: Číslicové měřicí systémy, Skripta ČVUT, 2000
- M. Šnorek: Standardní rozhraní PC, Grada, Praha 1992
- J. Pavel, J. Resl: Elektrotechnika I, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997
- J. Pavel, J. Resl: Elektrotechnika II, Vydavatelství ČVUT, Praha 1998
- B. Kainka: USB – Měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB, Ben, Praha 2002
- W. Kester: Analog-Digital Conversion, Analog Devices, 2004
- J. Peterka: Počítačové sítě verze 3.0., www.earchiv.cz, 2004
- IEEE Std. 481.1-2003, IEEE Standard for Higher Performance Protocol for Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation, IEEE New York, 2003
- Internetové stránky firmy Moravské přístroje a.s. – www.mii.cz

Blokové schéma měřící a řídicí soustavy



- Z uvedeného blokového schema vyplývá, že každý řídicí nebo regulační obvod obsahuje měřicí kanál (subsystém).
- Snímač je pak jednou ze základních součástí všech těchto měřicích nebo řídicích systémů.

Měření jako zdroj informace je podmínkou automatického řízení. Měřicí technika má v automatizaci v podstatě dvojí poslání:

- Měření je informačním zdrojem o vlastnostech a chování soustavy či technologického procesu, které se mají regulovat. Bez těchto přesných informací není možné soustavu automatického řízení navrhnout, realizovat, nastavit, provozovat a opravovat.
- Cílem měření je zjistit velikost (popř. množství) dané fyzikální nebo technické veličiny, což je možné jedině na základě experimentálního porovnání velikostí dané veličiny s některou její hodnotou zvolenou za jednotku. Výsledek měření má tedy kvantitativní charakter.

Blokové schema měřicí soustavy

Měřicí soustava obsahuje:

- **Snímač (senzor)** - člen pro sběr informace, nazývaný který převádí vstupní neelektrický signál na výstupní signál, obvykle elektrický.
- **Obvod pro úpravu signálu** může obsahovat zesilovače, filtry a další obvody pro zpracování signálu. Na výstupu je obvykle vyžadován signál v normovaném tvaru, který je vhodný pro výstupní členy, jako je indikátor (např. zobrazovací jednotka), jehož údaj, v analogovém tvaru nebo číslicové formě je vhodný pro zpracování člověkem.
- **Převodník A/D**, který ze spojitého analogového signálu vytvoří posloupnost čísel (provede převod na diskrétní hodnoty).
- **Přenos dat** pomocí vhodného **rozhraní (interface)** zajistí přenos do počítače pro další zpracování (zobrazení, záznam nebo v případě řídicího systému výpočet regulačního zásahu a nastavení akčních členů).

Snímač

- **Snímač** určuje většinou kvalitu celého měřicího obvodu. Pro jeho konstrukci se využívá mnoha fyzikálních procesů a principů a stále se hledají a zkoušejí nové, které dovolují lépe a snáze kompenzovat parazitní vlivy a rozšiřovat možnosti aplikace snímačů v různých podmínkách provozu, v širokém oboru absolutních velikostí snímaných veličin, při různých velikostech a rychlostech jejich relativních změn.
- Cena snímače může být srovnatelná s cenou zbývajících částí měřicího kanálu a při výrazném uplatňování mikroelektronických obvodů pro zpracování a přenos signálů může být vlastní snímač dokonce dražší.

Výběr snímače

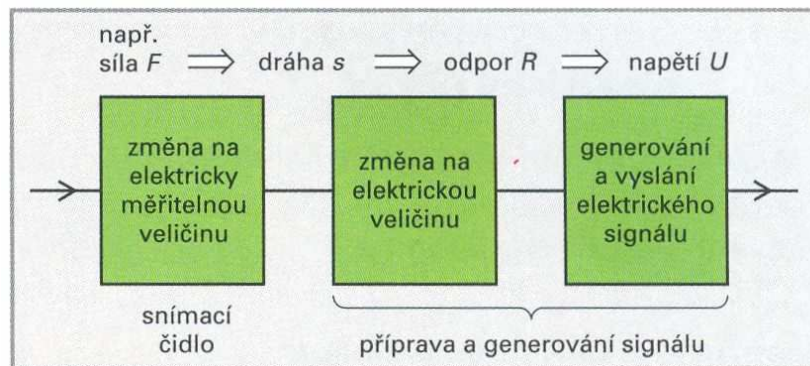
Při výběru snímače požadujeme, aby splňoval určité základní požadavky :

- jednoznačná závislost výstupní veličiny na veličině vstupní, nejlépe lineární závislost
- vhodný tvar statické charakteristiky s velkou strmostí,
- požadovaná přesnost snímače,
- časová nezávislost parametrů snímače,
- vhodná frekvenční charakteristika (časová konstanta),
- minimální závislost na parazitních vlivech (teplota, vlhkost, tlak, prašnost apod.),
- minimální zatěžování měřeného objektu,
- optimální elektrický výkon snímače,
- jednoduchá konstrukce a údržba,
- dostupnost a cena snímače.

Senzory

- Senzory jsou prvky elektrických obvodů, jejichž elektrické vlastnosti nebo chování je ovlivňováno sledovanou veličinou, a to elektrickou, např. proudem, nebo neelektrickou veličinou, např. silou.
- Obsahují snímač (snímací čidlo) s elektronickým obvodem prvotního zpracování signálu a převádějí elektrické, mechanické, teplotní, optické a chemické veličiny na vhodné elektrické signály. Tento převod bývá většinou vícestupňový. Např. měření síly je nejprve převedeno prostřednictvím elastické deformace na měření dráhy (jezdce potenciometru) a měření dráhy pak na měření poměru elektrických odporů, které je převedeno na změnu úbytku napětí.

Struktura senzoru



Senzor = snímač vybavený obvody pro úpravu signálu, popř. systémem pro přenos dat

Rozdělení senzorů

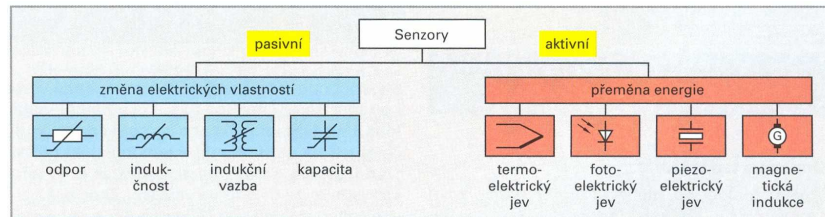
• Pasivní senzory

Mění vlivem neelektrických veličin své elektrické vlastnosti, tj. svůj elektrický odpor, kapacitu nebo indukčnost. Vlivem světla se např. změní odpor fotorezistoru, vlivem akustického tlaku se mění kapacita kondenzátorového mikrofónu a vlivem tlaku se může změnit poloha železného jádra v cívice a tím její indukčnost. K vyhodnocení elektrických vlastností pasivních senzorů je vždy zapotřebí zdroj elektrické energie.

• Aktivní senzory

Převádějí přímo mechanickou, tepelnou, světelnou nebo chemickou energii na energii elektrickou. Aktivní senzory jsou tedy zdroje napětí založené na nějakém transformačním efektu (jevu), jako např. termoelektrickém, fotoelektrickém, piezoelektrickém nebo též elektrochemickém (resp. chemicko-elektrickém) jevu.

Rozdělení senzorů

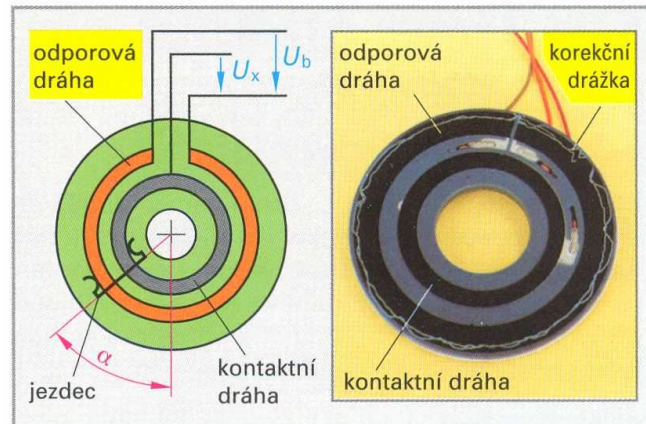


Senzory měnící svůj elektrický odpor

- **Senzory na bázi potenciometru**

Posouváním nebo otáčením jezdc potenciometru se mění napětí na vývodu jezdcě proporcionálně (u potenciometru s lineárním průběhem odporu) s dráhou posunutí s nebo s úhlem otočení a. Odporová dráha, po které se posunuje jezdec potenciometru, je většinou vytvořena z tvrdého vodivého plastu, odolného proti otěru při pohybu jezdcě.

Senzory na bázi potenciometru

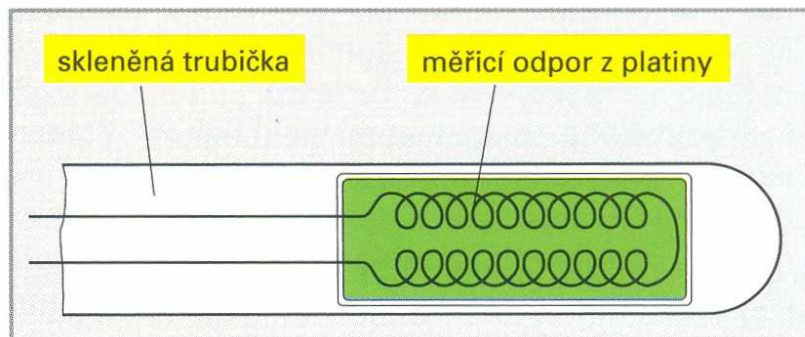


Měřicí potenciometr z vodivého plastu

Teploměr s kovovým čidlem

Teploměr s kovovým čidlem je většinou založen na měření odporu platinového nebo niklového drátu. Platinový odporový teploměr Pt 100 má jmenovitý odpor 100 Ω při teplotě 0°C a umožňuje přesné měření teploty v rozsahu -220°C až 1000°C. V rozsahu teplot od 0°C do 200°C má teploměr přesnost 0,01 K a v rozsahu vyšších teplot až do 1000°C není chyba větší než 0,5%. Niklový odporový teploměr je použitelný v rozsahu -60°C až 200°C a vyrábí se též se jmenovitým odporem 100 Ω při 0°C. Teplotní charakteristika odporu niklového odporového teploměru není tak lineární jako u teploměru platinového.

Kovový teploměr Pt 100

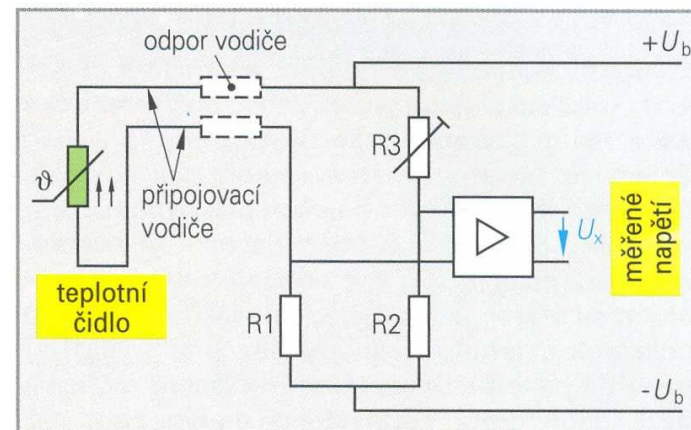


Polovodičové teploměry

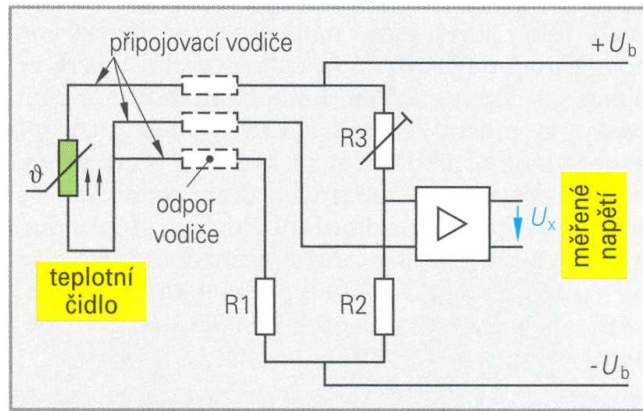
Polovodičové teploměry používají jako čidlo termistor NTC (s negativním teplotním koeficientem) nebo termistor PTC (s pozitivním = kladným teplotním koeficientem). Oproti kovovým teplotním čidlům jsou termistory citlivější, tj. ve svém jmenovitém rozsahu mají větší (v absolutní hodnotě) teplotní koeficient (součinitel) odporu, jejich charakteristiky jsou však nelineární. Měřicí rozsahy termistorů jsou mezi -70°C a 300°C . Termistory však mají velmi malé rozměry a tím i malou tepelnou kapacitu, proto reagují velmi rychle na změny teploty a umožňují např. kontaktní měření teploty povrchů těles. Termistor odebrává měřenému objektu jen málo tepla, což přispívá k přesnosti měření.

Měření odporu

- Měření odporu teplotního čidla se realizuje většinou můstkovou metodou se 2 přívodními vodiči nebo se 3 přívodními vodiči a teplotní čidlo přitom tvoří jednu ze 4 větví můstku.
- Můstek je vyvažován jedním ze tří odporů můstku. Zapojení s třívodičovým připojením čidla má oproti dvouvodičovému připojení velké přednosti. Při měření teploty je teplota měřeného objektu jiná než teplota měřicího můstku a měřený objekt je často od měřicího můstku vzdálen mnoho metrů. Teplotní rozdíly vykazují na obou koncích i přívodní měděné vedení, jehož proměnlivý odpor se při dvouvodičovém připojení čidla přičítá k odporu čidla a způsobuje chybu měření.
- Při třívodičovém připojení leží jeden přívodní vodič ve stejné větvi můstku jako teplotní čidlo a druhý přívodní vodič pak ve stejné větvi můstku jako pevný rezistor můstku R_1 . Při stejné změně odporu obou vodičů není porušeno vyvážení můstku. Stejná změna odporu středního (třetího) vodiče k získání příčného napětí můstku, tj. měřeného signálu je nepodstatná, protože tímto vodičem neteče při velkém vstupním odporu měřicího přístroje téměř žádný proud, a proto na tomto vodiči nevznikne téměř žádný úbytek napětí.



Můstkové měření teploty s dvouvodičovým připojením čidla

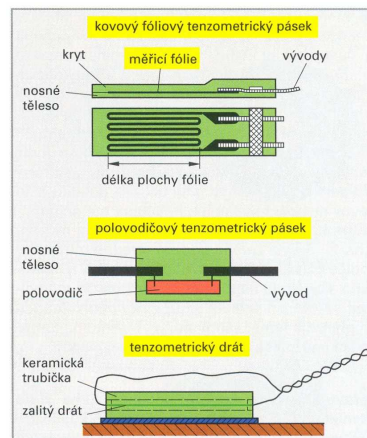


Můstkové měření teploty s trojvodičovým připojením čidla

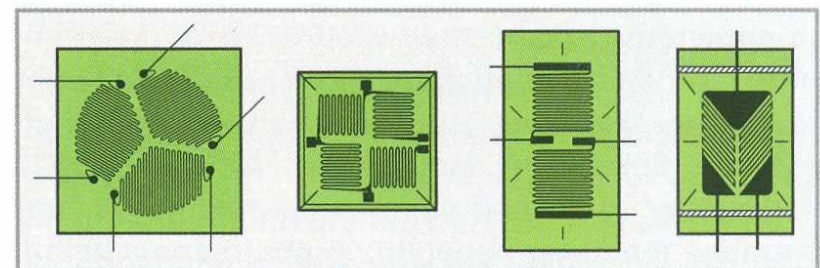
Odporové snímače s tenzometrickým páskem

- K měření průhybu částí strojů, mostních a ocelových konstrukcí jsou používány tenzometrické pásky nebo tenzometrické dráty. Jejich účelem je umožnit měření deformací nosných konstrukcí při statickém nebo při dynamickém namáhání. Při průhybu nosných dílů se některé jejich části prodlužují a jiné zkracují a stejným způsobem se mění i délka měřících pásků nebo drátů spojených s těmito nosnými díly (např. zalitými pevně do panelů). Délkové změny těchto měřících pásků nebo drátů odpovídající napětí nebo též tenzi materiálu, bývají velmi malé, většinou jen desetiny až desítky mikrometrů (μm). Při natahování kovového vodiče narůstá jeho odpor, protože se zvětšuje jeho délka a zmenšuje jeho průřez.
- Tenzometrické pásky mají většinou podobu tenkých fólií, které jsou nanášeny galvanicky na nosný materiál podobnou technologií jako vrstvy plošných spojů. Délku natahovaného měřícího pásku je možno zvětšit klikatým meandrovým uspořádáním, při kterém se celkové prodloužení násobí počtem rovnoběžných drah vedoucích ve směru měřeného prodloužení. Změna odporu tenzometrického pásku je při tomto uspořádání velká při změně délky nosné podložky ve směru rovnoběžných drah pásku a při změnách délky v příčném směru je naopak velmi malá.

Senzory pro měření mechanických napětí

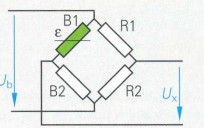
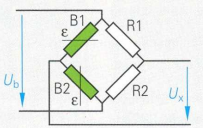
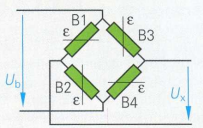
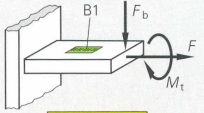
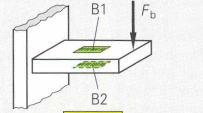
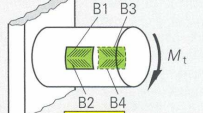


Různá provedení fóliových tenzometrických snímačů



Můstková zapojení

Tabulka 1: Můstkové zapojení s tenzometrickými pásky

čtvrtinové můstkové zapojení	poloviční můstkové zapojení	úplné můstkové zapojení
 <p>B2: kompenzační pásek</p> $U_x = \frac{1}{4} \cdot k \cdot \epsilon \cdot U_b$	 $U_x = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \epsilon \cdot U_b$	 $U_x = k \cdot \epsilon \cdot U_b$
 <p>$U_x \sim F_b, F, M_t$</p>	 <p>$U_x \sim F_b$</p>	 <p>$U_x \sim M_t$</p>

Čtvrtinové můstkové zapojení

Čtvrtinové můstkové zapojení jednoho tenzometrického pásku (B1) má ve stejné větvi zapojen shodný tenzometrický pásek (B2) kvůli teplotní kompenzaci. Aktivní tenzometrický pásek (B1), nalepený na povrchu měřeného tělesa, je kromě měřeného mechanického vlivu ovlivňován i teplotou. Ke kompenzaci tohoto teplotního vlivu je v blízkosti aktivního tenzometrického pásku umístěn stejný pásek, který však není nalepen na měřeném tělese, je však vystaven stejným tepelným vlivům. Další dva odpory můstku jsou rezistory s pevnými hodnotami odporu.

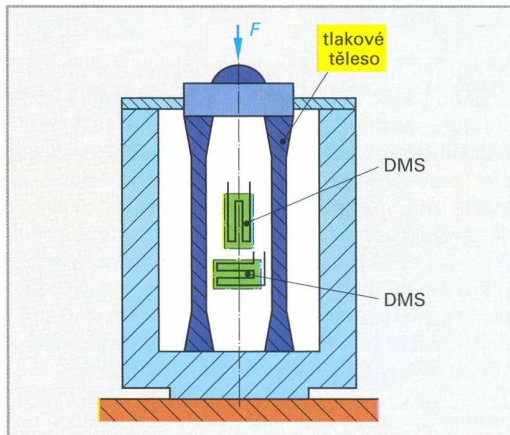
Půlené můstkové zapojení

Půlené můstkové zapojení je výhodně využito při měření ohybu nosníku, kdy jsou dvě tenzometrická čidla umístěna na protějších stranách namáhaného nosníku tak, že jedno z nich se prodlužuje (na straně namáhané tahem) a druhé z nich se zkracuje (na straně namáhané tlakem). Jsou-li čidla zapojena se stejnou orientací vývodů, sečte se jejich účinek při změně potenciálu bodu mezi B1 a B2 oproti bodu mezi R1 a R2, tj. při změně výstupního napětí U můstku. Naopak účinky celkového prodloužení nosníku, např. teplem se v tomto zapojení vzájemně kompenzují (vyruší).

Úplné můstkové zapojení

Velmi výhodné je úplné můstkové zapojení se dvěma natahovanými a dvěma stlačovanými, tj. zkracovanými tenzometrickými pásky. Tohoto zapojení se využívá při měření zkrutu, resp. kroucího momentu a ve speciálních snímačích tlaku nebo síly.

Krabicový siloměr



Krabicový siloměr

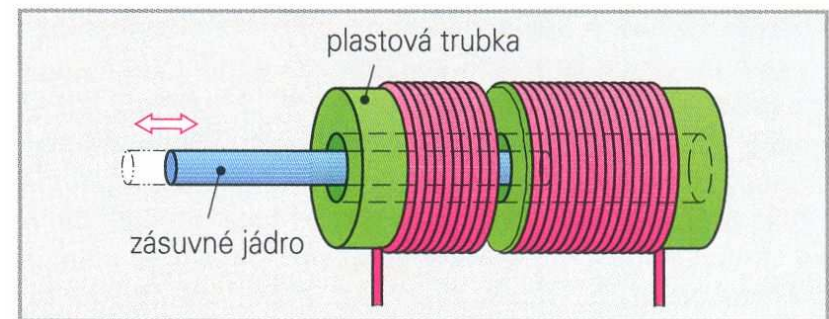
Krabicový siloměr s tenzometrickými pásky má dvě tenzometrická čidla nalepená na speciálním dutém tělese, které se tlakem zkracuje a rozšiřuje. Jedno z čidel zachycuje zkrácení a druhé čidlo rozšíření měrného tělesa. Krabicové siloměry se vyrábějí pro měření malých sil do několika Newtonů nebo i pro měření velkých sil přes tisíc kN. Krabicové siloměry se používají v elektronických váhách a k regulaci tlaku při lisování a válcování.

Induktivní snímače

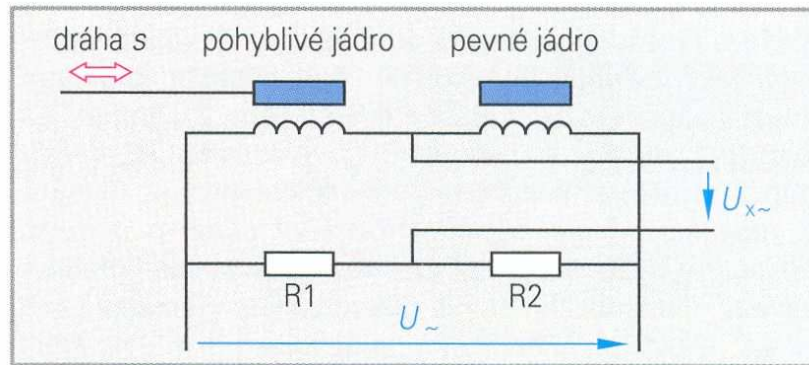
Induktivní snímače jsou tvořeny cívkami napájenými střídavým proudem a jejich indukčnost a tím induktivní reaktance je měněna vlivem indukční vazby nebo vlivem vířivých proudů.

- **Snímače založené na tlumivce** se zasunovacím jádrem se používá pro měření délek posuvu v rozpětí od 50 mm do 1500 mm. Snímače jsou tvořeny válcovou kostrou, na které je navinuto měřicí vinutí. Tyčové jádro válcového tvaru z měkkého železa je posuvně uloženo uvnitř cívky a jeho posouváním je možno měnit indukčnost cívky. Pro odměřování lineárního pohybu pohyblivého jádra je tato cívka zapojena do můstku tak, že do jedné větve je s ní zapojena shodná cívka (tlumivka) s jádrem nepohyblivě uloženým v zasunutém poloze.

Snímač založený na tlumivce



Měřicí můstek

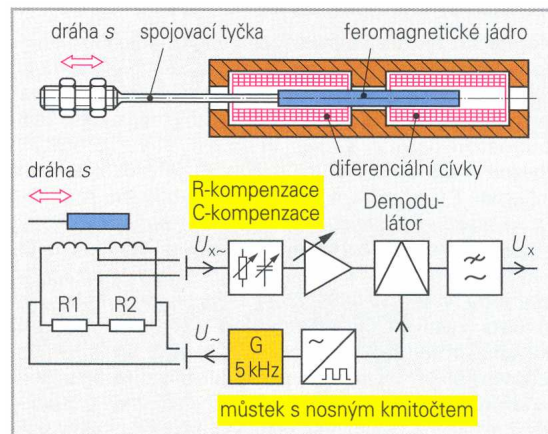


Zapojení induktivního snímače s jednou aktivní cívkou

Snímač s diferenciální cívkou

- Snímače založené na diferenciální cívkě mají opět snímač polohy tvořený posuvným jádrem, v tomto případě společným pro obě cívky. Je-li jádro ve středu dutiny obou cívek, jsou indukčnosti obou cívek stejné. Při vysunutí jádra ze středové polohy se indukčnost jedné cívky zvětší a indukčnost druhé cívky se zmenší, změní se tedy poměr jejich indukčností.
- Diferenciální cívky jsou napájeny při můstkovém zapojení střídavým napětím s kmitočtem většinou 5 kHz. Výstupní příčné napětí můstku je úměrné velikosti vysunutí jádra z centrální polohy. Tímto způsobem měření je možno dosáhnout rozlišení polohy až 1 μm .

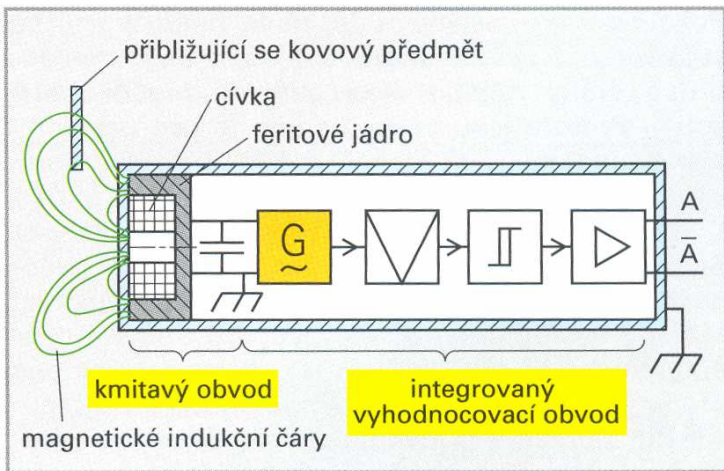
Snímač s diferenciální cívkou



Snímače založené na rozladění kmitavého obvodu

- **Bezdotykové koncové induktivní spínače** nebo též přibližovací induktivní spínače spínají při přiblížení kovového předmětu. Z cívky v otevřeném hrníčkovém jádře v čele snímače vystupuje vysokofrekvenční magnetické pole. Tato cívka tvoří indukčnost LC kmitavého obvodu, buzeného oscilátorem na vlastním (rezonančním) kmitočtu, většinou několika kHz. Přiblíží-li se k čelu snímače kovový předmět, změní vlivem vířivých proudů indukčnost cívky a tím vlastní kmitočet obvodu. Kmity se utlumí a pokles amplitudy signálu na paralelním kmitavém obvodu vyhodnotí prahový spínač a sepne. Výstupní signál kmitavého obvodu (napětí na tomto obvodu) je přiváděn na vysokoohmový vstup demodulátoru a výstup z demodulátoru pak na Schmittův prahový přepínač, který přepne při poklesu signálu pod nastavenou úroveň. Výstupem pak může být dvouhodnotový logický signál, indikující stavem 1 přiblížení kovového předmětu.

Induktivní přibližovací spínač



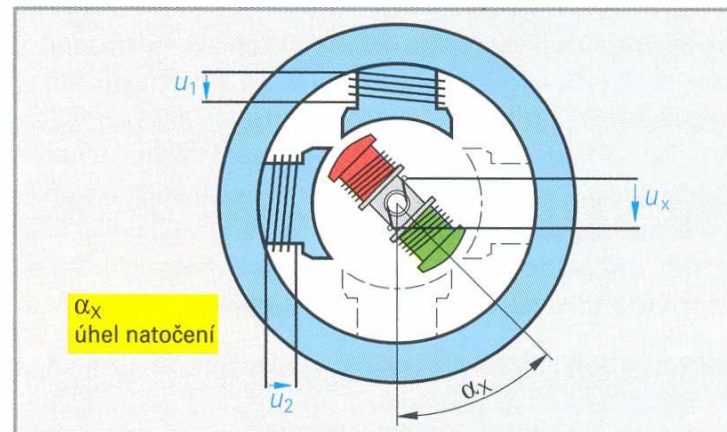
Snímač úhlu natočení

- **Snímač úhlu natočení** (Resolver = vyhodnocovač natočení) se používá ke kontrole, regulaci nebo řízení natočení. Snímač natočení má podobnou konstrukci jako synchronní motor. Dříve se používaly méně přesné selsyny pro přenos i kontrolu natočení.
- Dvě satorová vinutí natočená vzájemně o 90° jsou napájena sinusovými napěťovými signály $u_1 = \hat{u}_1 \cdot \sin \omega t$, $u_2 = \hat{u}_1 \cdot \sin(\omega t + \pi/2) = \hat{u}_1 \cdot \cos \omega t$, fázově posunutými o 90°. V pasivním vinutí rotoru (otočné kotvy) je indukován signál složený ze sinusových signálů indukovaných oběma satorovými vinutími. Poměr amplitud indukovaných signálů závisí na natočení rotoru. Signál indukovaný jedním satorovým vinutím je největší, je-li osa rotorového vinutí shodná s osou jeho vinutí, pólové nástavce stojí proti sobě a při malých vzduchových mezerách je indukční vazba nejtěsnější. Výsledné napětí na rotoru (snímané z kroužků rotoru) je při transformačním poměru 1:1 a při úhlu natočení α_x rovno $u_x = u_1 \cdot \cos \alpha_x + u_2 \cdot \sin \alpha_x = \hat{u}_1 \cdot \sin \omega t \cdot \cos \alpha_x + \hat{u}_1 \cdot \cos \omega t \cdot \sin \alpha_x = \hat{u}_1 \cdot \sin(\omega t + \alpha_x)$. Výstupní napětí u_x na rotoru je tedy oproti napájecímu napětí u_1 satoru fázově posunutě o úhel natočení rotoru α_x . Úhel fázového posunu napětí tedy odpovídá úhlu natočení rotoru snímače. Natočení je pak možné vyhodnotit např. číslicovým měřením fázového posunu sinusových signálů.

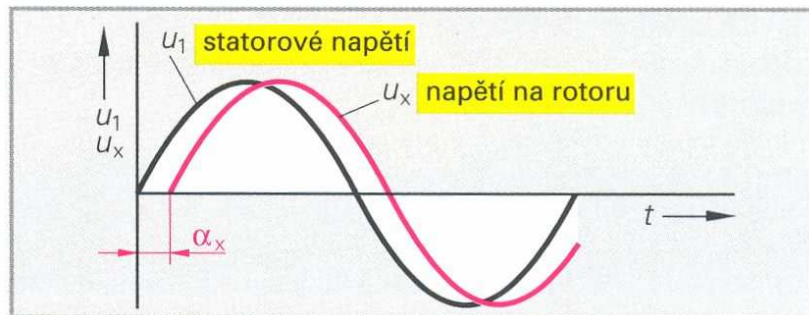
Snímač úhlu natočení



Princip snímače natočení



Fázový posun výstupního napětí

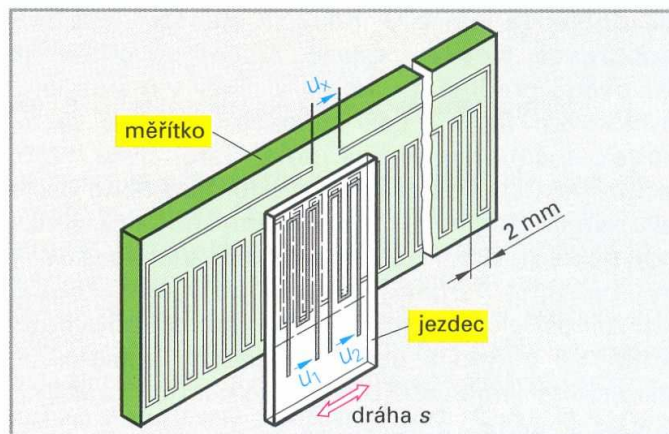


Induktosyn

- **Induktosyn** je indukční snímač dráhy posunutí. Skládá se z měřítka tvořeného plošným vodičem meandrovitého tvaru a posuvného jezdce, obsahujícího dvě meandrové plošné dráhy se stejnými roztečemi, jako je rozteč rovnoběžných úseků na měřítku, posunuté geometricky ve směru pohybu vzájemně o čtvrtinu periody meandru, tj. o polovinu rozteče drah (tj. o šířku dráhy, resp. šířku mezery mezi drahami).
- Jezdec odpovídá funkčně statoru snímače úhlu natočení a měřítko jeho rotoru, a to včetně způsobu napájení a snímání signálu. Posouvá-li se napájený jezdec podél měřítka, kryjí se střídavě jeho dvě meandrové dráhy s částmi meandrové dráhy měřítka (leží střídavě přesně proti sobě). Protože jsou dráhy (vinutí) jezdce napájeny signály posunutými fázově o $360^\circ/4 = 90^\circ$, bude signál indukovaný v dráze (vinutí) měřítka složen z odpovídajících indukovaných signálů, jejichž poměr bude záviset na fázových posunutích (polohách) meandrů jezdce oproti meandru měřítka.
- Měřený výstupní signál na meandru měřítka opět bude roven

$$u_x = \hat{u}_1 \cdot \sin(\omega t + \alpha_x)$$
 Celková odměřená dráha se vypočte z počtu cyklů výstupního sinusového signálu a fázové polohy v posledním započatém cyklu (fázového posunu sinusových napětí u_x , u_1).

Induktosyn

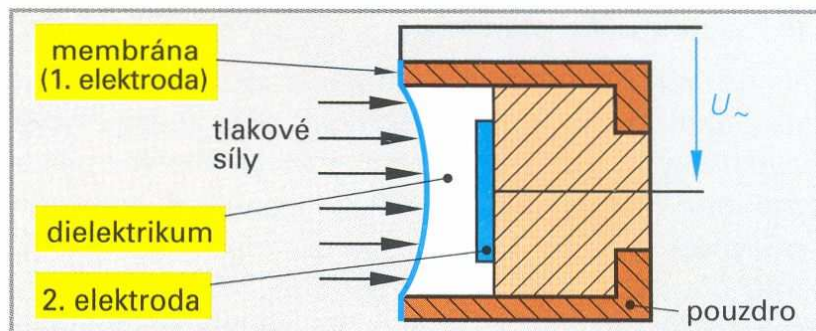


Rozvinutý snímač natočení do roviny

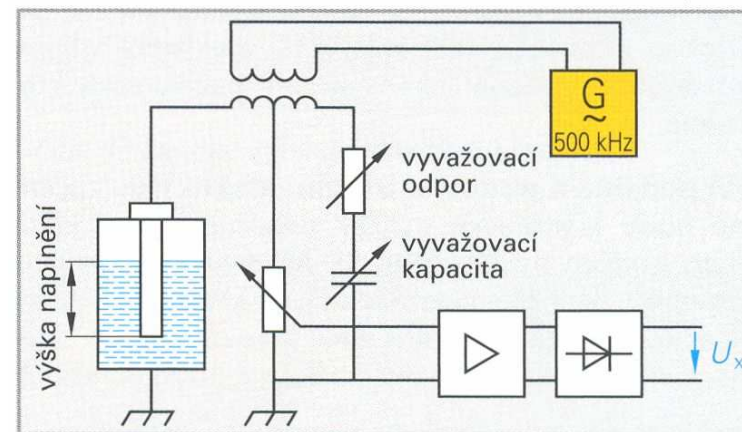
Kapacitní snímače

- **Kapacitní tlakové snímače.** Změnami vzdálenosti dvou deskových elektrod kondenzátoru lze měnit kapacitu a tím i kapacitní reaktanci snímače. Měření tlaku je přenášeno na měření průhybu membrány, která tvoří jednu elektrodu kondenzátoru. Změna kapacity je vyhodnocována pomocí střídavého měřicího můstku.
- **Kapacitní měření výšky hladiny nevodivé kapaliny** - jednu elektrodu kondenzátoru tvoří kovový plášť zásobníku kapaliny a druhou elektrodu tvoří kovová elektroda izolovaná od pláště a ponořená do kapaliny. Kapacita takto vytvořeného kondenzátoru závisí na výšce hladiny kapaliny, která tvoří dielektrikum s dielektrickou konstantou odlišnou od dielektrické konstanty vzduchu. Při kapacitním měření výšky hladiny vodivé kapaliny, např. kyseliny nebo louhu, musí být vnitřní elektroda chráněna izolujícím pouzdem, které je též odolné proti účinkům kapaliny. Vodivá kapalina pak sama tvoří jednu elektrodu kondenzátoru a změnou výšky hladiny se mění plocha elektrody dotýkající se dielektrika, kterým je izolace ponořené elektrody. Měření se uskutečňuje opět v můstkovém zapojení. Měřicí můstek je napájen vysokofrekvenčním napětím a měřena je usměrněná hodnota zesíleného výstupního signálu měřicího můstku.

Kapacitní tlakové čidlo



Měřicí můstek



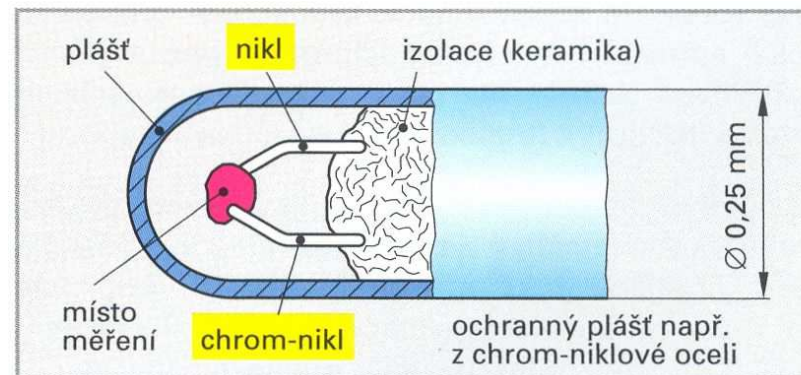
Měření výšky kapaliny

Aktivní snímače

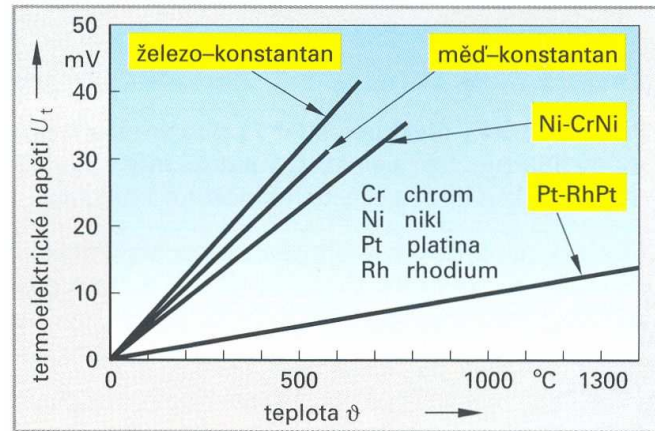
Termoelektrické snímače

- **Termočlánky** slouží k měření teplot až do 1600°C. Jsou tvořeny dráty ze dvou různých kovů, svařených konci k sobě. Termočlánek vzniká na styčné ploše obou různých kovů. Při zahřátí termočlánek mají chladné konce drátů odlišný potenciál, tj. lze mezi nimi naměřit malé stejnosměrné napětí termočlánu U .
- V technických termočláncích se používají většinou určité dvojice kovů, např. měď a konstantan, železo a konstantan, nikl-chrom a konstantan, platina-rhodium a platina. Napětí termočlánu narůstá s teplotou lineárně a dosahuje maximálně 70 mV. Pro měření v různých rozsazích teplot jsou vhodné různé dvojice kovů.
- Dvojice železo-konstantan sice tvoří citlivý termočlánek, ale vyhoví v rozsahu jen -200°C až $+750^{\circ}\text{C}$.
- Dvojice Pt-RhPt má menší citlivost, ale má rozsah použití 0°C až 1600°C .
- Dráty termočlánu jsou uloženy v izolačním a tepelně odolném keramickém materiálu a celek je v kovovém pouzdře

Konstrukční provedení termočlánu



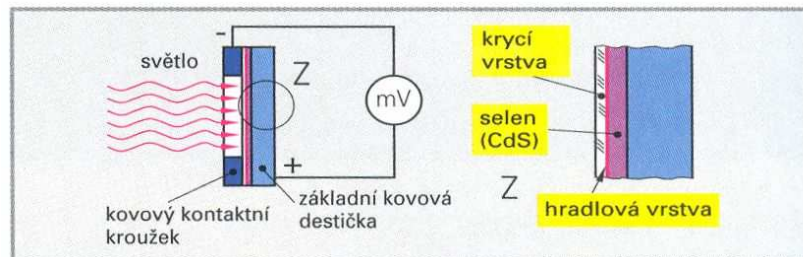
Charakteristiky termočlánků



Fotoelektrické snímače

- Při dopadu světla na hradlovou vrstvu mezi polovodičem a kovem nebo polovodičem typu N a polovodičem typu P, vznikne mezi oběma materiály napětí s kladným potenciálem na polovodiči (pol. typu P). Současné **fotovoltaické články** jsou převážně na bázi křemíku, částečně na bázi GaAs (galiumarsenu). Dosahují běžně účinnosti 17% při přeměně sluneční energie na elektrickou.
- Při **fotoelektrickém jevu** se uplatní hlavně ultrafialové záření a napětí na hradlové vrstvě je úměrné hodnotě, o kterou frekvence tohoto záření převyšuje prahovou frekvenci $5,5 \cdot 10^{14}$ Hz. Fotovoltaické články jsou využívány k napájení kapesních kalkulaček, satelitů a postupně i horských chat a obytných domů. Selenové a články CdS se používají v expozimetrech a luxmetrech a dalších fotoelektrických senzorech.
- **Fotodpory (fotorezistory)** jsou polovodičové součástky, u nichž vlivem osvětlení vzroste počet volných nosičů nábojů a poklesne elektrický odpor.

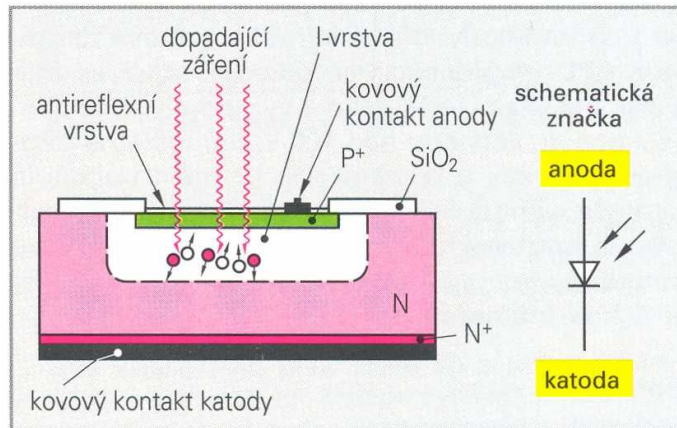
Fotoelektrický jev



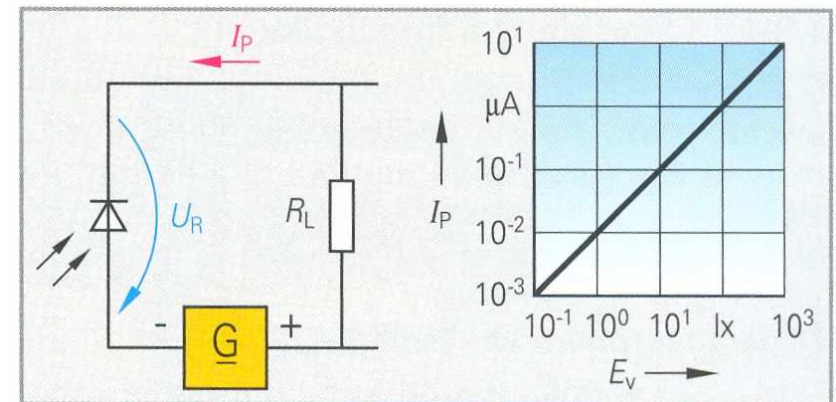
Fotodiody

- Přechod PN diody je značně citlivý na světlo, a to hlavně ve zpětném směru, kdy při osvětlení přechodu vzroste závěrný proud. V současnosti se používají **fotodiody PIN** a **lavinové fotodiody**.
- **Fotodiody PIN** - silně dotovaná a světlo propouštějící oblast polovodiče typu P je oddělena od polovodiče typu N vrstvou I. Oblast N se skládá z epitaxní vrstvy N a silně dotované základní vrstvy N. Dopadem fotonu vhodné energie vzniká pár elektron-díra, který zvětší závěrný proud, nebo ve fotovoltickém režimu (bez přiloženého napětí) přispěje k nárůstu napětí na diodě. Záření může dopadat na jeden nebo na oba přechody. Popsaný jev se nazývá **vnitřní fotoelektrický jev** a je založen na předání energie dopadajícího fotonu valenčnímu elektronu. Jeho průběh je v různých polovodičích odlišný a závisí na intenzitě a vlnové délce dopadajícího záření.
- Fotodiody pracují většinou v režimu závěrného napětí U_R . Bez osvětlení prochází fotodiódou jen nepatrný závěrný proud (na rozdíl od fotorezistoru, který nemá závěrnou vrstvu), **proud za tmy**, ovlivněný teplotou. Při osvětlení je proud úměrný osvětlení.
- Fotodiody jsou tedy v principu pasivní čidla (potřebují zdroj napětí či proudu) – na rozdíl od fotočlánku (aktivní čidlo).
- **Lavinové fotodiody** – diody s velmi vysokým závěrným napětím (řádově stovky V). Při dopadu fotonu se vytvoří pár elektron-díra, který se vysokým napětím lavinovitě množí a proud narůstá.

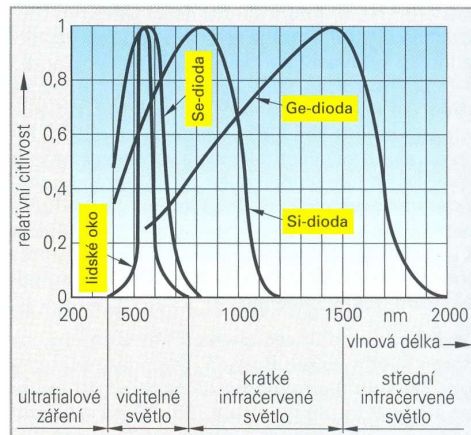
Fotodioda PIN



Základní zapojení fotodiody a její charakteristika



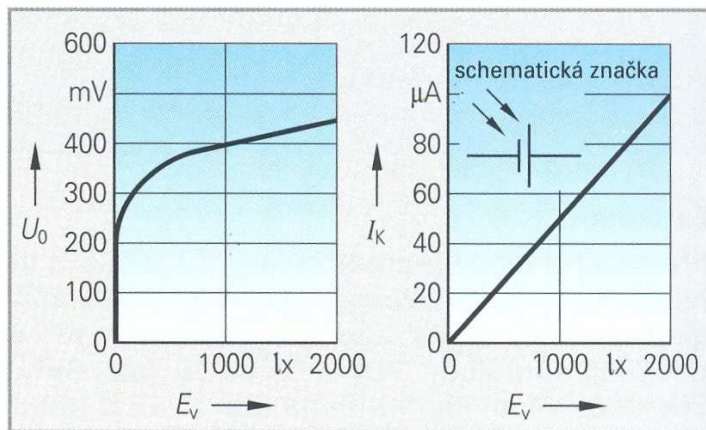
Spektrální charakteristiky fotodiody



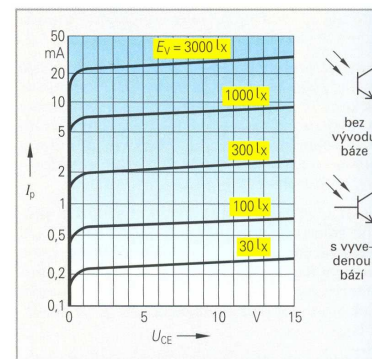
Fotočlánky

- Každá fotodioda může být v podstatě použita jako fotočlánek v tak zvaném **fotovoltaickém režimu** bez přiloženého napětí. Prostorové náboje vznikající při vnitřním fotoelektrickém jevu tlačí elektrony k vrstvě N a díry k vrstvě P. Vzniká tak fotoelektrické napětí, které vyvolá fotoelektrický proud.
- Hlavními parametry fotočlánků jsou **napětí naprázdno** U₀ a **zkratový proud** I_k. Křemíkové fotočlánky mají při osvětlení 1000 lx napětí naprázdno 0,4 V, selenové články přibližně 0,3 V. Zkratový (i provozní) proud narůstá úměrně s ozařovanou plochou. Přípustné závěrné napětí U_{RRM} je u fotočlánků menší než 1 V.

Charakteristiky fotočlánků



Fototranzistor

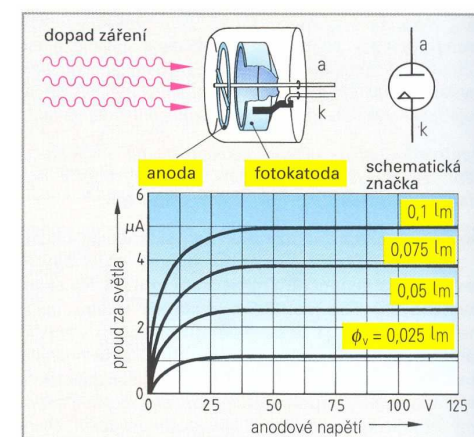


Kolektorový proud fototranzistoru je řízen světelným nebo infračerveným signálem (paprskem), který dopadá na přechod kolektor báze přes průhledné okénko nebo čočku a vyvolává fotoproud úměrný osvětlení. Světelný signál působí jako elektrický vstupní signál báze-emitor u klasického tranzistoru. Dopadající světelný tok působí jako proud báze. Kolektorový proud fototranzistoru stoupá s osvětlením. Vzhledem k zesílení tranzistoru je fototranzistor citlivější než fotodioda. Fototranzistor by vzhledem ke své funkci nemusel mít vyvedenou bázi. Většinou je však báze vyvedena a je využívána k přesnému nastavení a stabilizaci pracovního bodu. Vzhledem k poměrně velké kapacitě

Vakuová fotonka

- **Vakuová fotonka** má ve vzduchoprázdné skleněné baňce katodu ze slitiny cesia a antimonu (citlivou na modré světlo). Elektrony emitované z katody proudí na anodu. Bez osvětlení prochází fotonkou jen velmi malý proud za tmy. Při osvětlení katody prochází fotonkou proud. Citlivost je přibližně $50 \mu\text{A}/\text{lm}$.
- Vakuové fotonky jsou na rozdíl od polovodičových fotocitlivých součástek citlivé i na ultrafialové záření – mají tedy širší spektrální rozsah.

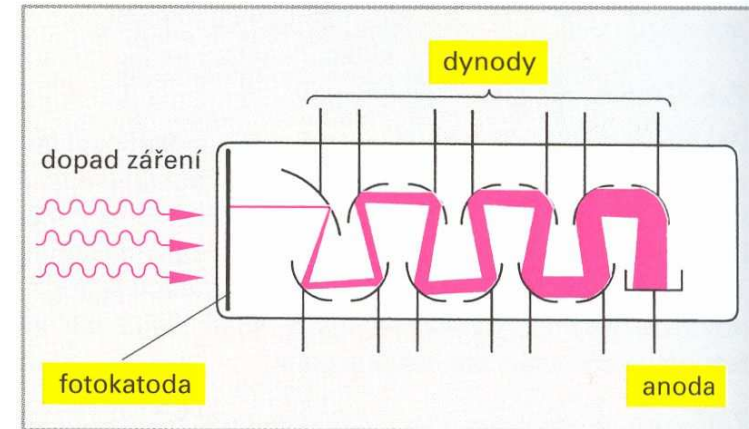
Vakuová fotonka



Fotonásobič

- **Fotonásobič** je vakuová fotonka, obsahující mezi katodou a anodou další elektrody, zesilující fotoemisní proud na principu sekundární emise. Tyto elektrody se nazývají **dynody** a bývá jich 10 až 17. Mají postupně rostoucí napětí od katody k anodě vždy o 100 až 500 V
- Při konstrukci vícestupňových fotonásobičů je nejvážnějším problémem zaostření paprsku sekundárních elektronů. Používá se zaostřování magnetickým polem. Dynody je možno uspořádat do kruhu a vložit do solenoidu. Při 10 dynodách je možno dosáhnout zesílení primární emise z katody až **dva miliony**.
- Fotonásobiče mohou zesilovat velmi slabé světelné signály (i jednotlivé fotony).
- Citlivost fotonásobičů je mezi 100 A/lm až 10 000 A/lm. Jsou použitelné do kmitočtu kolem 100 MHz a používají se pasivních noktovizorech (přístrojích pro noční vidění) a pro měření při slabém světle.

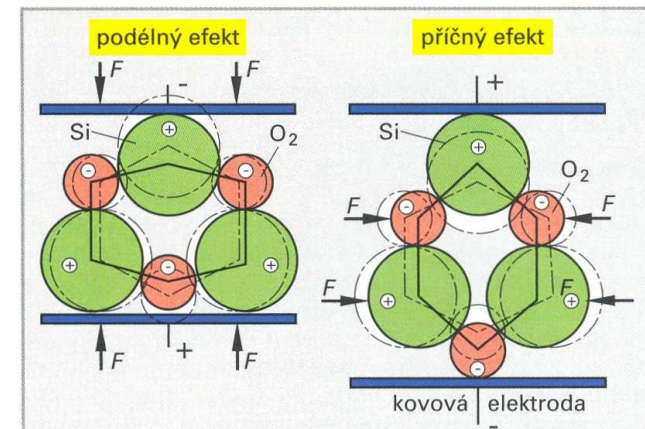
Princip fotonásobiče



Piezelektrické snímače

- V některých pevných látkách dochází vlivem mechanického napětí k takovému přesunutí nosičů elektrických nábojů, že mezi různými místy deformované látky vzniká elektrické napětí.
- K popsanému piezelektrickému efektu dochází např. u krystalů křemene (oxidu křemičitého SiO_2). K výrobě piezelektrických snímačů se většinou používá krystalů titančitanu/zirkoničitanu olovnatého. Tato krystalická struktura má 1000 krát větší piezelektrickou citlivost (1000 krát větší elektrické napětí při stejném mechanickém napětí) než krystaly křemene.
- Při **podélném piezelektrickém efektu** jsou záporné body krystalické mřížky posunuty proti kladným bodům mřížky. Mezi elektrodami na povrchu destičky piezelektrické krystalické látky je přitom možno naměřit elektrické napětí. Na stranách mechanického tlaku dochází k úbytku nábojů.
- Při **příčném piezelektrickém efektu** vznikají působením síly ve směru neutrální osy krystalu na protilehlých plochách v příčné ose (kolmé na neutrální osu) náboje, tj. příčné piezelektrické napětí.
- Při **posuvném piezelektrickém efektu** dochází k posunu těžiště kladných nábojů a k opačnému posunu těžiště záporných nábojů ve směrech kolmých ke směru tlakové síly na krystal.

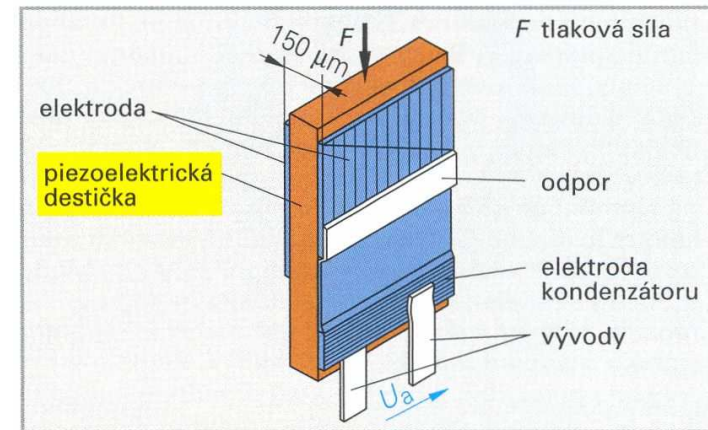
Podélný a příčný piezelektrický efekt



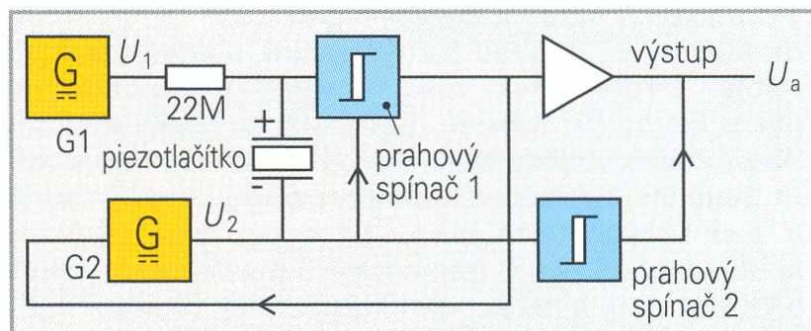
Piezelektrická tlačítka a spínače

- Piezelektrická tlačítka a piezelektrické koncové spínače spínají vlivem tlaku s nepatrným zdvihem. Na rozdíl od kapacitních a indukčních přibližovacích spínačů nemohou nechtěně sepnout vlivem přiblížení cizího předmětu nebo vlivem vlhkosti. Náhodný dotyk (malou silou) nezpůsobí sepnutí.
- Základem a nosným konstrukčním prvkem piezelektrického tlačítka je piezokeramická destička síly přibližně 0,15 mm. Při deformaci o 1 μm vlivem tlaku je napěťový signál vyvolaný příčným piezelektrickým efektem dostatečně silný. Součástí integrovaného tlačítka je i dolní pásmová RC-propust k odfiltrování nechtěných signálů způsobených akustickými vibracemi.

Piezelektrické tlačítko



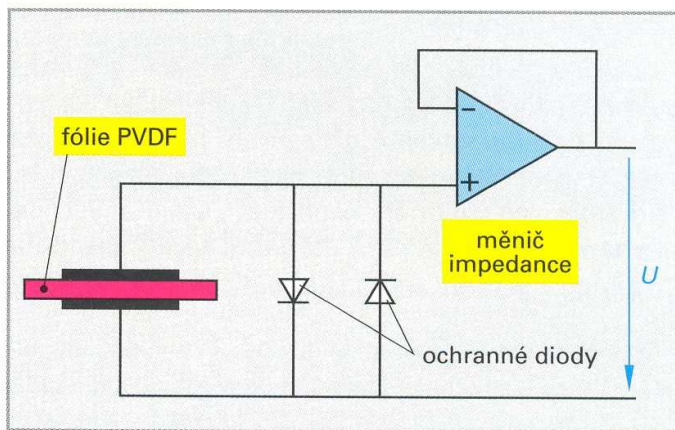
Zapojení tlakového piezelektrického spínače



Pyroelektrické snímače

- Při **pyroelektrickém efektu** (řecky pyros = oheň) je přeměňována tepelná energie na energii elektrickou v **homogenní látce** (na rozdíl od přeměny na rozhraní dvou látek u termočláňku).
- Pyroelektrický efekt je založen na natáčení elementárních elektrických dipólů vlivem tepla u některých látek, např. u polyvinylidifluoridu (PVDF). PVDF je termoplastická hmota, která je zde použita ve formě tenké fólie (<10 μm). Vzhledem k malé tloušťce má fólie nepatrnou tepelnou kapacitu, takže se její teplota mění s teplotou okolí téměř bez zpoždění.
- Natáčení elementárních dipólů vlivem teploty vede k přesunu elektrických nábojů ve fólii a ke vzniku napětí na přiložených elektrodách. Elektrický signál z pyroelektrického čidla je veden na vysokohomový vstup měniče impedance (operačního zesilovače), protože samotné čidlo nelze proudově zatížit.
- Pro případ velkého napětí při nárůstu teploty nad běžně sledovaný rozsah, je vstup zesilovače chráněn dvěma diodami, které signál nezkratují, pokud je v běžných mezích.

Zapojení pyroelektrického snímače

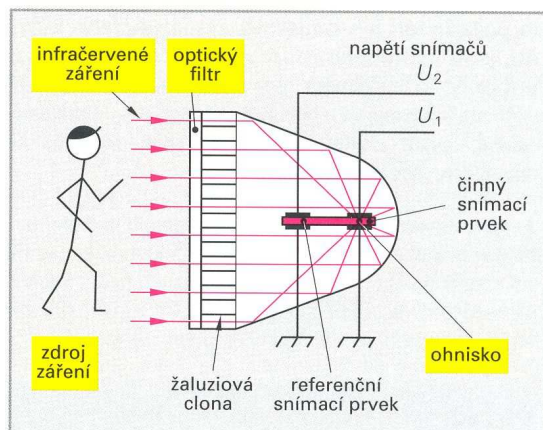


Infračervená prostorová čidla

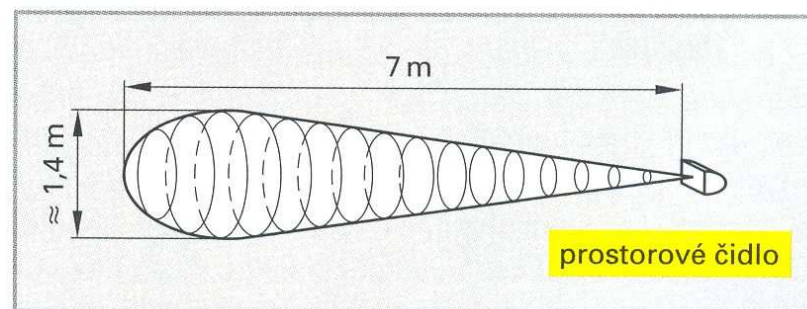
Infracitlivá prostorová pohybová čidla obsahují:

- pyroelektrické snímače PVDF a reagují na tepelné záření, které vyzařuje např. lidské tělo. Pro zvýšení citlivosti jsou snímače umístěny v ohnisku parabolického odražeče nebo spojné čočky
- Žaluziová clona zabraňuje vlivu rozptýleného záření z bočních směrů a určuje svou konstrukcí směrovou charakteristiku prostorového čidla

Infracitlivé prostorové čidlo



PIR (Passive Infra Red) hlásič



Směrová charakteristika prostorového čidla

- Změny teploty v místnosti jsou kompenzovány druhým (referenčním) snímačem, který je umístěn mimo ohnisko odražeče a je zapojen tak, že se jeho napětí odčítá od napětí snímače umístěného v ohnisku. Pásmová propust zadrží signály reagující na velmi pomalé změny, např. měnící se sluneční světlo osvětlující předměty v místnosti, a na velmi rychlé změny, např. rozsvícení lampy. Čidla tedy reagují jen na změny odpovídající svou rychlostí pohybům člověka.
- Šířkový diskriminátor pak potlačí pulzy příliš malé šířky, odpovídající příliš malému zdroji tepla (např. kočce), a pulzy příliš velké šířky, odpovídající příliš velkému zdroji tepla (např. náhlému osvětlení části místnosti sluncem, které bylo schováno za mraky). Infracitlivá prostorová čidla jsou také označována jako PIR hlásiče (Passive Infra Red = pasivní infračervené) nebo PIR čidla a bývají součástí bezpečnostních poplašných systémů.



Úprava signálu pyroelektrického snímače

Indukční snímače

Indukční princip je základem funkce aktivních indukčních čidel a snímačů, používaných ke snímání pohybu, zvláště při měření rychlosti a otáček. Výstupní indukované napětí snímače vzniká při **změnách magnetického toku**, vyvolaných pohybem cívky, změnami magnetického pole nebo změnami proudu a tím magnetického toku cívky.

- **Tachogenerátory** (řecky tachos = rychlost) se používají k měření otáček (resp. **frekvence otáčení**). Jsou konstruovány buďto jako dynama (stejnoseměrné generátory) s buzením permanentními statorovými magnety a vinutou kotvou s kolektorem a kartáči, nebo jako alternátory (generátory střídavého napětí). Protože po tachogenerátoru je požadován jen napěťový signál malého výkonu, jsou tachogenerátory malé. K měření otáček pohonů s měnícím se směrem otáčení se používají stejnosměrné tachogenerátory, tj. tachodynamy, která dávají napětí měnící polaritu se směrem měřených otáček.

Jmenovitým údajem tachogenerátorů je konstanta tachogenerátoru, udávající výstupní napětí vztahované na jednu otáčku za minutu, např. tachogenerátor s koeficientem $K_T = 0,01 \text{ V/min}$ má při 1000 otáčkách za minutu výstupní napětí 10 V.

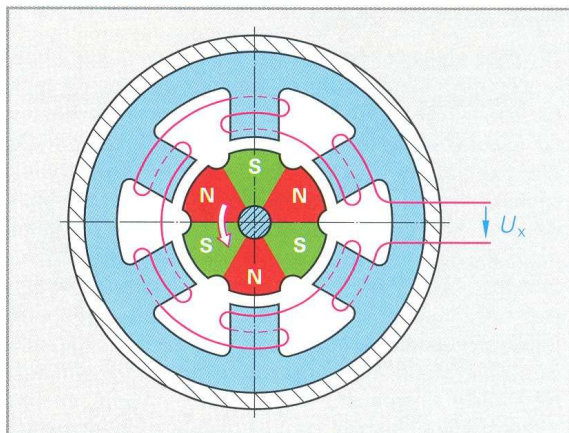
Napětí tachodynamy je přímo úměrně jeho otáčkám a jeho polarita se mění se směrem otáček.

- **Střídavé tachogenerátory** generují jednofázové nebo vícefázové střídavé napětí, které je nejprve usměrněno, většinou dvoučinným můstkovým usměrňovačem, vyhlazeno a pak přivedeno na vstup měřidla. Střídavé tachogenerátory se hodí k měření otáček v jednom směru, protože jejich výstupní napětí má stále stejnou polaritu bez ohledu na směr otáčení.

Tachogenerátory bývají často zabudovány v elektromotorech a odpadá pak spojení mezi motorem a tachogenerátorem, které může být zdrojem komplikací.

Napětí střídavého tachogenerátoru je přímo úměrně absolutní hodnotě kmitočtu otáček.

Princip střídavého tachogenerátoru



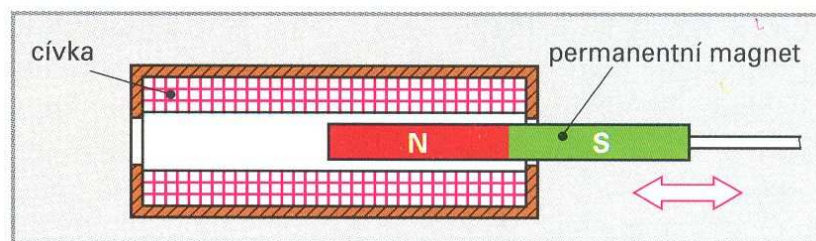
Snímače se zásuvným magnetem

- **Snímače se zásuvným magnetem** se skládají z válcové cívky a zásuvného jádra z permanentního magnetu. Na rozdíl od indukčních snímačů polohy snímají tyto snímače pouze **rychlost pohybu**.

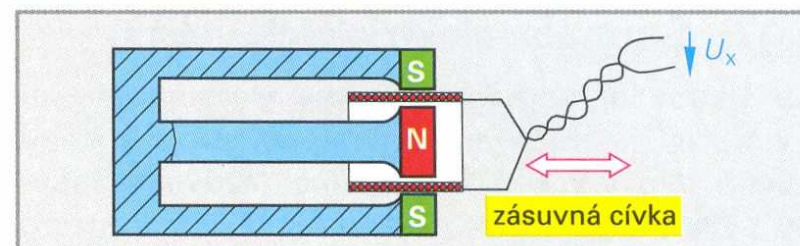
Napětí indukované na cívce je úměrné rychlosti pohybu magnetického jádra.

Při konstantní rychlosti pohybu je na cívce indukováno stejnosměrné napětí a při kmitavém pohybu jádra generuje cívka střídavý signál, odpovídající kmitočtu pohybu jádra.

Princip snímače se zásuvným magnetem



Snímač se zásuvnou cívkou

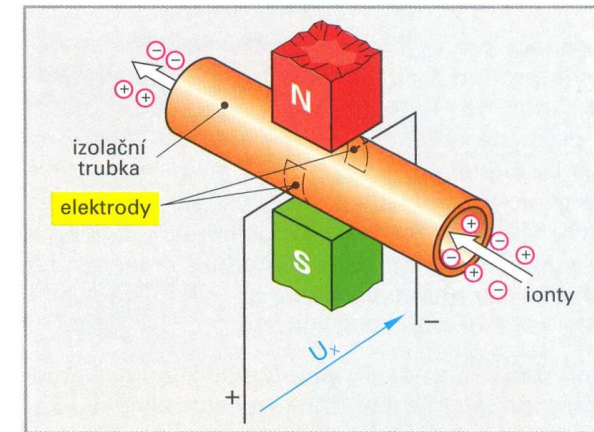


Snímače se zásuvnou cívkou se skládají z hrníčkového magnetu a zásuvné duté válcové cívky. Napětí indukované na cívce je úměrné rychlosti pohybu cívky. Tyto snímače se používají k měření kmitočtu vibrací s malým mechanickým rozkmitem, tj. s malou dráhou pohybu.

Indukční průtokoměry

- Skládají se z permanentního magnetu, izolační trubky umístěné mezi póly magnetu a dvou snímacích elektrod, které mají kontakt s vodivou kapalinou proudící trubkou.
- V proudící vodivé kapalině se podle indukčního zákona indukuje ve směru kolmém na směr proudící kapaliny a na směr magnetického pole příčné napětí, které je snímáno elektrodami na vnitřní straně trubky. *Toto napětí je úměrné střední rychlosti proudění kapaliny a závisí i na průměru trubky, je tedy úměrné objemové průtokové rychlosti kapaliny.*
- Některé průtokoměry vytvářejí pomocí elektromagnetu střídavé magnetické pole a jejich výstupem je střídavý signál.
- Indukční průtokoměry se vyznačují přesností měření, nezávislostí na poloze, schopností měřit i průtok velmi viskózních tekutin a nezávislostí měření na hustotě, tlaku a teplotě kapaliny.

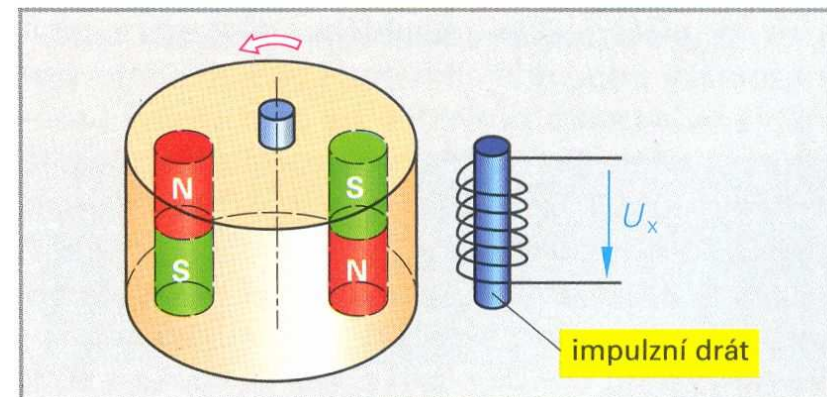
Indukční průtokoměr



Impulzní indukční snímače

- Jsou založeny na fyzikálním jevu okamžité změny směru magnetizace v magnetickém materiálu *vicalloy* (10% vanadu, 52% kobaltu, 38% železa) při změně indukce okolního magnetického pole přes určitou úroveň, a to bez ohledu na rychlost této změny.
- Je-li kolem tyčky nebo drátu z *vicalloye* navinuta cívka a magnetická indukce okolního pole přechází vlivem přiblížování a vzdalování permanentních magnetů upevněných na rotujícím tělese přes určitou prahovou úroveň, indukují impulzní změny směru magnetického pole *vicalloyového* drátu v této cívce napěťové impulzy.
- Impulzy z impulzního indukčního snímače nepotřebují další zesílení.

Impulzní indukční snímače

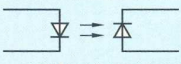
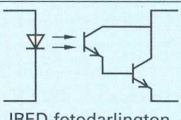
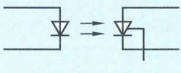


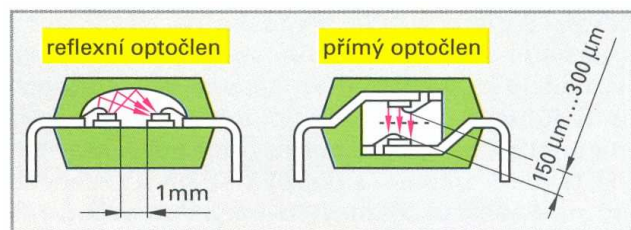
Optočleny

- Používají se pro galvanické oddělení obvodů
- V optočlenu je spojen vysílač na vstupu optočlenu s přijímačem na výstupu optočlenu pomocí infračerveného signálu. Vysílačem je v optočlenu infračervená LED, nebo též IRED (Infra Red Emitting Diode = infračerveně vyzařující dioda). Přijímačem je v optočlenu fotoelektrický (resp. infraelektrický) citlivý elektrický prvek, např. fototranzistor
- Vysílač a přijímač mohou v optočlenu ležet vedle sebe nebo proti sobě. Při poloze proti sobě bývá nejvyšší přípustné napětí mezi vstupem a výstupem optočlenu 600 V. Pro izolační napětí až 10 kV jsou na odpovídající větší vzdálenosti soustředěny vyzařované paprsky spojnou čočkou. Vysílač i přijímač jsou do jedné součástky optočlenu spojeny zalévací pryskyřicí
- Vstup a výstup optočlenu, tj. jeho vnitřní vysílač a přijímač, jsou galvanicky odděleny.
- Důležitým parametrem optočlenu je jeho stejnosměrné proudové zesílení, označené CTR (Current Transfer Ratio = proudový přenosový poměr).

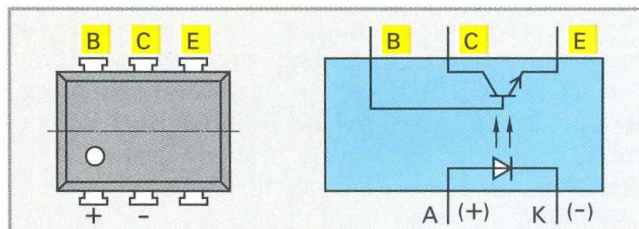
$$CTR = I_2 / I_1 \text{ kde je } I_2 \text{ výstupní proud, } I_1 \text{ vstupní proud}$$

Uspořádání optočlenů

Tabulka 1: Optočleny		
vnitřní skladba	typický horní mezní kmitočet	typická hodnota CTR
 IRED-fotodioda	do 10 MHz	do 0,002
 IRED-fotodarlington	do 10 kHz	do 500
 IRED-fototryistor	ne pro přenos analogových signálů, jinak do 10 kHz	není definována, odpovídá hodnotě do 100, také pro velké proudy



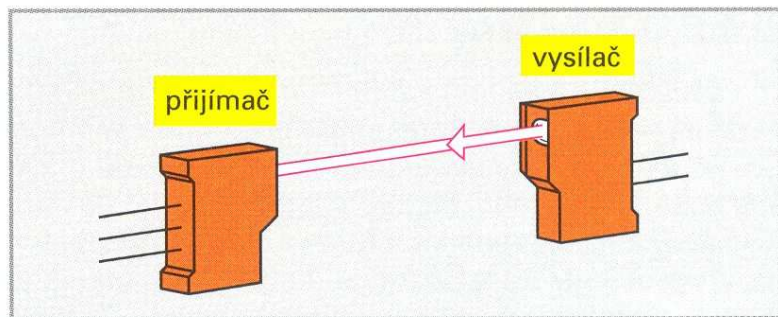
Vnitřní mechanické uspořádání optočlenů



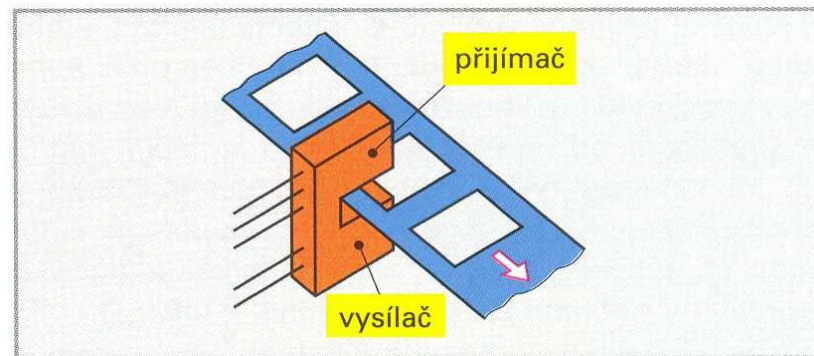
Praktické provedení optočlenů

Světelné závory

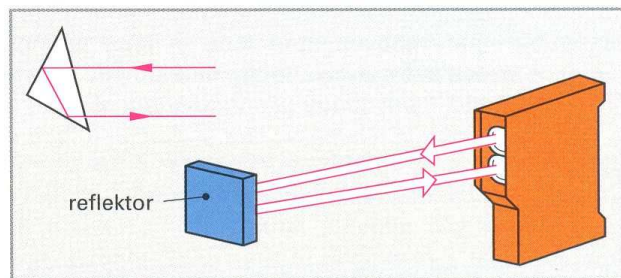
- Světelné závory pracují na stejném principu jako optočleny, avšak dráha mezi vysílačem a přijímačem záření je mnohem větší. Pracují téměř bez výjimky s infračerveným paprskem vysílaným galiumarsenidovou ILED s vlnovou délkou 850 nm.



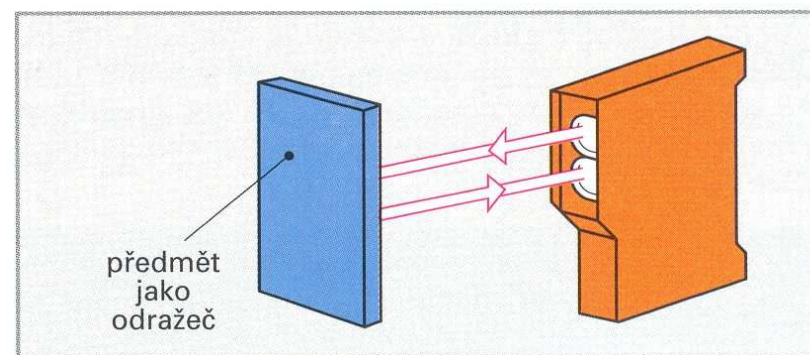
U světelné závory s **jedním směrem paprsku** jsou vysílač a přijímač odděleně umístěné díly a prostor mezi nimi hlídá paprsek procházející jen jedním směrem.



Jinou formou jednosměrné světelné závory je **štěrbinový paprskový snímač** tvořený jedním celkem, kterému stačí jediný signální i napájecí přívod. Tento štěrbinový snímač je však použitelný jen pro kontrolu průchodu malých předmětů.



Ke kontrole větších vzdáleností světelnou závorou s vysílačem i přijímačem, uspořádaných do jednoho konstrukčního celku, se používá **světelná závora s reflektorem paprsku**. Vysílač vyzařuje paprsek směrem k reflektoru, od kterého se paprsek odráží do přijímače. Reflektor má tvar vnitřního rohu krychle, vnitřku koule nebo jiné dutiny, která odráží dopadající paprsek zpět ve stejném směru bez ohledu na natočení (přesné nasměrování). Dutinový reflektor, tvořený někdy hranolem se zrcadlovými plochami se jednoduše nastavuje, ale vzhledem ke světelným ztrátám při více odrazech a dvou průchodech rozhraním vzduch sklo stačí na menší vzdálenosti než obtížně nastavitelné rovinné zrcadlo a používá se do vzdálenosti 10 m. Reflektor tvořený rovinným zrcadlem má lepší odrazivost, ale vyžaduje velmi přesné nastavení a pevné uchycení.

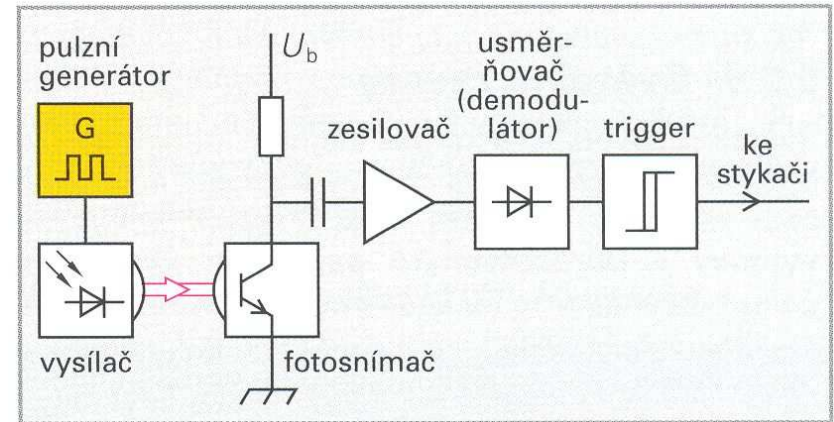


Na principu reflexní světelné závory pracují i **reflexní světelné spínače**, které reagují na přiblížení nebo vzdálení předmětu odrážejícího světlo. Dosah těchto reflexních spínačů bývá při indikaci dobře reflektujících předmětů do 3 m.

Režimy světelných závor

- Světelné závory mohou pracovat v režimu **stejnoseměrného** nebo **střídavého světelného signálu**.
- Ve **stejnoseměrném režimu** vyzařuje vysílač konstantní záření, které ovládá přijímač přes fotosnímač, zesilovač, Schmittův prahový spínač a stykač. Při stejnosměrném režimu může být přijímač nechtěně vybuzen např. odraženým slunečním paprskem.
- Ve **střídavém režimu** vyzařuje vysílač impulzy určité délky. Elektrické impulzy získané na straně přijímače z fotosnímače jsou vedeny přes oddělovací kondenzátor do zesilovače, pak usměrněny a v demodulátoru převedeny na stejnosměrný signál, který přepíná výstup jako při stejnosměrném režimu. Oddělovací kondenzátor zabrání vlivu stejnosměrné složky záření, např. slunečního světla. Nechtěné inicializaci světelné závory lze zabránit i jinými způsoby, např. odpojováním přijímače v mezerách mezi impulzy (protiporuchové vypínání).

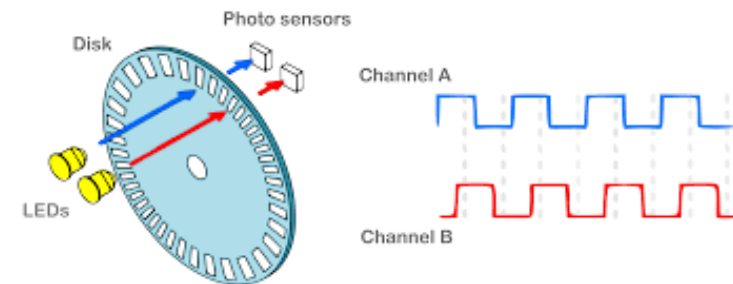
Zapojení pro střídavý režim světelné závory



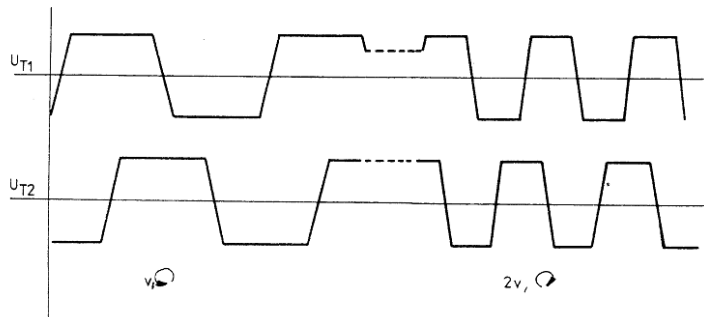
Inkrementální rotační čidla

- Princip šterbinové světelné závory. Používají se pro odměřování rotačního pohybu.
- Na osu motoru se připevní kódový kotouč s pravidelnými šterbinami (až stovky šterbin).
- Šterbiny jsou prosvěcovány zdrojem světla a detekovány fotodiodami. Čidlo generuje dva fázově posunuté obdélníkové signály (fáze určuje směr otáčení) a frekvence určuje rychlost otáčení. Některé typy generují třetí signál (Index), který generuje jeden impuls za otáčku.

IRC čidlo – princip činnosti



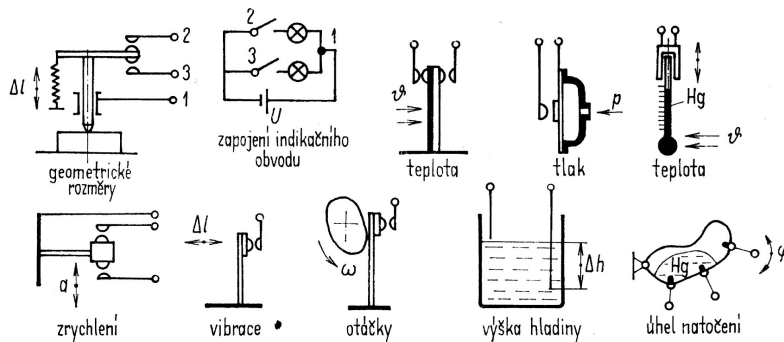
IRC čidlo HP5540



Průběhy výstupů z IRC – rozpoznání směru otáčení



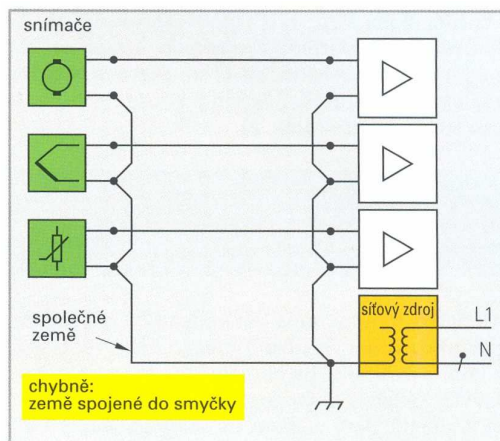
Jednoduchá čidla s binárním výstupem



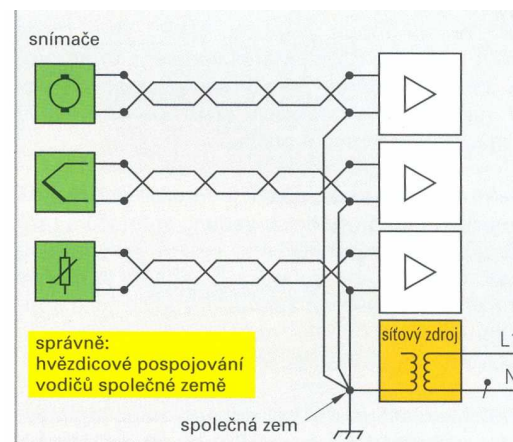
Rušení na měřicím vedení

- Přenos signálů mezi snímačem nebo čidlem a místem sledování nebo zpracování signálů na osciloskopu, PC nebo ukazatelích může být natolik rušen nebo zkreslen, že sledování, měření nebo zpracování není možné. Rušivé vlivy na vedení mohou být **galvanické, indukční nebo kapacitní**.
- **Galvanické rušivé** vlivy vznikají v těch částech vedení, které sdílí měřicí systém s jinými uživateli, např. na vedení přenášejícím ještě jiné měrné signály nebo řídicí signály nebo na energetických rozvodech využívaných měřicím systémem. Rušivé vlivy mohou proniknout společným zemnicím vodičem z jiných obvodů. Na přechodových odporech zásuvek a konektorů mohou vznikat rušivá střídavá napětí, která se přičítají k přenášenému signálu. Jednotlivé snímače musí mít svá vlastní měřicí vedení a zemnicí vodiče musí být spojeny hvězdicově do jednoho společného bodu. Měřicí obvod je nutno galvanicky oddělit od využívaného silového vedení. Oddělení může být elektromechanické pomocí relé, elektromagnetické pomocí sdělovacích transformátorů nebo optoelektronické pomocí optočlenů.

Chybné pospojování vodičů společné země



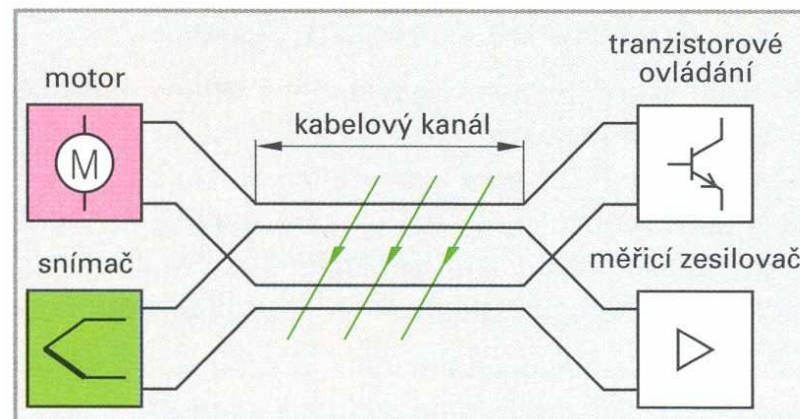
Správné pospojování vodičů společné země



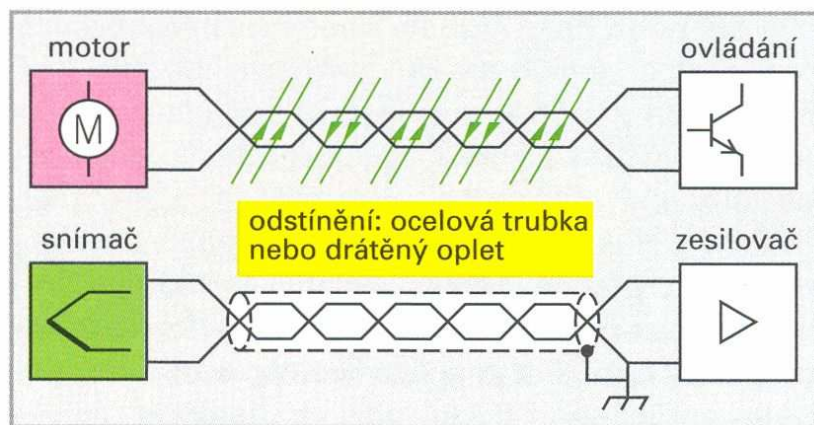
Indukované rušení

- Indukované rušivé vlny pronikají při změnách okolního magnetického pole indukční vazbou z jiného obvodu (přeslech) nebo ze silných elektromagnetických polí (např. u indukčních pecí).
- Rušivý signál může být naindukován na signální i zemnicí vodič a zvláště v místě, kde tvoří vodič smyčku. Jsou-li vodiče signální dvojlinky **stočeny**, odstraní se tím vliv smyčky neboť vznikne řada opačně orientovaných velmi malých smyček, jejichž vlivy se kompenzují.
- Stočení signálních vodičů do tzv. kroucené dvojlinky (**twisted pair**) má význam nejen jako ochrana před cizím rušením, ale jako **zábrana vysílání rušivých signálů**. Rušivé vlivy sousedních smyček se kompenzují.

Indukované rušení



Ochrana proti indukovanému rušení



Stínění spojené se zemí pouze na jednom konci

- Měřicí vedení by měla být vedena co nejdále od ostatních vedení a pokud možno ne rovnoběžně s nimi a rozhodně by neměla být uložena v kabelových kanálech s ovládacími a napájecími vodiči a kabely.
- Je-li vedeno do jednoho místa více měřicích vedení, může velký svodový proud vyvolaný úderem blesku naindukovat do ostatních vedení impuls vysokého napětí, který může zničit měřicí přístroje. Měřicí vedení je proto nutné chránit přepětovými ochranami, např. varistory na vstupech měřicích přístrojů, zesilovačů a měřicích ústředěn s počítači.
- Měřicí vedení může být stíněno např. opletem z tenkých měděných drátů, ve kterém vytvářejí rušivá vysokofrekvenční elektromagnetická pole vířivé proudy a neproniknou k vnitřním stíněným vodičům.

Kapacitní rušení

- Kapacitně přenášené rušivé vlivy se přenášejí při změnách okolního elektrického pole přes nežádoucí vzájemné kapacity souběžně uložených signálních vodičů různých obvodů nebo souběžně uložených různých kabelů. Kapacitní rušivé vlivy je možno omezit podobně jako elektromagnetické rušivé vlivy odděleným a vzdáleným ukládáním různých vedení.
- Kapacitní rušivé vlivy narůstají s kmitočtem rušivého signálu a se vstupní impedancí rušeného zařízení. Z tohoto hlediska není proudová smyčka tvořená snímačem s malým výstupním odporem a zesilovačem s malým vstupním odporem tak citlivá na kapacitně přenášené poruchy, jako vysokoohmová smyčka měřicího vedení.
- Kapacitní rušivé vlivy je možné potlačit stíněním z dobře vodivého materiálu. Stínění kabelu se spojuje se zemnicím vodičem vždy jen na jednom konci stíněného kabelu.

Nízkoohmové měřicí systémy jsou proti rušení odolnější než vysokoohmové měřicí systémy.

Obvody pro úpravu signálu

Elektrický signál z čidla je často nutno upravit, např.:

- upravit tvar
- zesílit
- odfiltrovat šумы
- zlinearizovat
-

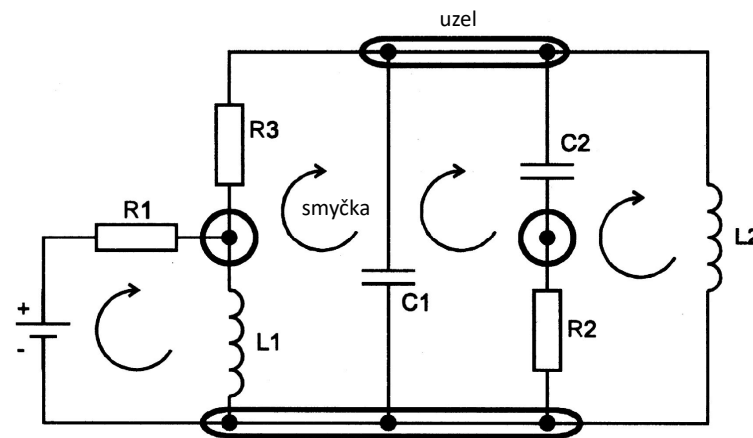
Tyto úpravy se provádí elektronickými obvody zařazenými za čidla.

Základy elektroniky

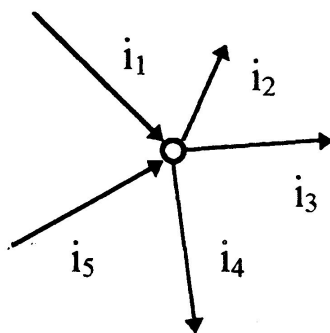
- **1. Kirchhoffův zákon** – součet proudů vstupujících do uzlu je roven součtu proudů z uzlu vystupujících (uzlové pravidlo)
- **2. Kirchhoffův zákon** – v uzavřené smyčce je součet všech napětí (na zdrojích i zátěžích) roven nule (smyčkové pravidlo)
- **Ohmův zákon** – vyjadřuje vztah mezi proudem, odporem a napětím $I=U/R$

Kirchhoffovy zákony platí jak lineárních, tak nelineárních obvodech

Elektrický obvod se smyčkami a uzly

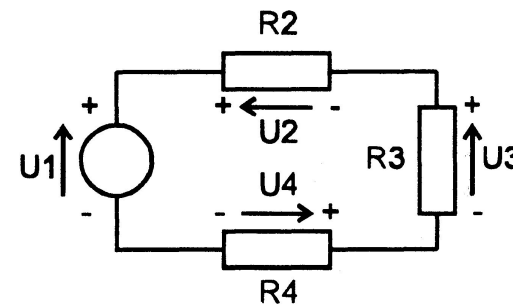


1. Kirchhoffův zákon



$$\sum_{j=1}^m i_j = 0$$

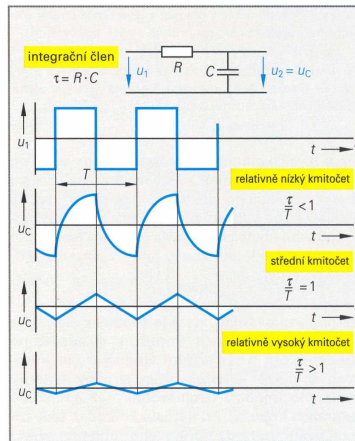
2. Kirchhoffův zákon



$$\sum_{i=1}^n U_i = 0$$

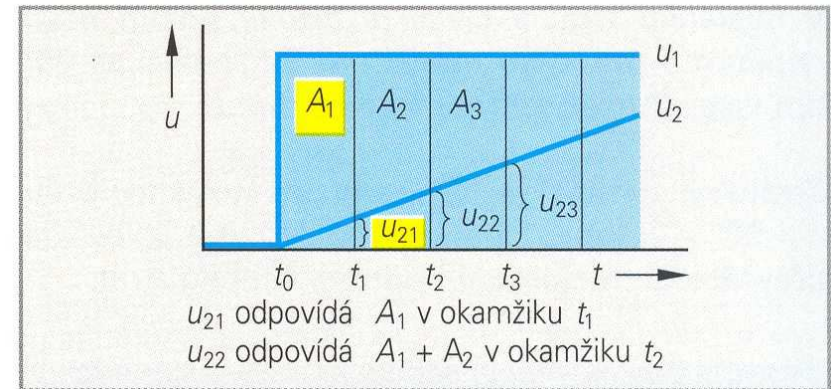
Tvarování impulsů

Integrační člen



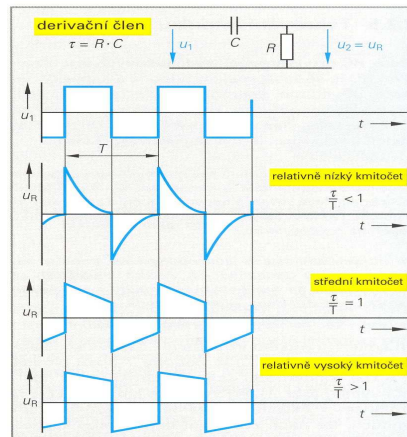
Chování integračního členu při různých frekvencích signálu

Integrace obdélníkového impulsu



Napětí na výstupu je přímo úměrné ploše (integrálu) vstupního impulsu

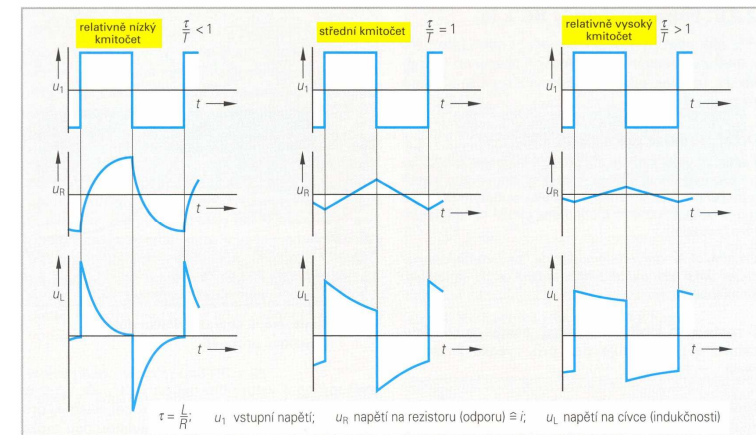
Derivační člen



Chování integračního členu při různých frekvencích signálu

Tvarování obdélníkových impulsů

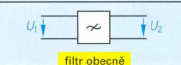
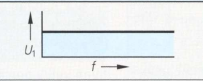
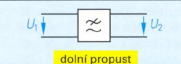
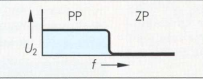
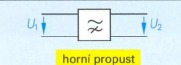
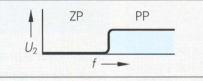
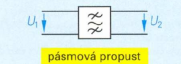
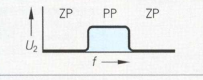
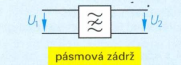
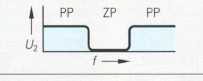
integračním a derivačním členem RL



Filtrační obvody RC a RL

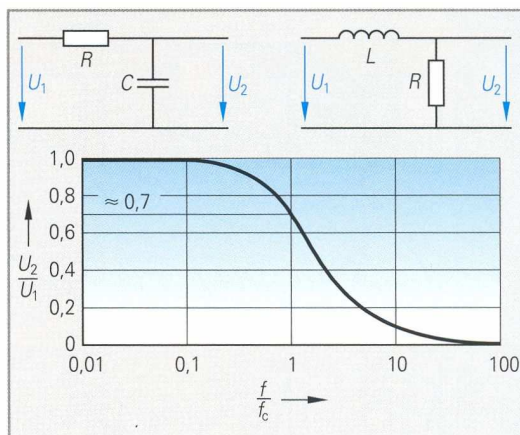
- Filtrační obvody slouží k potlačení nebo utlumení signálů v určitých kmitočtových pásmech. Lze tak odstranit z kmitočtového spektra nežádoucí signály, např. rušení, stejnosměrné složky, apod.
- Obvody mohou být pasivní (obsahují pouze členy RLC) nebo aktivní (obsahují zesilovače s RLC členy ve zpětné vazbě).

Filtry

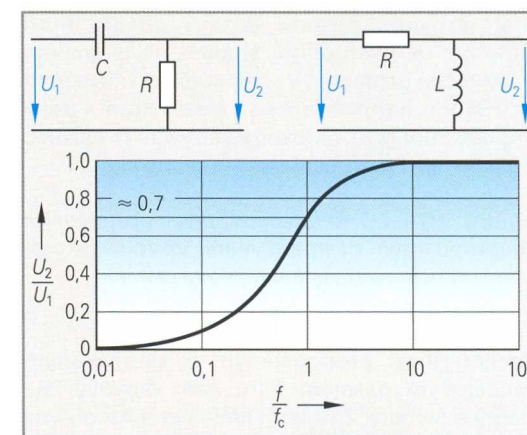
označení, symbol	kmitočtová charakteristika	popis funkce
 filtr obecně		na filtr je obecně přiváděn signál obsahující široké spektrum kmitočtů
 dolní propust		propouští nižší kmitočty a zadržuje (tlumí) vyšší kmitočty
 horní propust		propouští vyšší kmitočty a zadržuje (tlumí) nižší kmitočty
 pásmová propust		propouští kmitočty v určitém pásmu, ostatní zadržuje (tlumí)
 pásmová zadrž.		zadržuje kmitočty v určitém pásmu (tlumí je), ostatní propouští (málo tlumí)

ZP zadržované pásmo PP propouštěné pásmo

Kmitočtová charakteristika dolní pásmové propusti

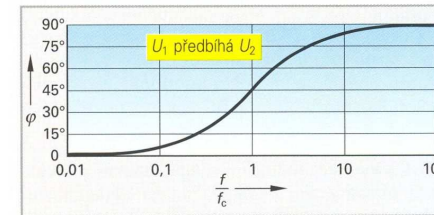


Kmitočtová charakteristika horní pásmové propusti

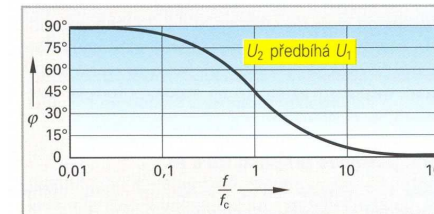


Úhel fázového posunu

- Úhel fázového posunu (fázový posun) mezi vstupním a výstupním sinusovým signálem u dolních propustí s rostoucím kmitočtem narůstá a u horních propustí klesá. Horní i dolní propusti mohou u širokopásmových zesilovačů způsobovat nežádoucí fázové posuny signálu.
- U filtrů RC, LC je přechod mezi propustným a nepropustným pásmem velmi pozvolný, protože je kmitočtově závislý jen jalový odpor.



Obr. 1 Úhel fázového posunu mezi U_1 a U_2 u dolní pásmové propusti



Obr. 2 Úhel fázového posunu mezi U_1 a U_2 u horní pásmové propusti

Mezní kmitočet

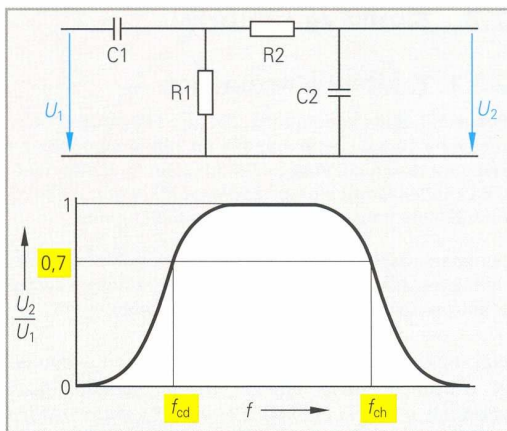
- Přechod mezi propouštěným a zadržovaným kmitočtovým pásmem filtru není skokový, ale spojitý a plynulý. Za mezní kmitočet mezi oběma pásmy je považován kmitočet, při kterém je reaktance kondenzátoru nebo cívky rovna odporu rezistoru.
- **Při mezním kmitočtu filtru je reaktance rovna činnému odporu.**

Výpočet mezního kmitočtu f_c

Pro mezní kmitočet platí	
$X = R$	$U_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} U_1$
$\frac{1}{2\pi f_c C} = R$	$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$
$2\pi f_c L = R$	$f_c = \frac{R}{2\pi L}$

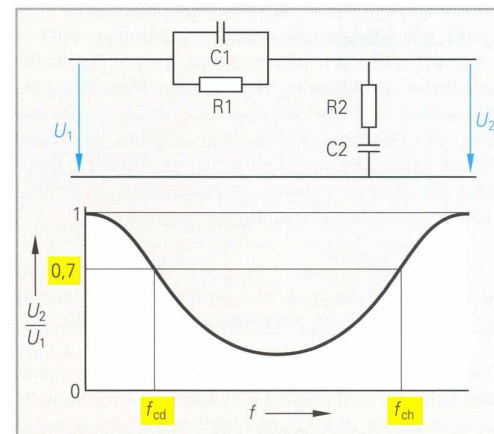
X	reaktance filtru
R	činný odpor filtru
U_1	vstupní napětí filtru
U_2	výstupní napětí filtru
f_c	mezní kmitočet
C	kapacita
L	indukčnost

Pásmová propust' RC



Složena z horní pásmové propusti na vstupu a následně připojené dolní pásmové propusti

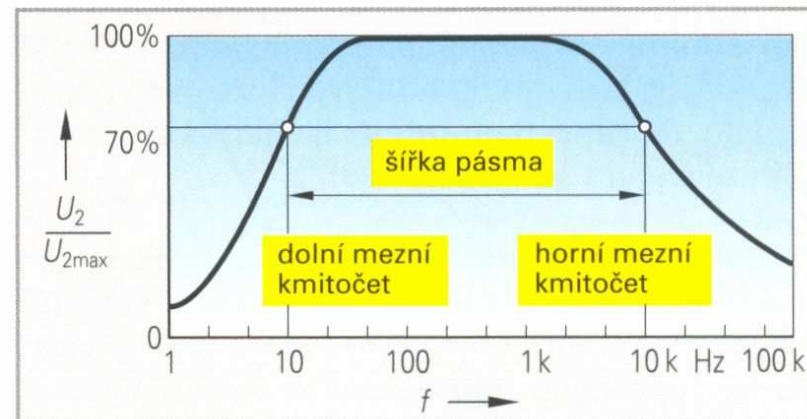
Pásmová zadrž' RC



Zesilovače

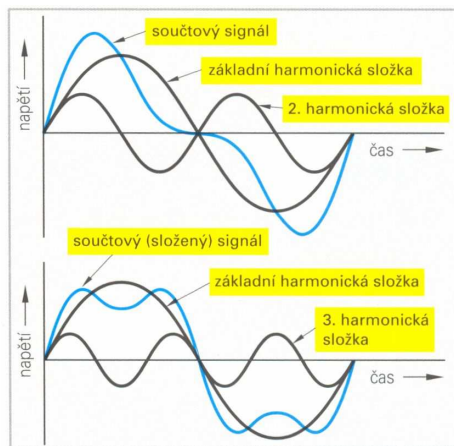
- Úlohou **zesilovače** je zesílit slabý signál na potřebnou úroveň
- Zesilovací stupeň má dvě vstupní svorky a dvě výstupní svorky pro signál. Je to tedy **čtyřpól**, nebo též **dvojbran**.
- Protože je činný výkon odebíraný z výstupních svorek zesilovače větší než vstupní činný výkon, jedná se o **aktivní čtyřpóly**.
- Aktivní čtyřpóly musí být připojeny na stejnosměrné napájecí napětí, tedy na zdroj energie, ze kterého dodávají energii výstupnímu signálu.
- Jako **zesilovací činitel** je označován poměr mezi výstupní veličinou (parametrem výstupního signálu) a odpovídající vstupní veličinou. Rozlišuje se:
 - proudové zesílení
 - napěťové zesílení
 - výkonové zesílení
- Kromě zesílení se u zesilovačů sleduje ještě **fázový posun** výstupního signálu oproti vstupnímu signálu, který může být i 180° a pak se jedná o **invertující** zesilovač.

Přenosová charakteristika zesilovače



Závislost (napěťového) zesílení sinusového signálu na jeho kmitočtu

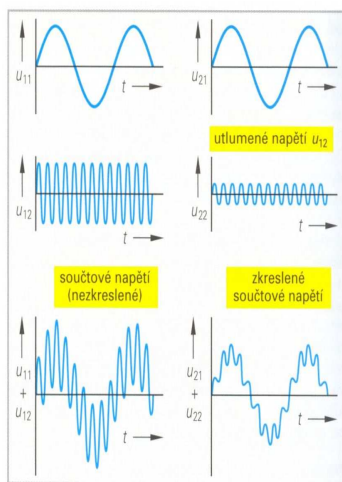
Sčítání harmonických složek signálu



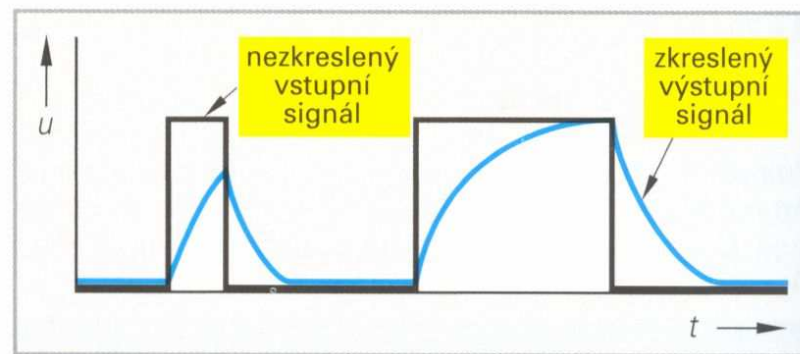
Každou periodickou funkci (vyjadřující např. tvar obdélníkových pulzů) lze vyjádřit jako součet sinusových funkcí s různými kmitočetmi (které jsou celé násobky základního kmitočtu periodické funkce) a různými amplitudami. Příklad skládání (superpozice) základního signálu s druhou harmonickou a pak se třetí harmonickou složkou je na obrázku. Harmonický rozklad periodické funkce je známý jako **Fourierova transformace**.

Zkreslení zesilovaného signálu

- Je-li mezi vstupním a výstupním průběhem signálu lineární vztah, tj. když se jejich grafy liší jen měřítkem na svislé ose (násobnou konstantou lineárního měřítka) jedná se o **lineární zkreslení**. Lineární zkreslení sinusového signálu změní pouze jeho amplitudu (nejedná se zde o tvarové zkreslení, pouze o lineární zesílení nebo zeslabení).
- Je-li signál složen z více harmonických kmitočtů, z nichž je každý jinak zesílen nebo jinak utlumen, dojde ke **kmitočtově závislému útlumovému zkreslení**.



Útlumové zkreslení

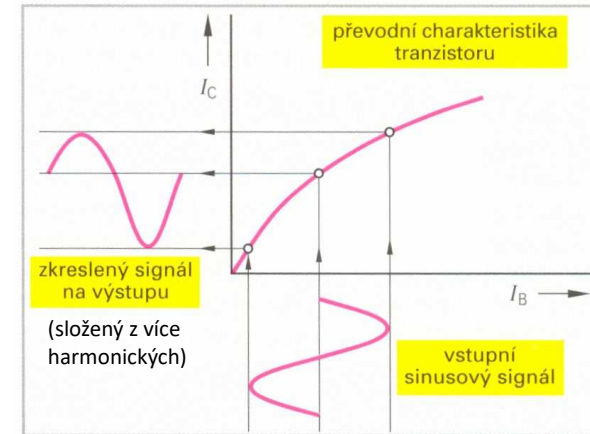


Útlumové zkreslení ovlivní výrazně tvary obdélníkových pulzů, jejichž harmonický rozklad na součet sinusových signálů obsahuje vysoké, harmonické kmitočty, které bývají přenosem silně utlumeny. Požadovaný horní mezní kmitočet přenosového pásma zesilovače lze vypočítat z požadované nástupní doby t_r , náběžné hrany zesíleného obdélníkového pulzu.

Nelineární zkreslení

- Není-li mezi výstupním a vstupním signálem lineární vztah, např. když charakteristika zesilujícího tranzistoru není lineární, vzniká nelineární zkreslení (tvarové zkreslení) signálu. Na nelineární charakteristice tranzistoru (zesilovače) dojde k tvarovému zkreslení každého dílčího sinusového signálu (myšleného harmonického rozkladu zesilovaného signálu) a tím vzniknou (v myšleném rozkladu) další vyšší harmonické složky.

Nelineární zkreslení



Zesilovače s bipolárními tranzistory

Tabulka 1: Základní zapojení tranzistoru			
typ zapojení	zapojení se společným emitorem	zapojení se společným kolektorem	zapojení se společnou bází
schéma zapojení			
proudový zesilovací činitel	velký, např. 300	velký, např. 300	< 1
napěťový zesilovací činitel	velký, např. 300	< 1	velký, např. 100
výkonový zesilovací činitel	velký, např. 30 000	velký, např. 300	velký, např. 200
vstupní impedance	střední, např. 5 kΩ	velká, např. 50 kΩ	malá, např. 50 Ω
výstupní impedance	velká, např. 10 kΩ	malá, např. 100 Ω	velká, např. 10 kΩ
fáze výstupu oproti vstupu	v protifázi	ve fázi	ve fázi

Udané hodnoty platí pro tranzistory NPN malého výkonu při nízkých kmitočtech

Vlastnosti různých základních zapojení

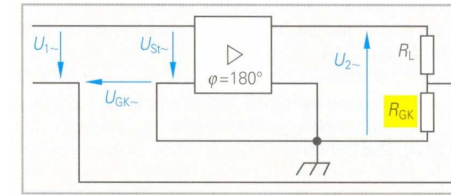
Vázání víceúrovňových zesilovačů

Tabulka 1: Vázby mezi stupni zesilovačů			
kapacitní vazba s členy RC	odporová (přímá) vazba (emitorová vazba NPN-NPN)	odporová (přímá) vazba (kolektorová vazba NPN-PNP)	transformátorová vazba
Vazební kondenzátor C_k propuští střídavý signál a odděluje stejnosměrnou složku. Nevýhoda: zesílení je kmitočtově závislé, protože C_k tvoří se vstupním odporem dalšího stupně horní propust. Výhoda: nezávislost nastavení pracovních bodů	Předpětí báze je rozdíl napětí mezi oběma emitorovými odpory. Nevýhoda: pracovní bod V2 závisí na V1. Výhoda: kmitočtově nezávislá vazba, použitelná u stejnosměrných zesilovačů. V1 má při společném kolektoru malý výstupní odpor a dobré přizpůsobení na V2.	Předpětí báze V2 je rozdíl mezi U_{CE1} (5,3 V) a U_{RE2} (6 V). Oba tranzistory jsou v zapojení se společným emitorem. Nevýhoda: pracovní bod V2 závisí na V1. V2 potřebuje velký emitorový odpor (velká ztráta napětí). Výhoda: kmitočtově nezávislá vazba, použitelná u stejnosměrných zesilovačů.	Transformátor propuští střídavý signál a odděluje stejnosměrnou složku. Nevýhoda: omezená šířka přeneseného pásma, relativně drahý a těžší transformátor. Výhody: možnost výkonového přizpůsobení. Nezávislost nastavení pracovních bodů.

Zpětná vazba

- Je-li část výstupní energie, resp. výstupního napětí zesilovače přivedena zpět na vstup a smíšena se vstupním signálem, nazývá se tato energie resp. toto napětí **zpětná vazba**. Je-li část zpětně vráceného signálu ve fázi se vstupním signálem, nazývá se **kladná zpětná vazba**, je-li v protifázi, nazývá se **záporná (negativní) zpětná vazba**. Poměr velikosti (amplitudy) zpět vedeného signálu a amplitudy výstupního signálu se nazývá **činitel zpětné vazby**.
- **Zesilovací činitel** je vlivem záporné zpětné vazby menší, neboť záporná zpětná vazba zmenšuje vstupní signál.

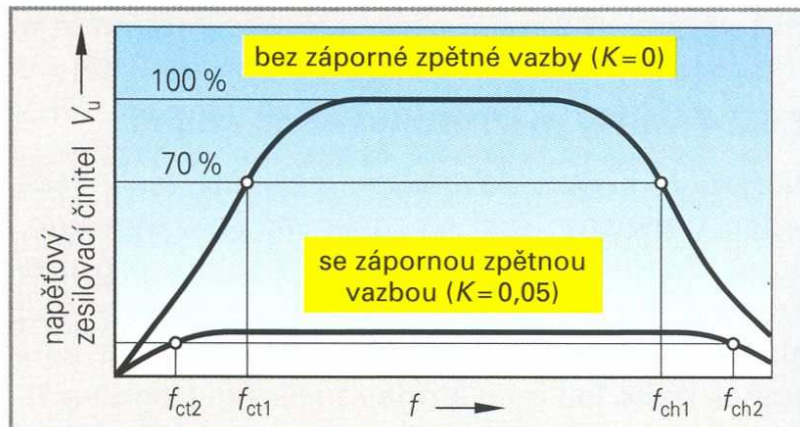
Princip záporné zpětné vazby



$$V_u' = \frac{V_u}{1 + K \cdot V_u}$$

V_u' zesilovací činitel napětí při záporné zpětné vazbě
 V_u zesilovací činitel napětí bez zpětné vazby
 K činitel zpětné vazby

Přenosová charakteristika zesilovače se zápornou zpětnou vazbou



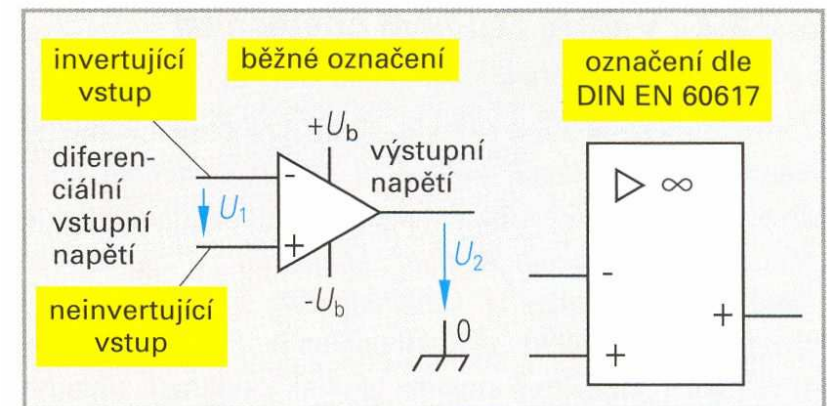
Zavedení záporné zpětné vazby zvětší šířku přenášeného frekvenčního pásma

Operační zesilovač

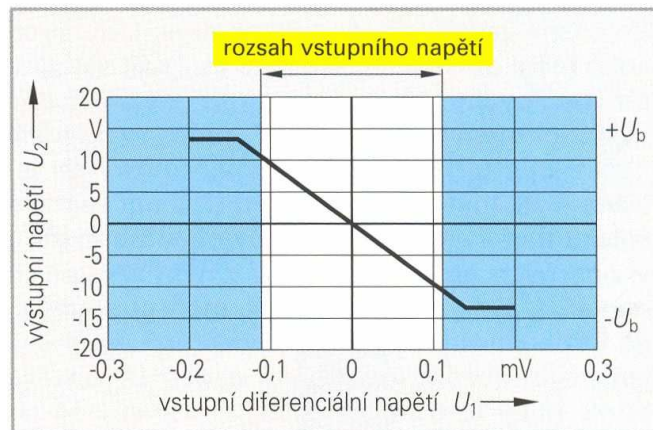
- Operační zesilovače (OZ) byly původně jednotky analogových počítačů, realizující matematické operace. Pracovaly jako stejnosměrné zesilovače. Současné operační zesilovače jsou vyráběny v integrované podobě jako jedna součástka.
- Ideální operační zesilovač má nekonečné zesílení, nekonečný vstupní odpor a nulový výstupní odpor.
- Reálný operační zesilovač je stejnosměrný širokopásmový zesilovač s velkým zesílením (např. až 1 milion), s velkým vstupním odporem (dle provedení stovky $M\Omega$ až $G\Omega$) a malým výstupním odporem (desetiny Ω).
- Použitím vhodné zpětné vazby lze s OZ realizovat různé přenosové funkce, jak lineární, tak i nelineární.

Schematická značka OZ

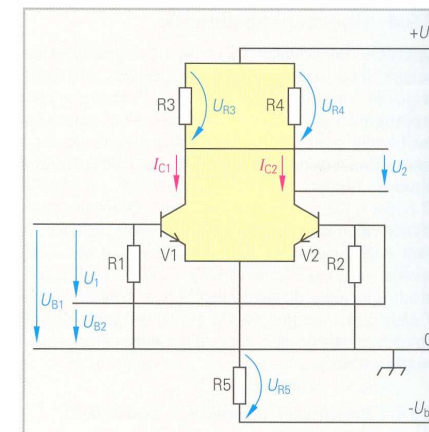
- Operační zesilovač má dva vstupy (**invertující a neinvertující**) pro rozdílové vstupní napětí U_1 , jeden vývod pro výstupní napětí U_2 , 2 vývody pro napájení případně další pomocné vývody. Vstupní i výstupní napětí se měří proti zemi, spojené s minus vývodem pro napájení. Výstupní napětí U_2 má opačné znaménko než vstupní diferenciální napětí mezi vstupy. Je-li vstupní diferenciální napětí např. 0,1 mV, pak může být výstupní napětí např. -10 V (z důvodu vysokého zesílení). Při této znaménkové konvenci se měří vstupní diferenciální napětí na neinvertujícím vstupu označovaném + oproti invertujícímu vstupu označovaném - (minus) a výstupní napětí se měří na výstupu proti zemi.



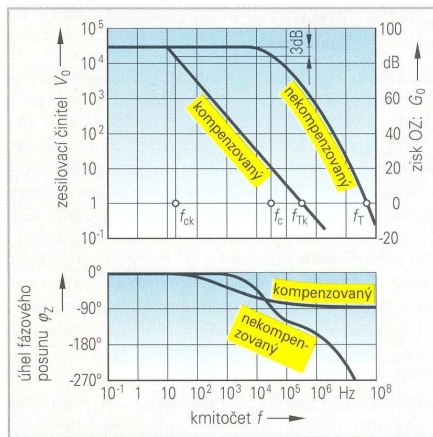
Přenosová charakteristika OZ



Vstupní diferenciální zesilovač OZ

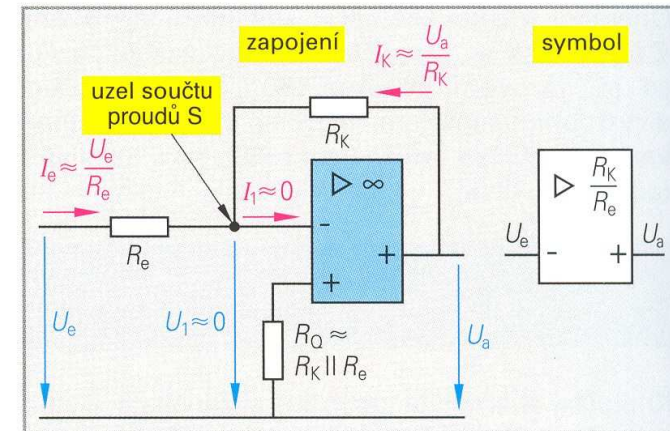


Kmitočtové charakteristiky OZ



Operační zesilovač bez kmitočtové kompenzace je náchylný k vysokofrekvenčnímu rozkmitání

Základní obvody s OZ Invertující zesilovač

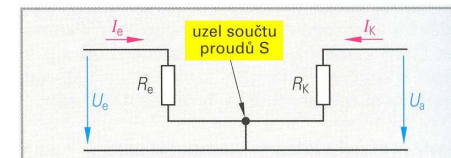


24

Invertující zesilovač

- Neinvertující vstup je přes odpor R_k uzemněn a vstupní signál je přiváděn přes vstupní odpor R_e na invertující vstup. Signál je invertován a v závislosti na zpětnovazebním odporu R_k zesílen. Ke kompenzaci fázového posunu napětí vlivem malého vstupního proudu I_1 (při přímém uzemnění neinvertujícího vstupu) je neinvertující vstup někdy uzemňován přes odpor R_o velikosti rovné přibližně paralelní kombinaci vstupního a zpětnovazebního odporu, tj. $R_o = R_e \cdot R_k / (R_e + R_k)$. V mnoha případech je však neinvertující vstup uzemňován přímo.
- V zapojeních s velkým zesílením OZ je rozdílové napětí U_1 mezi vstupy OZ velmi malé a vstupní proud I_1 je rovněž velmi malý. Uzel S, ve kterém se sčítá vstupní proud I_e a zpětnovazební proud I_k tak leží prakticky na referenčním potenciálu (na zemi) vstupního a výstupního napětí. Při nepatrném vstupním proudu $I_1 \approx 0$ je v uzlu S nulový součet $I_k + I_e = 0$, tj. $I_k = -I_e$. Vstupní proud I_e tedy prochází jako určující proud přes R_k na výstup zesilovače. Výstupní napětí je potom $U_a = -I_e \cdot R_k$.

Náhradní schéma invertujícího zesilovače



Obr. 2 Náhradní schéma pro výpočet výstupního napětí

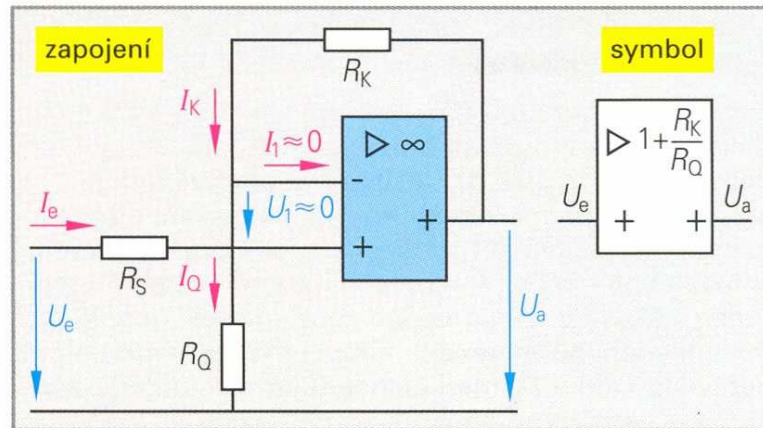
$$U_a = -\frac{R_k}{R_e} \cdot U_e$$

$$V_u = -\frac{R_k}{R_e}$$

U_a výstupní napětí
 R_k zpětnovazební odpor
 R_e vstupní odpor
 U_e vstupní napětí
 V_u napěťový zesilovací činitel (zesílení)

Zesílení je dáno 25

Neinvertující zesilovač

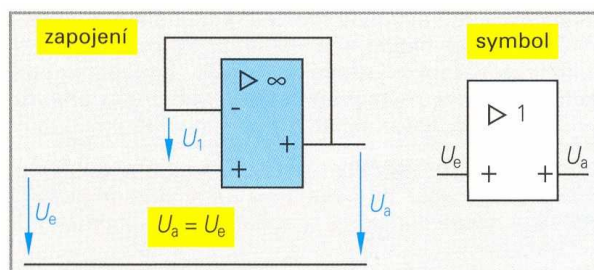


Základní zapojení

Neinvertující zesilovač

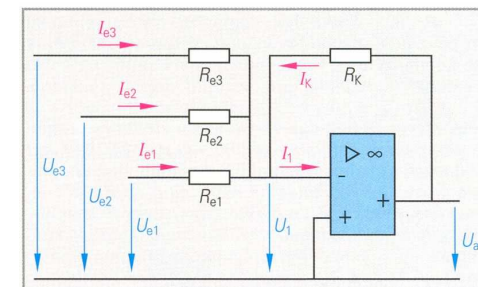
- U neinvertujícího zesilovače mají vstupní a výstupní napětí stejná znaménka (stejnou polaritu). Vstupní napětí je přiváděno přes vstupní odpor R_s na neinvertující vstup. Vstupní odpor slouží jen k omezení vstupního klidového proudu a může být vynechán. Vstupní proud I_e je vzhledem k velké vstupní impedanci OZ velmi malý. Zdroj napětí U_e proto není téměř vůbec zatěžován.
- Výstupní napětí U_k je přes zpětnovazební odpor R_k přivedeno zpět na invertující vstup. Zpětnovazební proud I_k prochází, vzhledem k proudu $I_1 \approx 0$, téměř nezměněný přes R_Q . Vzhledem k velkému zesílení OZ je $U_1 \approx 0V$. Pak je $I_k = U_a / (R_Q + R_k)$, $I_Q = U_e / R_Q$. Pro $I_k = I_Q$ pak bude výstupní napětí zesilovače $U_a = U_e \cdot (1 + R_k/R_Q)$.

Měnič impedance



Měnič impedance (**napěťový sledovač**) má stejné výstupní i vstupní napětí $U_a = U_e$. Vstupní impedance celkového zapojení zesilovače by měla být hodně velká, aby zdroj napětí U_e nebyl zatěžován. Výstupní vnitřní odpor by měl být malý. Těchto parametrů lze dosáhnout s OZ v neinvertujícím zapojení se zpětnovazebním odporem $R_k = 0$ a příčným odporem $R_Q = \infty$. Obvod z důvodu velmi vysokého vstupního odporu prakticky nezatěžuje zdroj napětí (vhodné např. pro termoelektrické články).

Součtový zesilovač



Součtový zesilovač (**sumátor**) slouží ke sčítání více signálů a zesilování jejich součtu. Velikosti vstupních signálů jsou upraveny vstupními odpory. Za podmínek $U_1 \approx 0$ a $I_1 \approx 0$ pak pro dílčí vstupní proudy a zpětnovazební proud platí:

$$I_{e1} = U_{e1}/R_{e1} \quad I_{e2} = U_{e2}/R_{e2} \quad I_k = U_a/R_k \quad -I_k = I_{e1} + I_{e2} + \dots$$

Vstupní odpory tak upravují i zesílení jednotlivých vstupních napětí.

Pro neinvertující zesilovač:

$$U_a = \left(1 + \frac{R_K}{R_Q}\right) \cdot U_e$$

$$V_u = 1 + \frac{R_K}{R_Q}$$

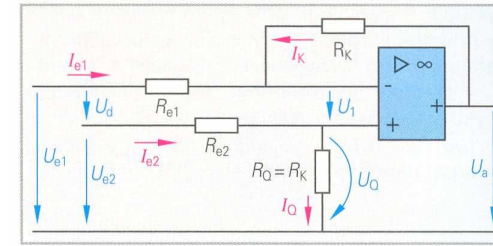
Pro součtový zesilovač:

$$-U_a = \frac{R_K}{R_{e1}} \cdot U_{e1} + \frac{R_K}{R_{e2}} \cdot U_{e2} + \dots$$

U_a výstupní napětí
 R_K zpětnovazební odpor
 R_Q vstupní příčný odpor
 U_e vstupní napětí
 V_u napěťový zesilovací činitel
 R_{e1}, R_{e2}, \dots vstupní odpory
 U_{e1}, U_{e2}, \dots vstupní napětí

Vzorce pro výpočet výstupního napětí

Rozdílový zesilovač



Odčítací zesilovač zesiluje rozdílové napětí $U_d = U_{e1} - U_{e2}$, modifikované vstupními odpory R_{e1}, R_{e2} na vstupní rozdílové napětí U_1 . Většinou je používá zapojení se stejnými vstupními odpory $R_{e1} = R_{e2}$ k zesílení a současnému potenciálovému oddělení napětí U_d měřeného signálu, zvláště když měřené napětí není potenciálově nezávislé (oddělené). Např. napětí můstkového měřidla pro měření průhybu materiálu je potenciálově nezávislé. Odpor R_Q mezi neinvertujícím vstupem a zemí je třeba volit stejně velký jako zpětnovazební odpor R_K . V rozdílovém zesilovači musí být oba vstupní odpory stejné $R_{e1} = R_{e2}$, aby byly vytvořeny stejné vstupní podmínky pro obě napětí a tím se dosáhlo co nejvyššího činitele potlačení součtového signálu. Zesílení je pak dáno poměrem zpětnovazebního a vstupního odporu a rozdílem vstupních napětí.

Pro $V_{u1} \ll V_0$ a $V_{u2} \gg V_0$:

$$U_a = V_{u2} \cdot U_{e2} - V_{u1} \cdot U_{e1}$$

$$V_{u2} = \frac{1 + \frac{R_K}{R_{e1}}}{1 + \frac{R_{e2}}{R_Q}}$$

$$V_{u1} = \frac{R_K}{R_{e1}}$$

Pro $R_{e1} = R_{e2}$ (rozdílový zesilovač):

$$U_a = \frac{R_K}{R_e} \cdot U_d$$

$$V_{u1} = V_{u2} = \frac{R_K}{R_e}$$

U_a výstupní napětí
 V_{u1}, V_{u2} napěťové zesílení
 U_d rozdíl vstupních napětí
 U_{e1} vstupní napětí na invertujícím vstupu
 U_{e2} vstupní napětí na neinvertujícím vstupu
 R_{e1}, R_{e2} vstupní odpory
 R_K zpětnovazební odpor
 R_Q příčný odpor

Vzorce pro rozdílový zesilovač

Derivátor, derivující zesilovač

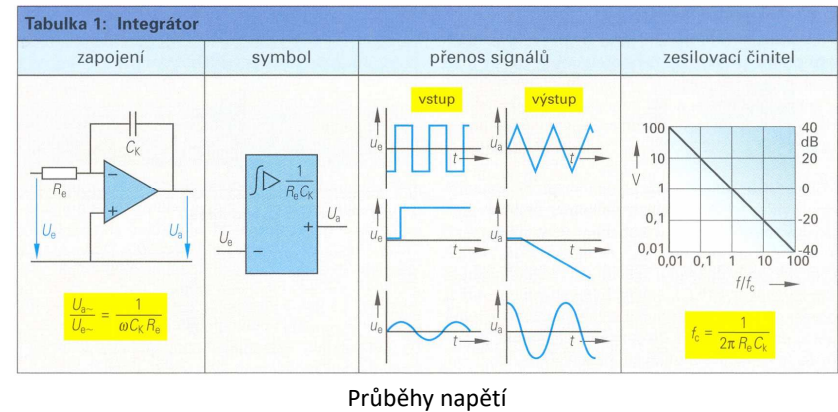
Tabulka 1: Derivátor (derivující zesilovač)			
zapojení	symbol	přenos signálů	zesilovací činitel
$\frac{U_{b-}}{U_{b+}} = R_K \omega C_e$			$f_c = \frac{1}{2\pi R_K C_e}$

Průběhy napětí

Derivující zesilovač

- Signál na výstupu derivátoru je úměrný derivaci (průběhu) vstupního signálu: $U_a = -R_k \cdot C_e \cdot dU_e/dt$. Na výstupu derivátoru je napětí jen při změně napětí na vstupu. Vstupním členem je zde kondenzátor s kapacitou C_e , která je při kmitočtu f vstupního signálu pro vstupní signál reaktancí $X_c = 1/2\pi f C_e = 1/(\omega \cdot C_e)$. Zpětnovazebním členem je činný odpor R_k .
- Derivátor se chová podobně jako pasivní derivační člen RC. Derivací střídavých obdélníkových pulzů vzniknou střídavé jehlové pulzy, derivací lineárně rostoucího napětí je lineární konstantní napětí a derivací sinusovky je kosinus, tj. fázově posunutá sinusovka. Sinusové signály s kmitočtem $f > f_c = 1/(2\pi \cdot R_k \cdot C_e)$ jsou zesíleny a signály s kmitočtem $f < f_c$ jsou zeslabeny. Derivátor působí jako **horní propust**.

Integrátor, integrující zesilovač



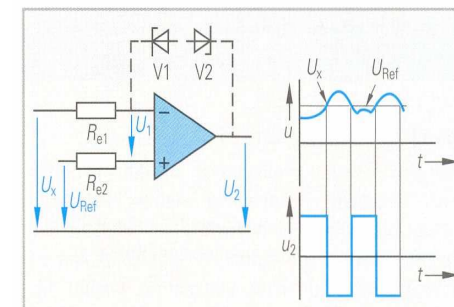
Integrující zesilovač

- Vstupním členem integrátoru je činný odpor R_e a zpětnovazebním členem je kondenzátor s kapacitou C_k . Pro výstupní napětí platí vztah

$$U_a = -1/(R_e \cdot C_k) \int_0^t U_e dt + U_{a0}$$

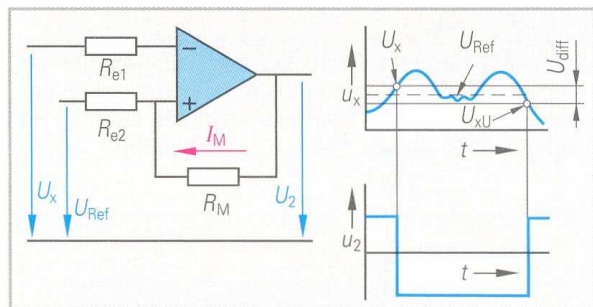
- Proud I_e procházející přes odpor R_e jde přes součtový uzel do kondenzátoru a nabíjí jej na výstupní napětí U_a . Výstupní napětí narůstá s časem rychlostí nepřímo úměrnou časové konstantě $R_e \cdot C_k$. Integrátor se chová podobně jako pasivní integrační člen. Integrací střídavých obdélníkových pulzů s periodou $T \leq R_e \cdot C_k$ vzniknou trojúhelníkové střídavé pulzy. Integrací sinusových pulzů vzniknou sinusové kmitky fázově posunutě o 90° . Amplituda sinusových kmitů pro kmitočty $f > f_c = 1/(2\pi R_e C_k)$ se zmenší (signál se utlumí) a pro $f < f_c$ se zesílí. Integrátor působí jako **dolní propust**.

Napěťový komparátor



Komparátor je jednou z aplikací, kdy OZ pracuje bez zpětné vazby, tedy s plným zesílením. Na neinvertující vstup je přivedeno tzv. referenční napětí U_{ref} a na invertující vstup testované napětí U_x . Při $U_x < U_{ref}$ je na výstupu maximální kladné výstupní napětí a při $U_x > U_{ref}$ je na výstupu maximální záporné napětí. Rozpětí výstupního napětí je možno omezit do požadovaných mezí dvěma protisměrně zapojenými Zenerovými diodami. Komparátory reagují citlivě na velmi malá rozdílová napětí $U_1 = 1 \mu V$ nebo i menší.

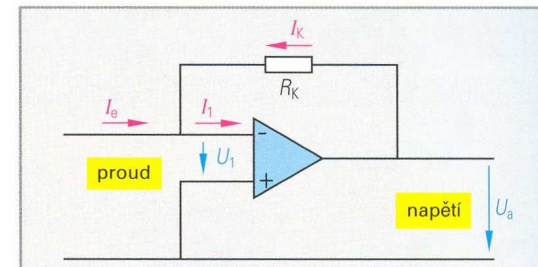
Komparátor s hysterezí



35

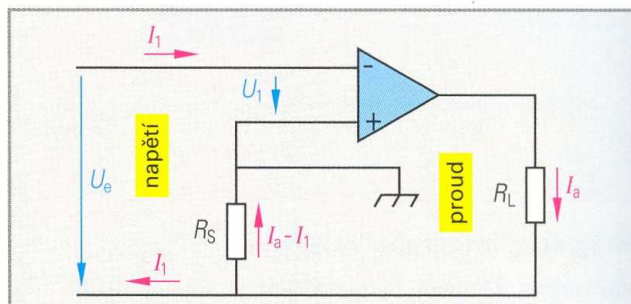
Při mnohých aplikacích, např. v regulační technice při dvoustavové regulaci, musí mít regulátor požadovanou přepínací (spínací) diferenci U_{diff} , kterou lze nastavit zpětnovazebním odporem R_M jako kladnou zpětnou vazbu. Čím je zpětnovazební odpor menší, tím větší je přepínací diference (**hystereze** komparátoru). Eliminuje špatné vyhodnocení při zákmitech kolem U_{ref} .

Převodník proud-napětí



Převodník proud-napětí převádí průběh vstupního proudu I_e proporcionálně na průběh výstupního napětí U_a . Převodník je využíván v měřicí technice a při přenosu signálu, jejichž zdroj poskytuje jen proudové signály malé intenzity. Výstupní napětí převodníku proud-napětí je úměrné vstupnímu proudu.

Převodník napětí-proud



Výstupní proud převodníku napětí-proud je přímo úměrný vstupnímu napětí. Výstupní proud I_a je nezávislý na zatěžovacím odporu, je řízen převodníkem a stabilizován na určité hodnotě úměrné vstupnímu napětí U_e . Předpokladem ovšem je, aby zatěžovací odpor byl jen tak velký, aby nebylo překročeno přípustné výstupní napětí.

Pro převodník proud-napětí

$$I_1 \approx 0 \Rightarrow I_K \approx -I_e$$

$$U_1 \approx 0 \Rightarrow U_a \approx R_K \cdot I_K$$

$$U_a \approx -R_K \cdot I_e$$

Pro převodník napětí-proud

$$U_1 \approx 0 \text{ a } I_1 \approx 0$$

$$\Rightarrow U_e \approx -R_S \cdot I_a$$

$$I_a \approx -\frac{U_e}{R_S}$$

U_a výstupní napětí

R_K zpětnovazební odpor

I_e vstupní proud

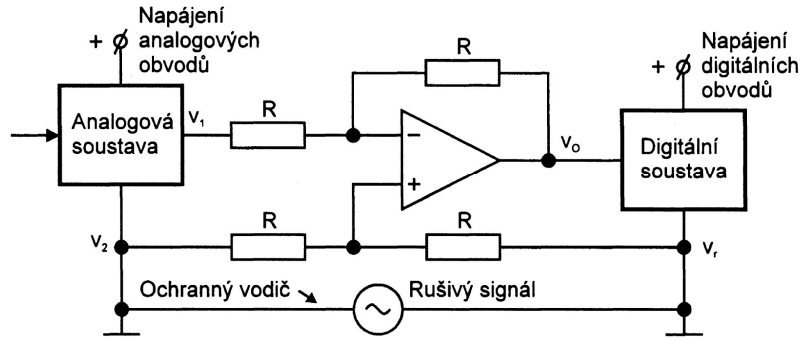
I_a výstupní proud

U_e vstupní napětí

R_S odpor omezení vstupního proudu

Vzorce pro převodníky napětí \leftrightarrow proud

Použití OZ pro eliminaci rušivých napětí mezi analogovou a digitální soustavou



Základní logické obvody

Tabulka 1: Základní logické obvody AND a OR																							
releové zapojení	bezkontaktní obvod	logická funkce	pravdivostní tabulka	početní pravidla																			
zapojení AND 		releové zapojení: $x_{K1} = a \wedge b$ bezkontaktní zapojení: $x = e_1 \wedge e_2$ $x = e_1 \wedge e_2 \wedge \dots \wedge e_n$	<table border="1"> <tr><th>b</th><th>a</th><th>x_{K1}</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	b	a	x_{K1}	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table border="1"> <tr><td>$0 \wedge 0 = 0$</td></tr> <tr><td>$0 \wedge 1 = 0$</td></tr> <tr><td>$1 \wedge 0 = 0$</td></tr> <tr><td>$1 \wedge 1 = 1$</td></tr> </table>	$0 \wedge 0 = 0$	$0 \wedge 1 = 0$	$1 \wedge 0 = 0$	$1 \wedge 1 = 1$
b	a	x_{K1}																					
0	0	0																					
0	1	0																					
1	0	0																					
1	1	1																					
$0 \wedge 0 = 0$																							
$0 \wedge 1 = 0$																							
$1 \wedge 0 = 0$																							
$1 \wedge 1 = 1$																							
zapojení OR 		releové zapojení: $x_{K1} = a \vee b$ bezkontaktní zapojení: $x = e_1 \vee e_2$ $x = e_1 \vee e_2 \vee \dots \vee e_n$	<table border="1"> <tr><th>b</th><th>a</th><th>x_{K1}</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	b	a	x_{K1}	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table border="1"> <tr><td>$0 \vee 0 = 0$</td></tr> <tr><td>$0 \vee 1 = 1$</td></tr> <tr><td>$1 \vee 0 = 1$</td></tr> <tr><td>$1 \vee 1 = 1$</td></tr> </table>	$0 \vee 0 = 0$	$0 \vee 1 = 1$	$1 \vee 0 = 1$	$1 \vee 1 = 1$
b	a	x_{K1}																					
0	0	0																					
0	1	1																					
1	0	1																					
1	1	1																					
$0 \vee 0 = 0$																							
$0 \vee 1 = 1$																							
$1 \vee 0 = 1$																							
$1 \vee 1 = 1$																							

Základní logické obvody

Tabulka 1: Obvod logické negace (logický invertor)														
releové zapojení	bezkontaktní obvod	logická funkce	pravdivostní tabulka	početní pravidla										
		releová zapojení: $x_{K1} = \bar{a}$ bezkontaktní zapojení: $x = \bar{e}$	<table border="1"> <tr><th>a</th><th>x_{K1}</th></tr> <tr><td>e</td><td>x</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	x_{K1}	e	x	0	1	1	0	<table border="1"> <tr><td>$\bar{0} = 1$</td></tr> <tr><td>$\bar{1} = 0$</td></tr> </table>	$\bar{0} = 1$	$\bar{1} = 0$
a	x_{K1}													
e	x													
0	1													
1	0													
$\bar{0} = 1$														
$\bar{1} = 0$														

Způsoby vyjádření logické veličiny

logická hodnota	relé	elektronické součástky (elektronky, diody, tranzistory)				magnetické obvody
	hladinové	impulsové	kmitočety	fáze		
1	<p>proud prochází</p>	<p>věšíř proud</p>	<p>vysší napětí</p>	<p>přítomnost impulsu</p>	<p>kladná polarita</p>	<p>$\varphi = \pi$</p>
0	<p>proud neprochází</p>	<p>menší proud</p>	<p>nižší napětí</p>	<p>neprítomnost impulsu</p>	<p>záporná polarita</p>	<p>$\varphi = 0$</p>

Výpočetní pravidla - Booleova algebra

Tabulka 1: Výpočetní pravidla	
jméno pravidla	příklad
Komutativní zákon o záměně pořadí	$a \wedge b = b \wedge a$ $a \vee b = b \vee a$
Asociativní zákony o sdružování do skupin	$a \wedge b \wedge c = (a \wedge b) \wedge c$ $= a \wedge (b \wedge c)$ $= (a \wedge c) \wedge b$ $a \vee b \vee c = (a \vee b) \vee c$ $= a \vee (b \vee c)$ $= (a \vee c) \vee b$
1. distributivní zákon 2. distributivní zákon	$(a \wedge b) \vee (a \wedge c) = a \wedge (b \vee c)$ $(a \vee b) \wedge (a \vee c) = a \vee (b \wedge c)$
de Morganovy zákony	$\overline{a \wedge b} = \overline{a} \vee \overline{b}$ $\overline{a \vee b} = \overline{a} \wedge \overline{b}$

Booleova algebra

Tabulka 2: Početní pravidla pro tři základní logické operace s jednou logickou proměnnou	
$0 \wedge a = 0$	$0 \vee a = a$
$1 \wedge a = a$	$1 \vee a = 1$
$a \wedge a = a$	$a \vee a = a$
$a \wedge a \wedge \dots \wedge a = a$	$a \vee a \vee \dots \vee a = a$
$a \wedge \bar{a} = 0$	$a \vee \bar{a} = 1$
$\bar{\bar{a}} = a$	

Číselné soustavy

- Čísla v číselných soustavách zaznamenáváme pomocí abecedy znaků – **číslic**, z nichž sestavujeme **číselné obrazy**
- Číselné soustavy dělíme na
 - Polyadické** – desítková, dvojková, šestnáctková
 - Nepolyadické** – římské číslice (MCXXX), zbytkové třídy

Polyadické soustavy

- V polyadické soustavě o jednom základu z (obecně může mít i více základů) definujeme číslice $a_i, 0 \leq a_i < z$
- Obrazem čísla $A = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i z^i$ je uspořádaná k-tice $a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_1, a_0, a_{-1}, \dots, a_{-m}$
- Desítková soustava
číslo $123 = 1 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0$
- Dvojková soustava
číslo $1011 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$
- Šestnáctková soustava (číslice $A=10, B=11, \dots, F=15$)
číslo $1AB3 = 1 \cdot 16^3 + 10 \cdot 16^2 + 11 \cdot 16^1 + 3 \cdot 16^0$

Vyjádření čísel v různých číselných soustavách

Tabulka 1: Zápisy čísel 0 až 15 v různých číselných soustavách

dekadický zápis	hexadecimální zápis	oktálový zápis	binární zápis
00	0	00	0000
01	1	01	0001
02	2	02	0010
03	3	03	0011
04	4	04	0100
05	5	05	0101
06	6	06	0110
07	7	07	0111
08	8	10	1000
09	9	11	1001
10	A	12	1010
11	B	13	1011
12	C	14	1100
13	D	15	1101
14	E	16	1110
15	F	17	1111

Mocniny 2

$$2^0 = 1 \quad 2^9 = 512 \quad 2^{20} = 1\,048\,576$$

$$2^2 = 4 \quad 2^{10} = 1\,024 \quad 2^{32} = 4\,294\,967\,296$$

$$2^3 = 8 \quad 2^{11} = 2\,048 \quad 2^{36} = 68\,719\,476\,736$$

$$2^4 = 16 \quad 2^{12} = 4\,096 \quad 2^{40} = 1\,099\,511\,627\,776$$

$$2^5 = 32 \quad 2^{13} = 8\,192 \quad 2^{46} = 70\,368\,744\,177\,664$$

$$2^6 = 64 \quad 2^{14} = 16\,384$$

$$2^7 = 128 \quad 2^{15} = 32\,768$$

$$2^8 = 256 \quad 2^{16} = 65\,536$$

$$2^{64} = 18\,446\,744\,073\,709\,551\,616 \text{ (exa)}$$

Konverze mezi polyadickými soustavami o různém základu

Vyjádříme X ve dvou číselných soustavách

$$X = a_{n-1}r^{n-1} + a_{n-2}r^{n-2} + \dots + a_0r^0 =$$

$$a_0 + r.(a_1 + r.(a_2 + \dots + r.(a_{n-2} + r.a_{n-1}))) \dots$$

$$X = b_0 + t.(b_1 + t.(b_2 + \dots + t.(b_{n-2} + t.b_{n-1}))) \dots$$

Při dělení rovnice základem t dostaneme polynom ve tvaru $X/t = Q + R$
kde

$$Q = b_1 + t.(b_2 + \dots + t.(b_{n-2} + t.b_{n-1}))) \dots$$

$$R = b_0$$

Dalším dělením získáme koeficienty b_1, b_2, \dots

Základní pojmy výpočetní techniky

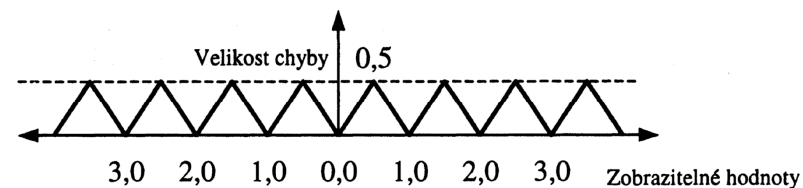
- **Bit** – **B**inary **d**igit – základní jednotka informace nabývající hodnoty 0 nebo 1
- **Slabika (Byte)** – uspořádaná množina 8 bitů
- **Slovo (Word)** – uspořádaná množina bitů – počet bitů není ustálen – 12, 13, 16, 24, 32, 64 bitů
- **Půlslabika (nibble)** – 4 bity
- **Kilobyte, Megabyte, Gigabyte** (kB, MB, GB) obvykle odvozeny od mocnin 2 (kilo = $2^{10} = 1024$, Mega = 2^{20} , atd. Někdy jsou ve významu klasických předpon kilo = 1000, atd)
- Pokus zavést jednotky **KiB, MiB, GiB** – mocniny 2 (moc se zatím neujalo)
- **LSB, MSB** - Least Significant Bit (Byte), Most Significant Bit (byte) – nejméně nejvíce významný bit (slabika)

Výsledná chyba v zobrazení čísla

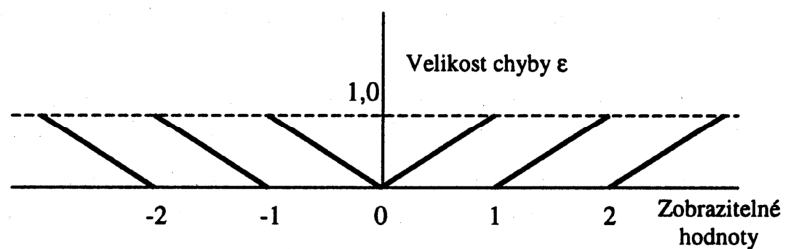
Při pořizování záznamu čísel v počítači může výsledná chyba v zobrazení čísla obecně vznikat ze tří příčin:

1. chyba způsobená zavedením stupnice (angl. scaling error) - tato chyba vzniká tak, že na rozdíl od analogové stupnice je digitální stupnice omezena konečným počtem zobrazitelných hodnot
2. chyba zanedbáním části čísla (angl. truncation error), kdy pro nedostatek míst pro zobrazení čísla se bity nejnižších vah odseknou
3. chyba vznikající zaokrouhlením (angl. rounding error)

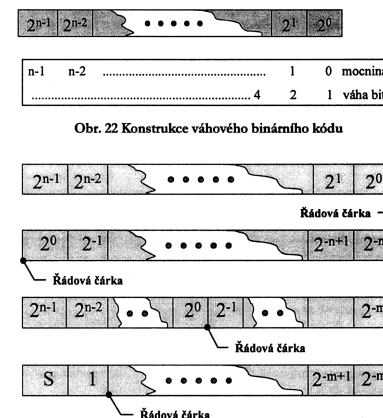
Průběh chyby vzniklé zavedením stupnice nebo zaokrouhlením



Průběh chyby vzniklé odseknutím

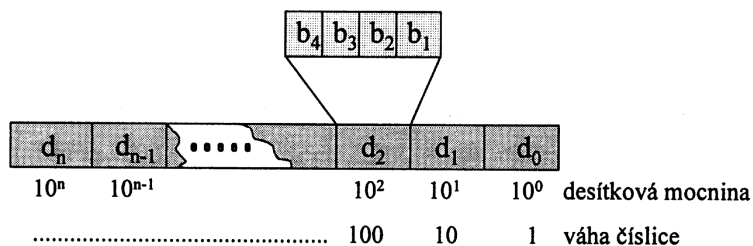


Čísla v pevné řádové čárce



Nejčastěji používané formáty záznamu v pevné řádové čárce

Čísla v kódu BCD (Binary Coded Decimal)



Každá desítková číslice 0-9 je vyjádřena v binárním kódu

Číslo 123 je vyjádřeno jako 0001 0010 0011

Binární čísla se znaménkem Reprezentace

- Zavedení znaménka
- Zobrazení s posunutím nuly
- Dvojkový doplněk
- Jedničkový doplněk

Zavedení znaménka

- Např. v 8-bitovém čísle vyhradíme jeden bit (zpravidla nejvyšší) pro znaménko + (0) či – (1), ostatních 7 bitů vyjadřuje kladné číslo

$$3 = 0\ 0000011$$

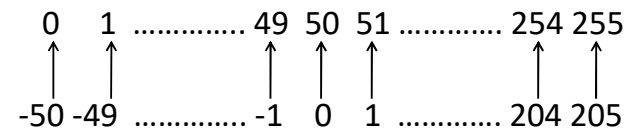
$$-3 = 1\ 0000011$$

↑
Znaménkový bit

- Nevýhody:
 - dvě nuly +0 (00000000), -0 (10000000)
 - složité sčítání a odčítání

Zobrazení s posunutím nuly

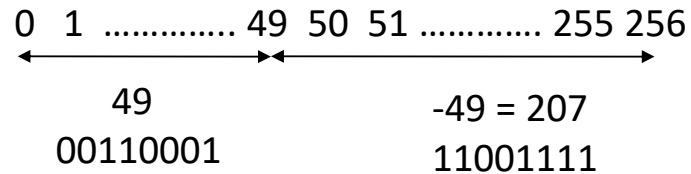
- 8 bitové číslo zobrazuje čísla v rozsahu 0-255
- Zdefinujeme-li, že číslo 50 znamená 0 – můžeme zobrazit čísla v rozsahu -50 až 205 – tzv. posuneme nulu



- Používá se pro vyjádření exponentu v číslech s plovoucí řádovou čárkou nebo v elektronice u A/D převodníků

Dvojkový doplněk

- Záporné číslo odpovídající kladnému číslu x s opačným znaménkem definujeme jako doplněk do čísla z^n (pro 8 bitové binární číslo doplněk do čísla $2^8 = 256$)



Dvojkový doplněk

- Nejčastěji používaná reprezentace
- Jednoduchá změna znaménka – provede se negace bit po bitu a přičte 1
- Pouze jedna nula
- Nesymetrický interval zobrazení – 8 bitové číslo zobrazí interval $\langle -128, 127 \rangle$
- Nejvyšší bit = znaménkový bit + = 0, - = 1
- Stačí sčítačka - odečítání 5-3 realizujeme jako sčítání $5 + (-3)$

Dvojkový doplněk

Číslo 3 = 00000011

Číslo -3:

3 = 00000011

Negace 11111100

+1 00000001

0 11111101

Přenos
Zanedbává se

Znaménkový bit

Výpočet $5-3 = 5+(-3)$

5 = 00000101

-3 = 11111101

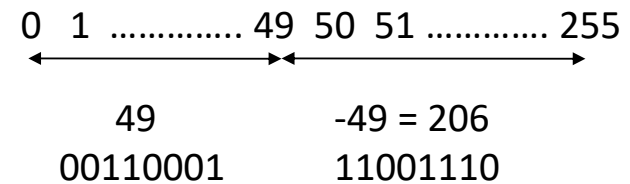
1 00000010 = 2

Přenos
Zanedbává se

Znaménkový bit

Jedničkový doplněk (inverzní kód)

- Záporné číslo odpovídající kladnému číslu x s opačným znaménkem definujeme jako doplněk do čísla z^n-1 (pro 8 bitové binární číslo doplněk do čísla $2^8-1 = 255$)



Jedničkový doplněk

- Nevýhody:
 - dvě nuly +0 (00000000), -0 (11111111)
 - složité sčítání a odčítání

Číslo 3 = 00000011

Číslo -3:

3 = 00000011

Negace 11111100 = -3

Desítkový doplněk v BCD kódu

- Můžeme definovat záporné číslo jako doplněk do maximálního zobrazeného čísla+1 (obdoba dvojkového doplňku)
- Příklad dvouciferné desítkové číslo 0-99, záporné číslo je desítkový doplněk do čísla 100
 - 1 = 99 , -10 = 90 , atd

$$11 - 10 = 11 + (90) = 101 = 1 \text{ (řád 100 zanedbáváme)}$$

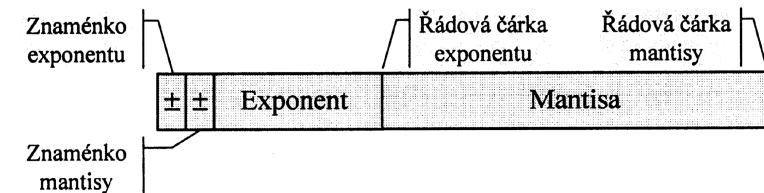
$$10 - 11 = 10 + 89 = 99 = -1$$

Devítkový doplněk v BCD kódu (Inverzní kód)

- Můžeme definovat záporné číslo jako doplněk do maximálního zobrazeného čísla (obdoba jedničkového doplňku)
- Příklad: dvouciferné desítkové číslo 0-99, záporné číslo je desítkový doplněk do čísla 99
 - 1 = -01 = 98 , -10 = 89 , atd.

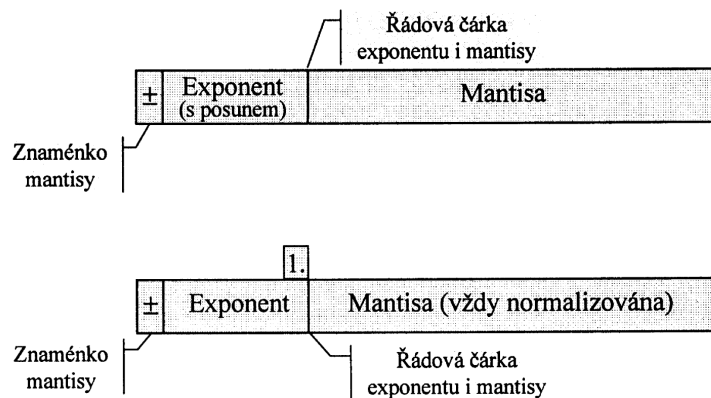
záměna 0↔9, 1↔8, 2↔7, (inverze)

Číslo v plovoucí řádové čárce



Přímý záznam čísla v plovoucí řádové čárce

Čísla v plovoucí řádové čárce

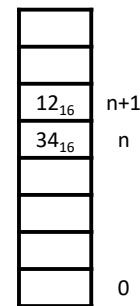


Nejčastěji používané záznamy v plovoucí řádové čárce

Reprezentace víceslabikových čísel v paměti

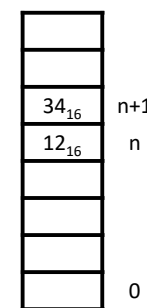
Pokud např. 16bitové číslo 1234_{16} je uloženo v paměti s organizací 8 bit, jsou dvě možnosti:

Little Endian



Procesory Intel
LSB na nižší adrese
MSB na vyšší adrese

Big Endian



Procesory Motorola
LSB na vyšší adrese
MSB na nižší adrese

Vyjádření znaků

- ASCII
- EBCDIC
- Latin 2
- Unicode
-
-

Kódovací tabulka ASCII

(American Standard Code for Information Interchange)

Tabulka 1: ASCII-kód													
bit číslo (sprava)	7	6	5	4	3	2	1	řídící znaky					
	0	0	1	0	0	1	0	cifry, čísla zvláštní znaky					
0 0 0 0	NUL	DLE	SP	0	@	P	'	p					
0 0 0 1	SOH	DC1	1	1	A	Q	a	q					
0 0 1 0	STX	DC2	"	2	B	R	b	r					
0 0 1 1	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s					
0 1 0 0	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t					
0 1 0 1	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u					
0 1 1 0	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v					
0 1 1 1	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w					
1 0 0 0	BS	CAN	(	8	H	X	h	x					
1 0 0 1	HT	EM	)	9	I	Y	i	y					
1 0 1 0	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z					
1 0 1 1	VT	ESC	+	;	K	[	k	[
1 1 0 0	FF	FS	,	<	L	\	l	|					
1 1 0 1	CR	GS	=	=	M	]	m]					
1 1 1 0	SO	RS	.	>	N	^	n	~					
1 1 1 1	SI	US	/	?	O	_	o	DEL					

Kódovací tabulka EBCDIC

(Extended Binary Coded Decimal Interchange Code)

Tabulka 2: Význam řídicích znaků (výběr)

NUL	Null, vynulování přijímače, prázdná značka
SOH	Start of heading, začátek záhlaví
STX	Start of text, začátek textu
ETX	End of text, konec textu
EOT	End of transmission, konec přenosu
ENQ	Enquiry, dotaz
BEL	Bell, zvonek, akustický signál
BS	Backspace, návrat o znak
LF	Linefeed, posun na další řádek
CR	Carriage return, návrat vozíku (na začátek řádku)
ESC	Escape, změna, autoregistr 2
ACK	Acknowledge, potvrzení příjmu
DEL	Delete, výmaz, zrušení, odstranění
DC	Device control (1...4), ovládání zařízení
DC1	start snímače
DC2	zapnutí děrování

		bity 4 - 7															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bity 0 - 3	0	NUL	DLE	DS		SP	&	-									
	1	SOH	DC1	SOS			/			a	j	-	A	J			1
	2	STX	DC2	FS	SYN					b	k	s	B	K	S		2
	3	ETX	TM							c	l	t	C	L	T		3
	4	PF	RES	BYP	FN					d	m	u	D	M	U		4
	5	HT	NL	LF	RS					e	n	v	E	N	V		5
	6	LC	BS	ETB	UC					f	o	w	F	O	W		6
	7	DEL	IL	ESC	EOT					g	p	x	G	P	X		7
	8	GE	CAN							h	q	y	H	Q	Y		8
	9	RLP	EM							i	r	z	I	R	Z		9
A	SMM	CC	SM						|	:							
B	VT	CUL	CU2	CU3					.	\$,	#					
C	FF	IFS	DC4	>	*	%	@										
D	CR	IGS	ENQ	NAK	()	'										
E	SO	IRS	ACK		+	;	<	=									
F	SI	IUS	BEL	SUB	|	?	"										

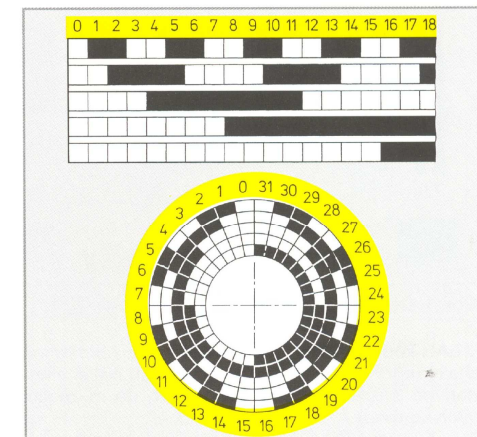
Kódovací tabulka Latin 2

		bity 4 - 7															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bity 0 - 3	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	'	p			NB SP	.	Ř	Đ	ž	đ
	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q			A	a	Ā	Ñ	á	ñ
	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r			ˆ	.	Ā	Ñ	ā	ñ
	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s			š	ž	Ā	Ó	ā	ó
	4	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t			ı	ˆ	Ā	Ö	ä	ö
	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u			Ł	ı	Ā	Ō	ī	ō
	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v			Ś	ś	Ā	Ō	ć	ō
	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w			Ş	ˆ	Ā	Ō	ç	ö
	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x			ı	ˆ	Ā	Ō	ç	ë
	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y			Š	š	Ā	Ō	ı	ü
A	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z			Ş	ş	Ā	Ō	ı	ü	
B	VT	ESC	+	;	K	[	k	{			ı	ˆ	Ā	Ō	ı	ü	
C	FF	FS	,	<	L	\	l	|			Ž	ž	Ā	Ō	ı	ü	
D	CR	GS	-	=	M	]	m	}			SHY	"	ı	Ÿ	ı	Ÿ	
E	SO	RS	.	>	N	^	n	~			Ž	ž	ı	ı	ı	Ÿ	
F	SI	US	/	?	O	_	o	DEL			Ž	ž	đ	β	đ	ˆ	

Speciální kódy

Grayův kód

- 0 0000
- 1 0001
- 2 0011
- 3 0010
- 4 0110
- 5 0111
- 6 0101
- 7 0100
- 8 1100
- 9 1101
- 10 1111
- 11 1110
- 12 1010
- 13 1011
- 14 1001
- 15 1000

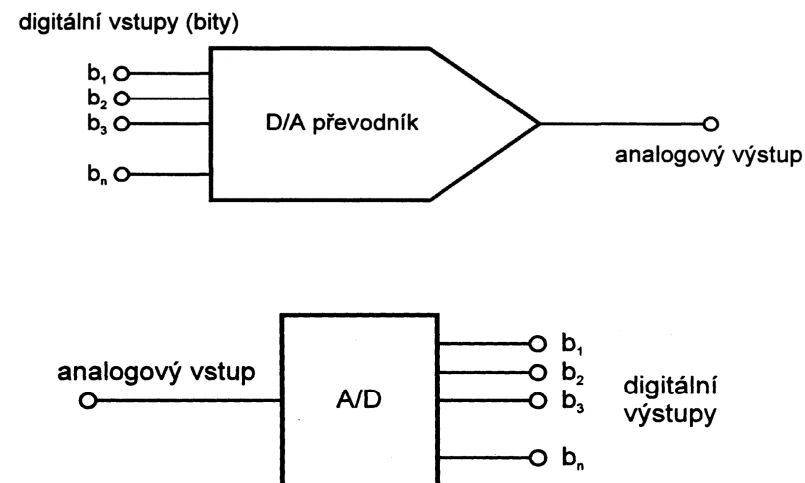


Při přechodu do následujícího stavu je změna pouze v jednom bitu –> nenastávají hazardní stavy

D/A a A/D převodníky

- Analogové signály – jsou spojité v čase i v okamžité hodnotě
- Digitální signály - jsou kvantovány v binárních bitech - odpovídají buď „jedničky“ nebo „nule“.
- V reálném světě se vyskytují pouze signály analogového charakteru (např. proud, napětí, tlak, vzdálenost, čas apod.). Pro přenos signálů, jejich další zpracování a užití je výhodná jejich digitální forma.
- Pro převod mezi digitálním a analogovým signálem (resp. Analogovým a digitálním se používají převodníky D/A (resp. A/D), které můžeme chápat i jako kódovací a dekódovací prostředky.
- Vstupem do převodníku D/A je digitální slovo s určeným počtem bitů a výstupem je napěťový signál odpovídající vstupnímu „slovu“.
- Obráceně v případě A/D převodníku je vstupem analogový signál a na výstupu dostáváme digitální slovo s příslušným počtem bitů.
- Vlastnosti převodníků budou zřejmě závislé na teplotních poměrech v obvodu převodníku, protože se vlastnosti prvků mění s teplotou. To znamená, že tyto obvody jsou nejlépe řešitelné na principu monolitických integrovaných obvodů.

D/A a A/D převodníky



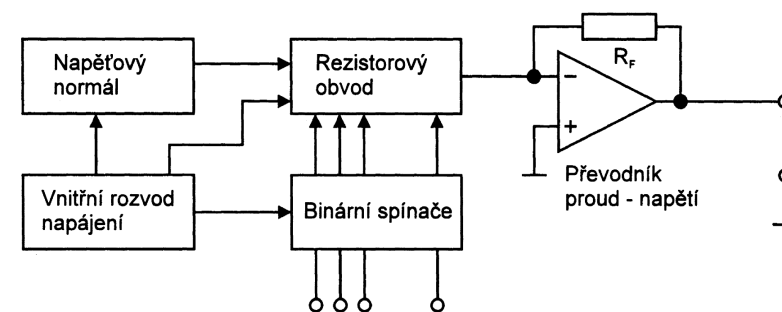
Principy D/A převodníků

Principů D/A konverze bylo vyvinuto mnoho, avšak základní principy vhodné pro monolitickou technologii jsou tři:

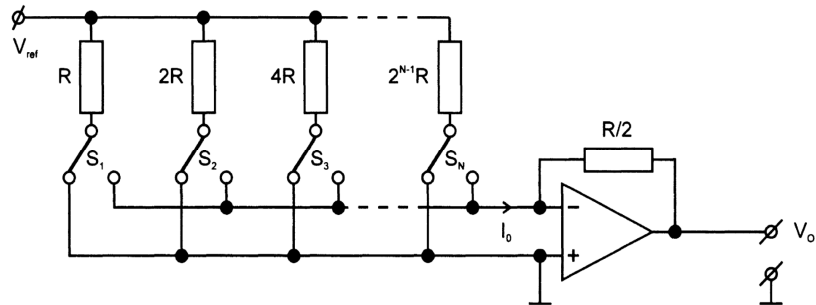
- 1) proudový princip
- 2) napěťový princip
- 3) nábojový princip.

První z těchto principů je zvláště vhodný pro bipolární technologii, zbývající spíše odpovídají technologii MOS.

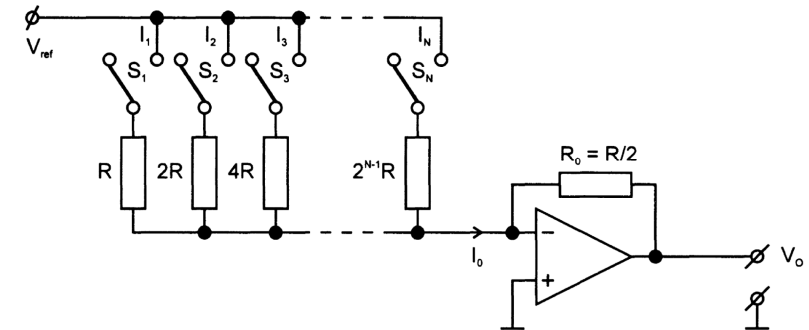
Principiální zapojení D/A převodníku



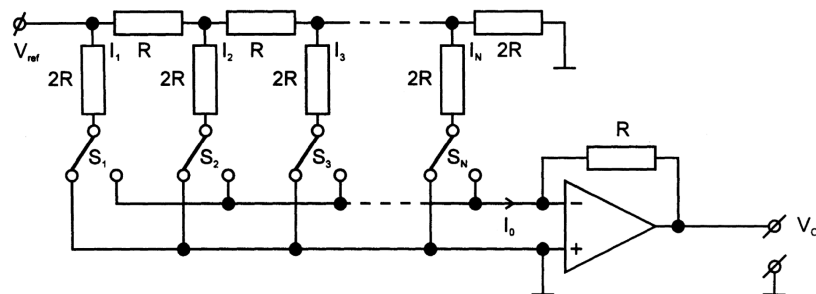
Proudový princip



V tomto případě se dosahuje konverze pomocí řady binárně vážených proudů generovaných uvnitř obvodu, a tyto jsou nakonec sečteny, abychom obdrželi analogový výstup. Obrázek ukazuje základní princip generace a sčítání binárně vážených proudů I_1, I_2, \dots, I_N . Proudů jsou generovány binárně váženou odporovou sítí připojenou k referenčnímu zdroji V_{ref} . Proud odporů vždy protéká, ale může být sveden do země.
Nevýhoda: Hodnoty odporů jsou násobky 2



Jiné zapojení proudového principu - Proud odporů buď protéká nebo neprotéká – při přepínání spínačů kolísá proud (nevýhoda)



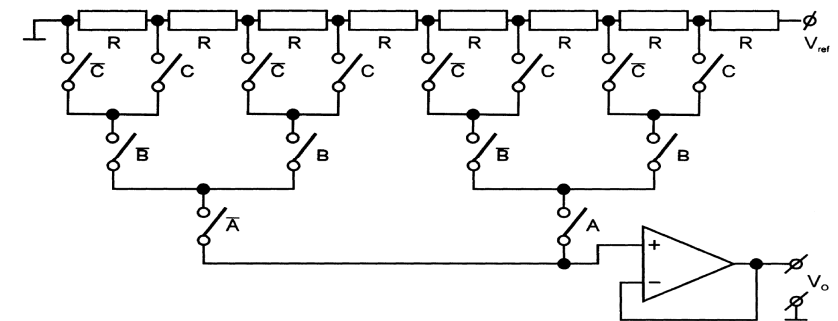
Použití jiného zapojení odporové sítě.

Nevýhoda: počet odporů je dvojnásobný.

Výhoda: vyskytují se pouze hodnoty R a 2R (tato výhoda převažuje nad nevýhodou – nejčastější zapojení)

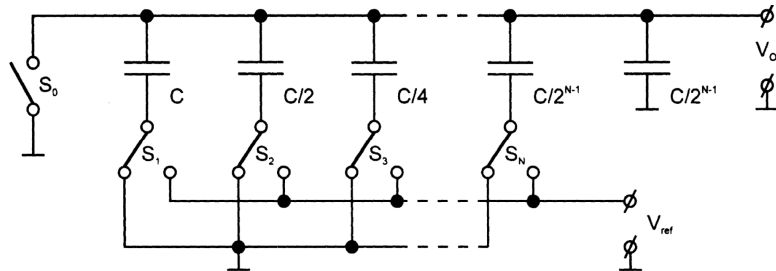
Napěťový princip

3-bitový D/A převodník



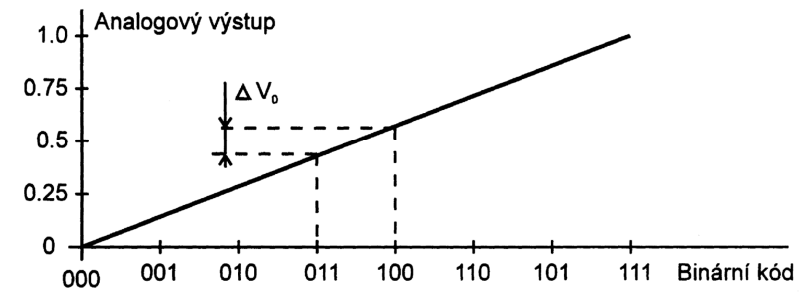
Analogové spínače A, B, C jsou řízeny vstupním logickým slovem čili bity b_1, b_2, b_3 a spínače $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$ jsou řízeny inverzí bitových hodnot b_1, b_2, b_3 . Je-li např. vstupní kód 100, budou sepnuty spínače A, B, C a na výstupu dostaneme úroveň $V_{ref}/2$. Nevýhodou tohoto principu je značný počet prvků zejména při větších rozlišeních. Pro konverzi N bitů je nutné 2^N rezistorů a 2^{N+1} analogových spínačů a 2N logických spojovacích vedení.

Nábojový princip



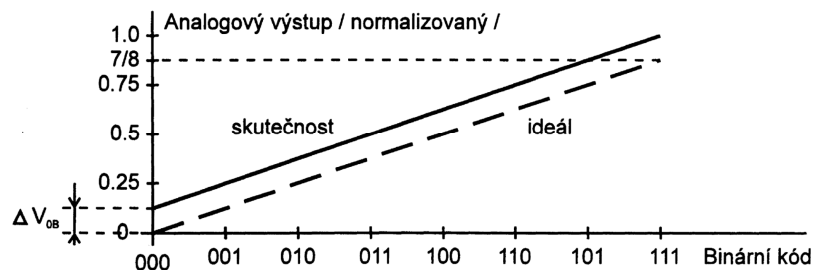
D/A konvertor na nábojovém principu vytváří analogovou úroveň pomocí náboje předávaného sítí kondenzátorů. Vhodný pro realizaci v CMOS provedení. Nevýhoda: Kapacity jsou násobky 2.

Chyby D/A převodníků



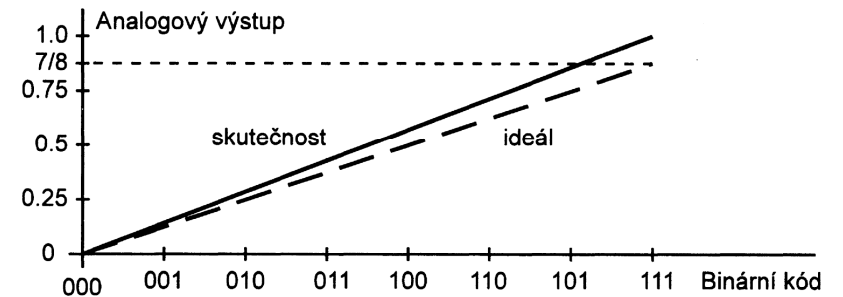
Ideální přenosová charakteristika 3-bitového D/A převodníku.
 $\Delta V_0 = 1/8$

Offsetová chyba



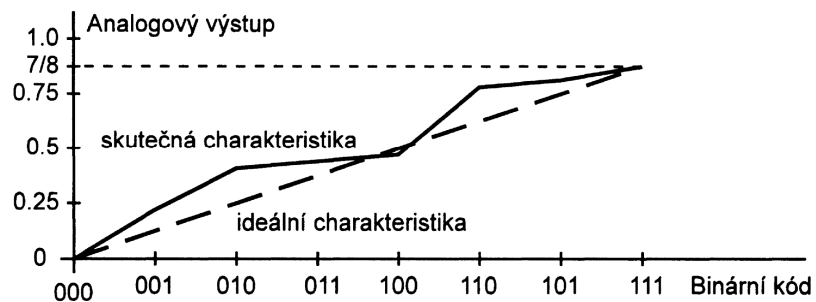
Lze eliminovat nastavením obvodu

Chyba rozsahu



Chyba rozsahu se projevuje na analogovém výstupu v důsledku nepřesného nastavení zesílení výstupního operačního zesilovače nebo chyby referenčního napětí. Lze eliminovat nastavením obvodu

Integrální nelinearita - INL

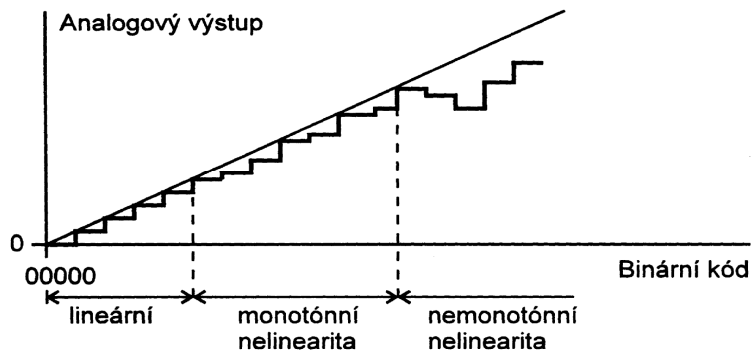


Integrální nelinearita je měřítkem odchylky převodní charakteristiky D/A převodníku od ideální charakteristiky - přímkové. Normálně se bere jako největší odchylka od přímky procházející počátkem a bodem udávajícím maximální výstupní hodnotu. Vyjadřuje se v procentech V_{FS} (rozsah napětí na výstupu).

Diferenciální nelinearita

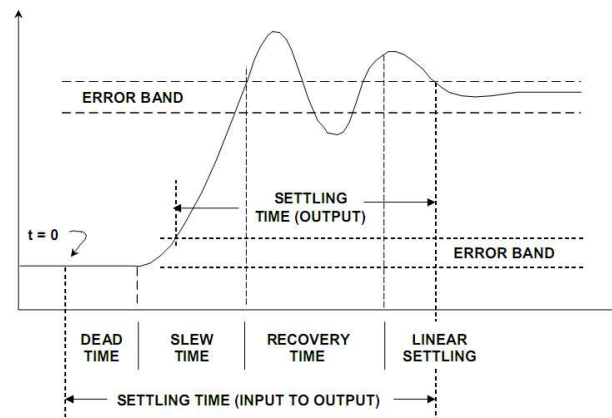
- Diferenciální nelinearita je měřítkem nestejnosti jednotlivých úrovní mezi sousedními převody. Ideálně by se úrovně měly lišit o jeden LSB.
- Diferenciální nelinearita** udává odchylku od této ideální hodnoty vyjádřenou v dílech LSB. Je-li diferenciální nelinearita \pm LSB/2, potom minimální a maximální sousední úroveň bude 0.5 LSB a 1.5 LSB.
- Na rozdíl od chyby offsetu a rozsahu nelineární chyby závisí na vstupním digitálním kódu a nelze je eliminovat. Jedinou cestou je zvyšování přesnosti poměrů odporové nebo kapacitní sítě u výrobce.

Monotónnost D/A převodníku

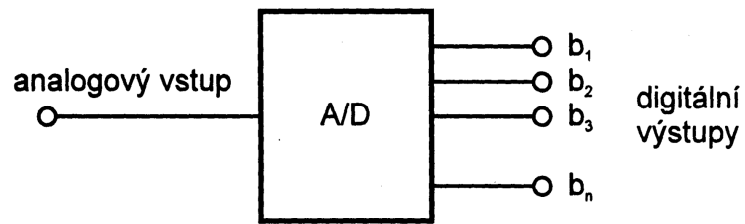


D/A převodník bude monotónní, bude-li pro postupně se zvyšující hodnotu digitálního kódu analogový výstup rovněž zvyšovat hodnotu. Převodník bude nemonotónní, jestli v některém bodě analogový výstup poklesne pro zvyšující se hodnotu vstupního kódu. Je to výsledek nadměrné velikosti diferenciální nelinearity. Monotónní bude převodník za předpokladu, že chyba způsobená diferenciální nelinearitou je menší než \pm 1 LSB

Ustálení výstupu D/A převodníku



A/D převodníky



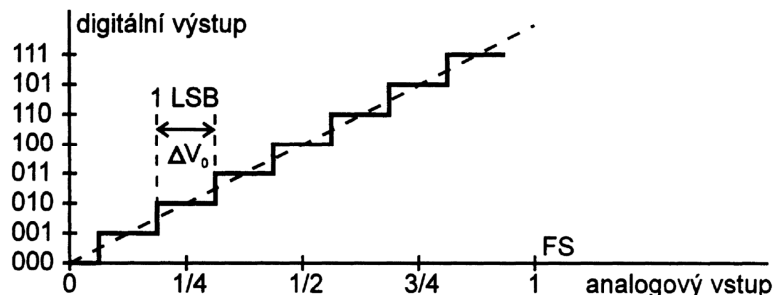
Základní zapojení A/D převodníku.

A/D převodníky převádějí analogové veličiny na digitální informaci.

Základní rozdělení A/D převodníků

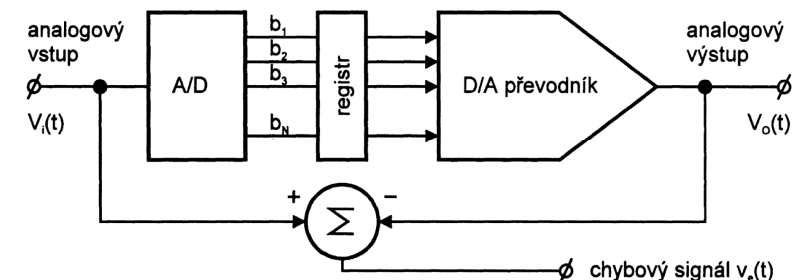
- **Integrační A/D převodníky**, které pracují tak, že nabíjejí a vybíjejí integrační kapacitu během převodu a tento čas převádějí na digitální informaci.
- **Sledovací převodníky** užívají binární čítač a D/A konvertor ve zpětné vazbě
- **Aproximační převodníky** vytvářejí digitální výstupní informaci na základě úspěšnosti nebo neúspěšnosti postupových kroků
- **Paralelní převodníky**, které provádějí převod v jediném kroku

Ideální přenosová charakteristika A/D převodníku



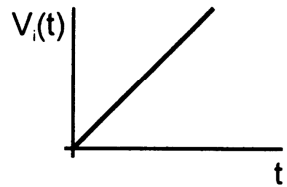
Přenosová charakteristika je nespojitá a není zde jednoznačné přiřazení mezi analogovým vstupem a digitálním výstupem. Výstup je „kvantován“. Výsledkem je, že výstupní kód odpovídá jistému, byť malému rozsahu ΔV_0 z analogového vstupního napětí. Bude-li se analogový vstup měnit od nuly do celého rozsahu (FS – Full Scale), bude N - bitový A/D převodník mít 2^N výstupních stavů a 2^{N-1} přechodů mezi těmito stavy. Nejmenší kvantovací krok ΔV_0 mezi dvěma diskretními výstupními úrovněmi odpovídá poslednímu bitu čili 1 LSB.

Zapojení pro zjištění chování A/D převodníku

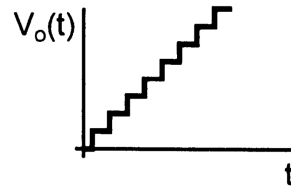


I když budeme považovat naše převodníky za ideální, tak už z principu bude vznikat jistá chyba v důsledku kvantování a jisté neurčitosti. Z ideální přenosové charakteristiky je vidět, že A/D převodník nerozliší rozdíl analogového vstupu menší než ΔV_0 a chyba dosahuje $\pm \Delta V_0 = \pm 0.5$ LSB. Tato chyba je neodstranitelná a nazýváme ji **kvantovací chybou** nebo častěji **kvantovacím šumem**. Obrázek nám ukazuje zapojení pro vysvětlení kvantovacího šumu - oba převodníky považujeme za ideální a oba jsou N - bitové. Neurčitost v konverzi A/D dává vznik chybovému signálu $V_e(t)$ jakožto rozdílu mezi skutečným a rekonstruovaným signálem.

Kvantovací šum

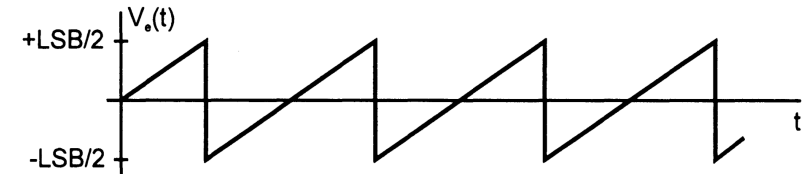


Vstupní signál $V_i(t)$



Výstupní signál $V_o(t)$

Chybový signál $V_e(t)$



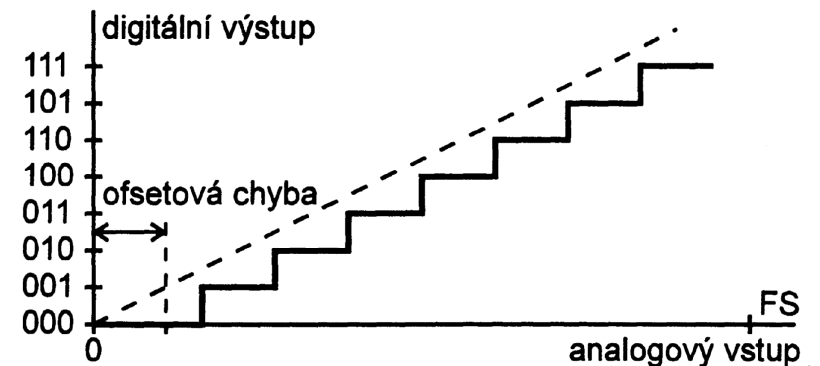
Střední hodnota tohoto signálu je nula, avšak střední kvadratická hodnota bude $V_{e(ef)} = \Delta V_0 / \sqrt{12} = V_{FS} / 2^N \sqrt{12}$. Kvantovací šum je tedy úměrný ΔV_0 , a proto bude klesat faktorem 2 pro zvětšení rozlišení o jeden bit.

Dynamický rozsah

Měřítkem poměru největšího a nejmenšího analogového signálu, který můžeme převodníkem zpracovat je jeho **dynamický rozsah**. Největší signál je zřejmě V_{FS} a nejmenší je roven LSB. Potom dynamický rozsah bude $DR = V_{FS} / \Delta V_0 = 2^N$. Běžně se tento údaj uvádí v decibelech. Např. 8 - bitový konvertor má DR přibližně 48 dB (= 20 · Log256 ≈ 48) , 10 - bitový DR přibližně 60 dB. Dynamický rozsah narůstá o 6 dB při zvětšení rozlišení o 1 bit (dB = 20 log2 ≈ 6).

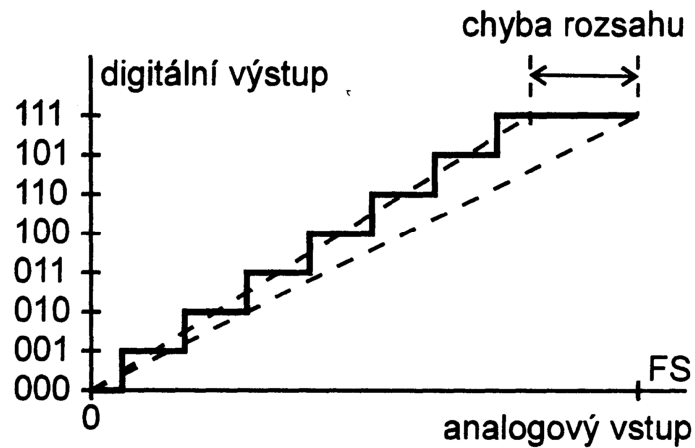
Chyby A/D převodníků

Chyba offsetu



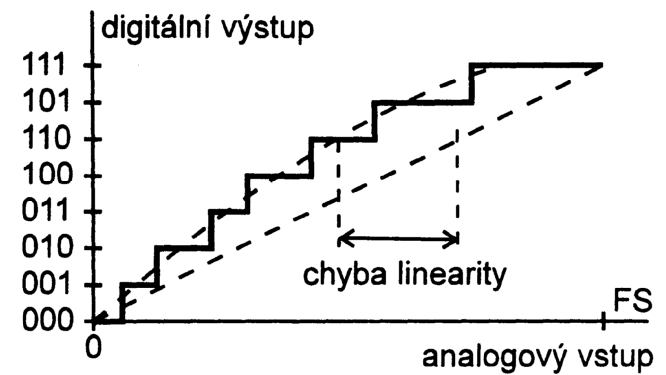
Lze eliminovat nastavením obvodu

Chyba rozsahu



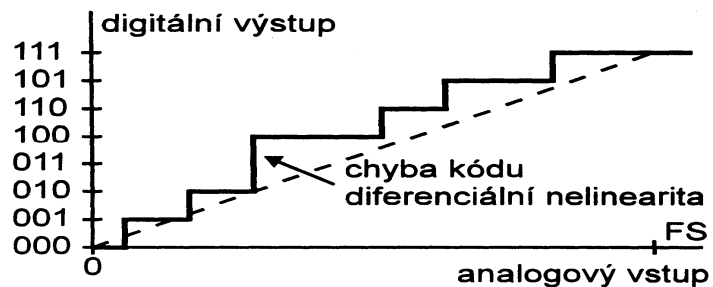
Lze eliminovat nastavením obvodu

Integrální nelinearita



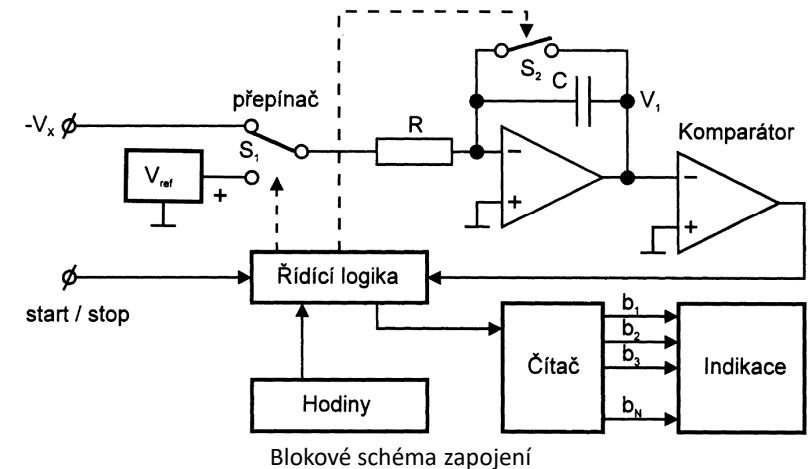
Zobrazená chyba linearity se nazývá integrální nelinearitou (maximální odchylka od ideální přenosové charakteristiky). Jsou však i jiné definice této chyby; různí výrobci užívají i různé definice.

Diferenciální nelinearita

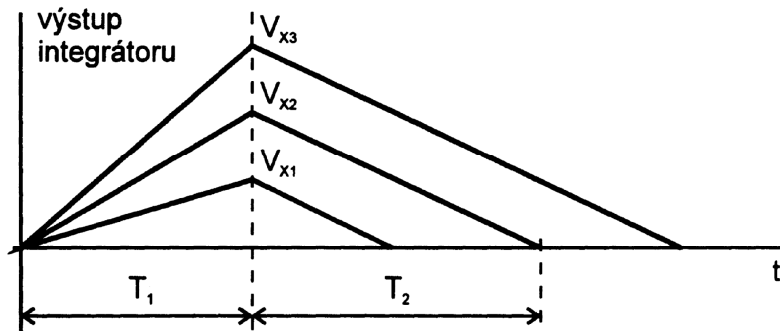


Diferenciální nelinearita je měřítkem nestejnosti šíře stupňů mezi dvěma sousedními přechody. V ideálním případě jsou tyto stupně rovny 1 LSB a diferenciální nelinearita udává odchylky od této hodnoty. Kdyby měl A/D konvertor diferenciální nelinearitu ± 0.5 LSB, byla by minimální a maximální šíře stupně rovna 0.5 LSB a 1.5 LSB. Pokud by však diferenciální nelinearita převýšila ± 1 LSB, potom by jeden nebo více kódů mohlo být přeskočeno. Diferenciální nelinearita je důležitým parametrem zejména u A/D aproximačních převodníků a převodníků sledovacího typu.

Integrační A/D převodník (převodník s dvojitou integrací)



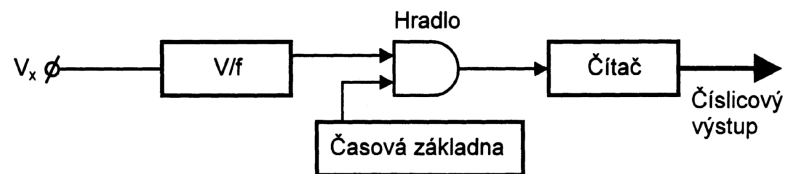
Princip činnosti



Systém pracuje tak, že v době T_1 je připojeno V_x . Doba T_1 je konstantní a je dána časem než se zaplní čítač, čili načítá 2^N impulsů. Po skončení času T_1 je integrátor připojen k V_{ref} , které má obrácenou polaritu - nastává období poklesu a tato doba T_2 končí v okamžiku, kdy výstupní napětí integrátoru prochází nulou a kdy komparátor vyše impuls a ukončí tak převod. Doba T_2 je tedy měřítkem velikosti signálu V_x a měří se opět počtem impulsů, které načítal čítač v této době

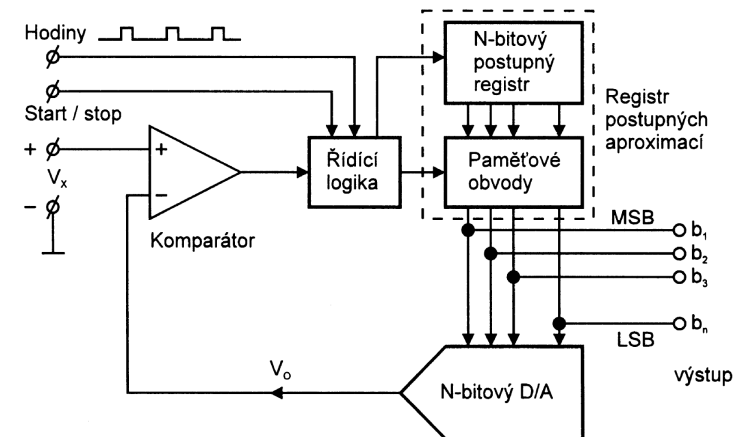
- Výhody tohoto způsobu tkví v tom, že přesnost konverze nezávisí na součinu RC čili ani na stárnutí a změnách těchto prvků. Rovněž tak nezávisí na frekvenci hodin, pokud tato zůstává konstantní během integračního cyklu. To znamená, že se neprojeví dlouhodobé změny způsobené stárnutím a změnami teploty.
- Linearita tohoto převodníku je vynikající - je závislá pouze na kvalitě integrátoru. Diferenciální nelinearita je prakticky vyloučena a mohla by být způsobena pouze krátkodobým driftem hodinových impulsů.
- Doba převodu je bohužel velmi dlouhá, řádově i stovky milisekund.
- Velmi často se používá v číslicových voltmetrech (i velmi přesných)

A/D převodníky s mezipřevodem na kmitočet



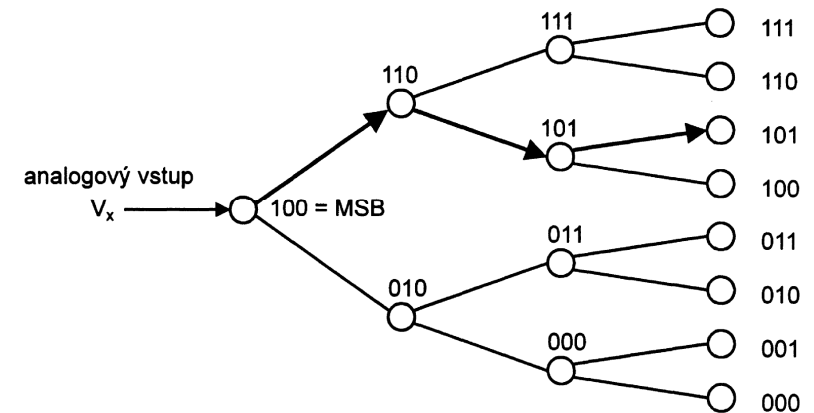
Z obrázku je patrné, že nejprve je s použitím převodníku napětí I kmitočet vstupní napětí převedeno na odpovídající kmitočet a tento je potom po nastavenou dobu načítáván čítačem. Principů převodu napětí na kmitočet je více, ale většinou užíváme integrátor jako podstatnou část převodníku, a proto i metodu V/f můžeme řadit k **převodníkům integračního typu**.

Aproximační převodníky



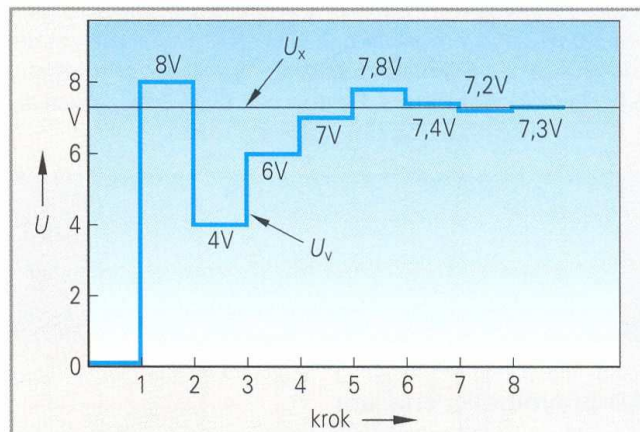
Blokové schéma aproximačního převodníku

- **Aproximační převodníky** též nazývané kompenzačními převodníky nebo též **převodníky s postupnou aproximací** (Successive Approximations) jsou vlastně zpětnovazební systémy, které pracují na principu pokus - chyba a výsledkem je digitální kód, který aproximuje úroveň analogového signálu na vstupu.
- Na začátku je registr postupných aproximací vynulován. V prvním kroku je do registru zapsána 1 jako nejvyšší bit a ostatní bity jsou ponechány nulové. Jestliže nyní výstup D/A konvertoru, který odpovídá tedy stavu 10...000 bude menší nebo roven V_x , tak výstupní stav komparátoru se nezmění a tato jednička zůstane jako MSB. Pokud ovšem budou poměry takové, že $V_o > V_x$, tak se MSB vrátí na hodnotu 0.
- V následujícím cyklu zkusíme 1 jako druhý v pořadí nejvyšší bit. Situace se opět opakuje za stejných podmínek. Tímto způsobem je aproximační proces opakován do té doby, dokud nejsou určeny všechny bity
- Pracuje na matematickém principu půlení intervalu
- Doba převodu je konstantní pro různě veliké vstupní signály

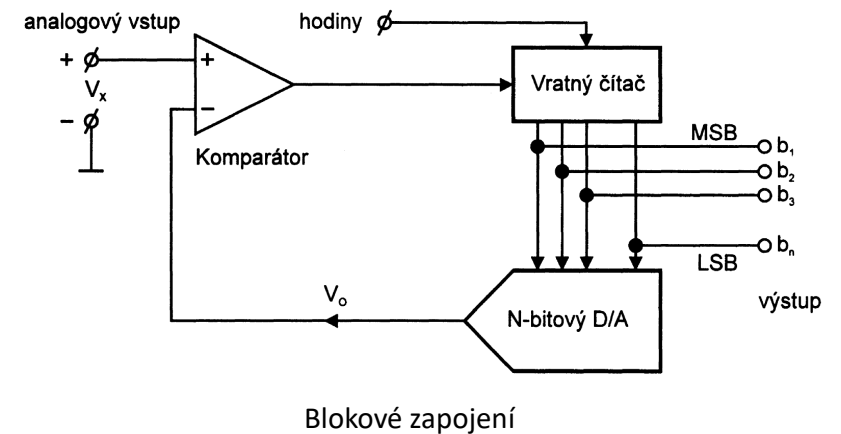


Obrázek ukazuje, jak aproximace probíhají v 3 - bitovém aproximačním A/D převodníku. Realizuje se vlastně matematická **metoda půlení intervalu**

Postupné určování neznámého napětí v aproximačním A/D převodníku



Sledovací převodník



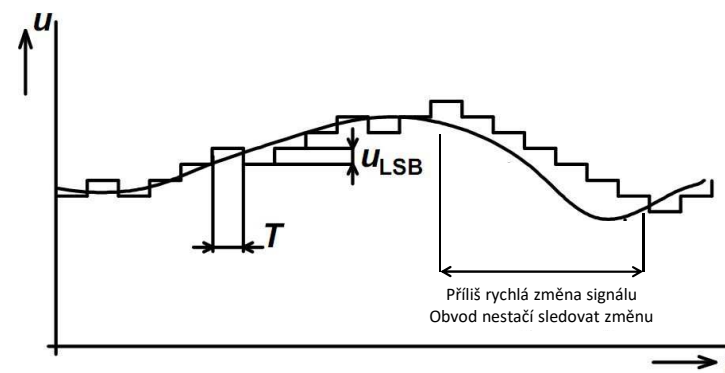
Blokové zapojení

Sledovací převodník

Na aproximačním převodníku je nejsložitější součástí registr postupných aproximací. V řadě aplikací vystačíme s jednoduchým obvodem, který navíc pracuje spojitě tzn. že neustále sleduje vstupní napětí. V závislosti na stavu komparátoru čítá čítač impulsy vpřed nebo vzad a výstup komparátoru závisí na tom, zda měřené napětí je větší nebo menší než napětí U_0 na výstupu D/A převodníku. Je-li U_x větší než U_0 , čítá čítač dopředu a napětí U_0 se po skocích zvyšuje až nastane stav, kdy $U_0 = U_x$. V obráceném případě $U_x < U_0$ čítá čítač zpět až zase $U_0 = U_x$. Proto tedy převodník neustále vlastně sleduje průběh vstupního analogového napětí U_x - proto se mu říká **sledovací převodník**.

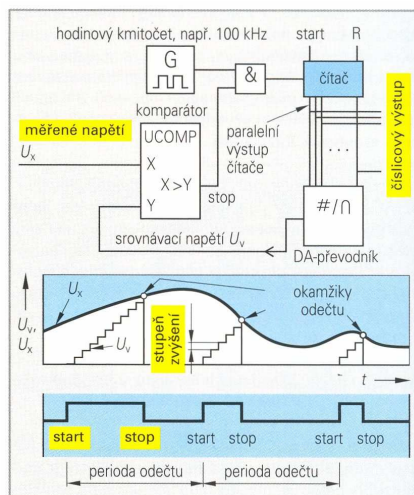
V případě rychlé změny vstupního signálu (vzhledem k hodinovému signálu) může trvat delší dobu, než výstup bude odpovídat vstupní veličině

Sledovací převodník



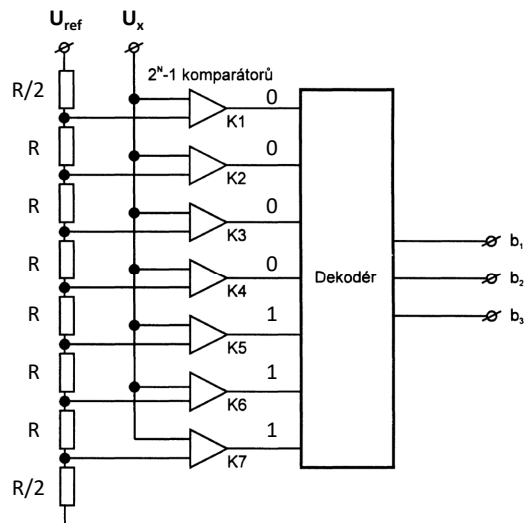
Průběh signálu ve sledovacím převodníku.
Reakce na příliš rychlou změnu vstupního signálu

Čítací (Start-stop) převodník



- Ještě jednodušší než sledovací převodník je tzv. **čítací převodník**, který se od předchozího liší pouze v tom, že užívá jednosměrný binární čítač. Čítač se lineárně zaplňuje načítáváním impulsů z hodinového generátoru. Jakmile napětí U_0 dosáhne U_x , vstup čítače je logikou zablokovan a údaj na výstupu čítače udává velikost U_x . Po sejmutí tohoto údaje nebo jeho zapsání do registru je čítač vynulován a celý pochod se opakuje.
- Doba převodu je ale poměrně dlouhá, protože např. při kmitočtu hodin 1 MHz a rozlišení 12 bitů bude maximální doba převodu 4096 μ s (přibližně 4 ms). Navíc závisí na velikosti vstupní veličiny.

Paralelní A/D převodník



Princip zapojení

- Odporová síť vytvoří referenční úrovně a komparátory porovnávají neznámé napětí s těmito referenčními úrovněmi. Výstupy komparátorů jsou potom logikou dekodéru převedeny na N bitů. Rychlost převodu je dána rychlostí komparátoru a rychlostí logiky dekodéru (třeba i stovky pikosekund).
- Složitost paralelního převodníku rychle narůstá s rozlišením. Pro rozlišení N - bitů potřebujeme $2^N - 1$ komparátorů a 2^N přesných rezistorů.
- Pro 8 - bitový paralelní převodník potřebujeme 255 komparátorů a 256 rezistorů. Tyto konvertory nehledě na jejich složitost existují a jsou schopny pracovat s rychlostí několika miliard převodů za sekundu.

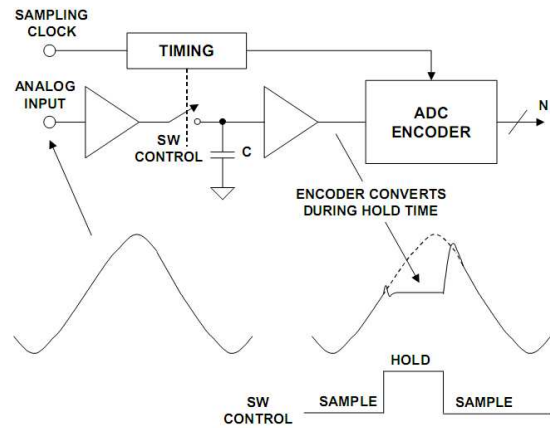
Charakteristiky jednotlivých typů A/D převodníků

typ převodníku	realizace převodu
<p>převodník okamžitých hodnot</p> <p>o převáděné hodnoty</p>	<p>paralelní převodník rozlišení na výstupu: 6–12 bitů, opakovací perioda: 2 ns–200 ns</p> <p>aproximativní převodník rozlišení na výstupu: 8–18 bitů, opakovací perioda: 0,5 μs–100 μs</p> <p>stupňovitý převodník s čítačem rozlišení na výstupu: 6–12 bitů, opakovací perioda je závislá na programu a je ≥ 50 ns</p>
<p>integrující převodník středních hodnot</p> <p>o převáděná hodnota</p>	<p>převodník napětí – čas (dual slope) rozlišení na výstupu: 12–20 bitů případně $3\frac{1}{2}$ až $5\frac{1}{2}$ dekadických čísel, opakovací perioda: 10 ms–1 s</p> <p>převodník napětí – kmitočt rozlišení na výstupu: ~ 8 bitů opakovací perioda: 10 ms–1 s</p>

Vliv doby převodu

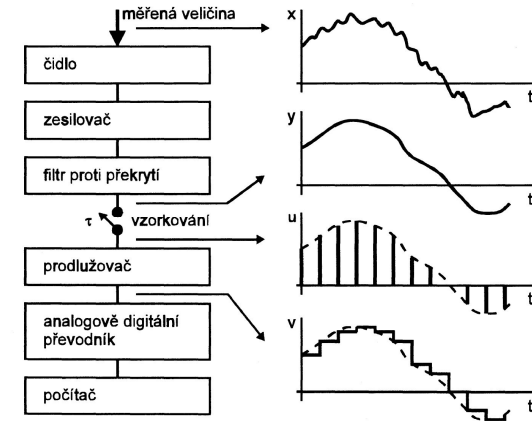
- Každý A/D převodník má určitou dobu převodu – pro různé principy buď konstantní nebo proměnnou v závislosti na vstupní veličině.
- Z popisu principů A/D převodníků vyplývá, že by se po dobu převodu neměla měnit vstupní hodnota převáděného signálu (anebo velmi málo – méně, než přesnost převodníku)
- Pokud se vstupní hodnota mění velmi rychle (např. při převodu sinusového signálu převodníkem s dobou převodu srovnatelnou s periodou/4), je nutno zařadit před převodník speciální obvod – **prodlužovač (Sample and Hold)**, který zajistí stálost signálu na vstupu převodníku.
- Moderní A/D převodníky mají obvykle tento obvod integrován na čipu

Prodlužovač (Sample and Hold)

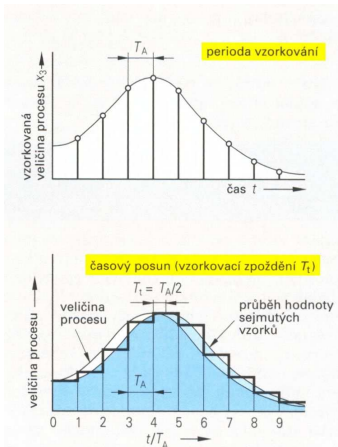


Princip činnosti

Úplná cesta digitalizace měřené veličiny



Digitalizace analogového signálu



Analogový signál se „vzorkuje“ – sejmou se momentální hodnoty analogového signálu

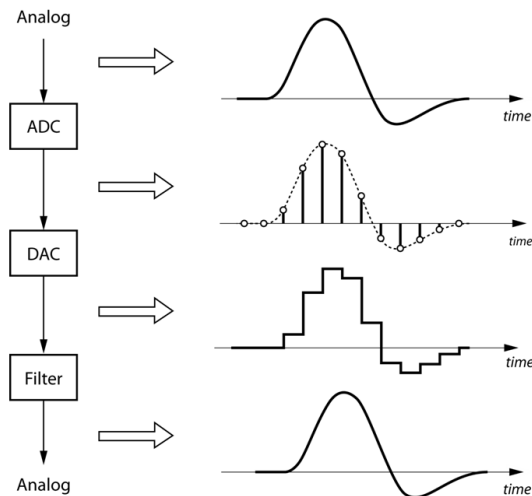
Vyzorkovaný signál se A/D převodníkem převede na číslo.

Základní otázka – jak často vzorkovat, aby bylo možné obnovit ze vzorků původní signál?

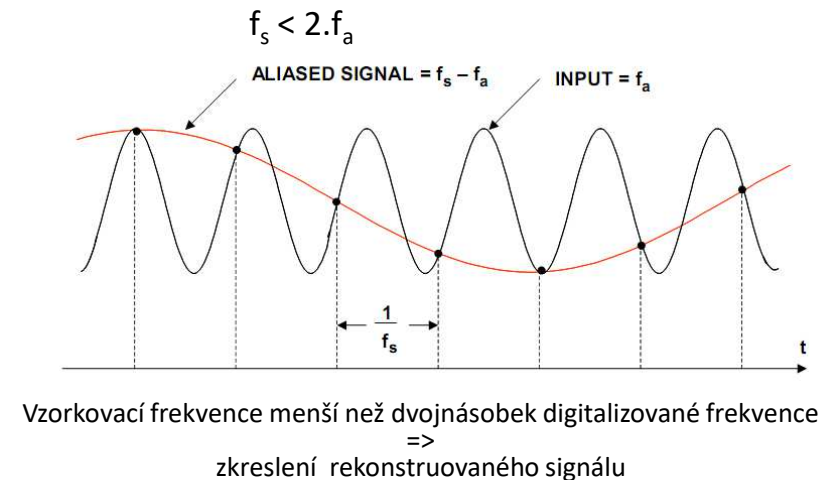
Vzorkovací teorém

- **Vzorkovací frekvence musí být nejméně 2x větší, než je největší frekvence obsažená ve spektru signálu.**
- Je to tzv. **Nyquistův teorém** (formuloval Harry Nyquist v roce 1928).
- Formálně dokázal Claude Shannon v roce 1949).
- Nazývá se také **Shannon-Nyquistův teorém** (někdy také Shannon-Kotělnikův vzorkovací teorém)
- Co se stane, když budeme vzorkovat menší frekvenci? – zpětná rekonstrukce analogového signálu nebude odpovídat originálu – nastane tzv. **aliasing**

Rekonstrukce analogového signálu



Aliasing



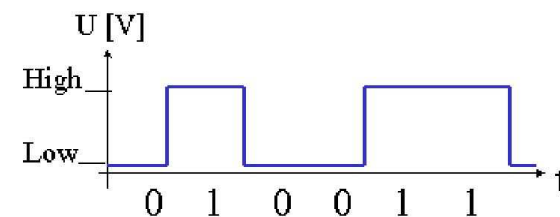
Základy datových komunikací

Přenos dat může být realizován dvěma způsoby:

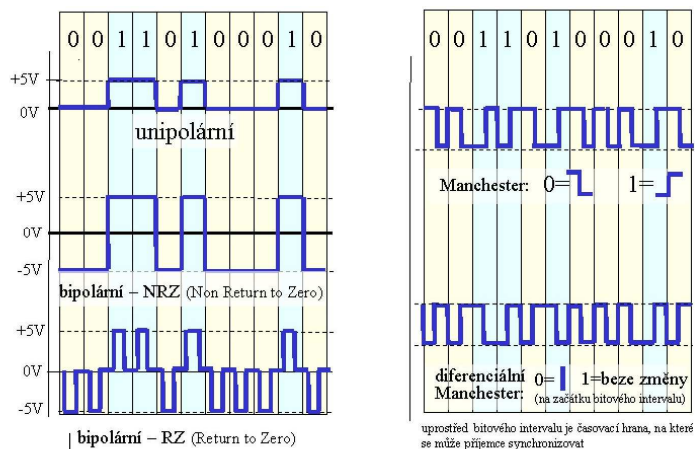
- **v základním pásmu (baseband, nemodulovaný přenos)**
- **v přeloženém pásmu (broadband, modulovaný přenos)**

Přenos v základním pásmu

- Jde o přenos, při kterém je vstupní signál okamžitě převáděn na přenosové médium bez činnosti modulačního prvku
- Přenášené bity se reprezentují např. napětovými či proudovými úrovněmi
- Na přenosovém médium probíhá **jen jeden** přenos v daný okamžik
- Přenos v základním pásmu může být také kódovaný – jeden datový bit je zakódován do více změn přenášeného signálu => větší „robustnost“ přenosu – např. kódování Manchester (použité v Ethernetu)
- Přenosy v základním pásmu se používají na relativně krátké vzdálenosti



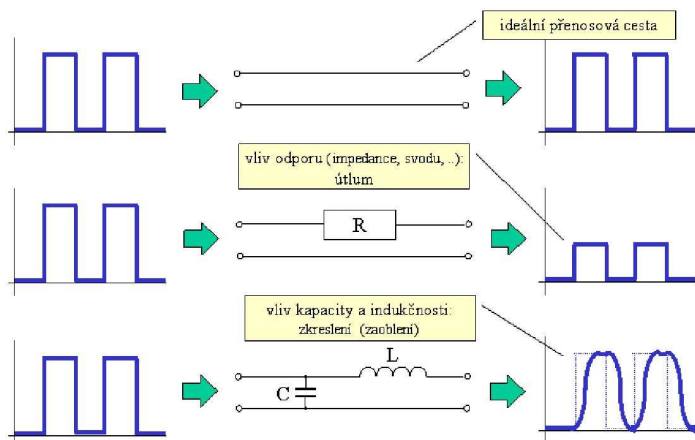
Přenos v základním pásmu příklady kódování



Reálné vlastnosti přenosových cest

- Přenosu v základním pásmu na větší vzdálenosti brání to, že přenosové cesty nejsou nikdy ideální (vždy nějak negativně ovlivňují přenášený signál – útlum, zkreslení, přeslech, rušení, atd.)
- Důsledek – přenosová cesta přenáší některé signály lépe, jiné hůře
- Řešení – přenosovou cestou přenášet takový **signál, který projde nejlépe** a na ten namodulovat data => **přenos v přeloženém pásmu**

Vliv útlumu a zkreslení

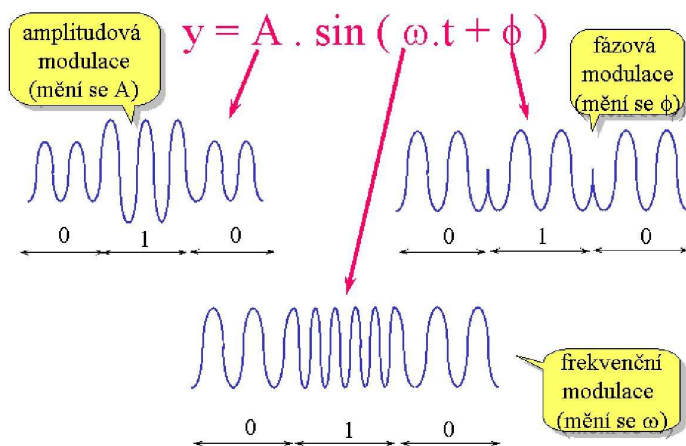


Přenos v přeloženém pásmu

- V praxi se nejlépe po přenosovém médiu přenáší signál harmonického (sinusového) průběhu
- Představuje tzv. **nosnou frekvenci** (nosný signál), která sama o sobě nenese žádnou informaci
- Data určená k přenosu se „naloží“ na nosný signál (podle přenášených dat se mění některý parametr přenášeného nosného signálu – jde o tzv. **modulaci**)
- Příjemce musí být schopen rozpoznat změny nosného signálu a z nich získat přenášená data – provést tzv. **demodulaci**
- V praxi se pro modulaci a demodulaci používají zařízení tzv. **modemy** (Modulátor/DEModulátor)



Představa modulace



Modulační rychlost

Modulační rychlost je počet změn signálu za sekundu.

- Měří se v jednotkách Baud [Bd] - dle Jean-Maurice-Emile Baudota
- Modulační rychlost nic neříká o tom, kolik dat se přenáší. To záleží na tom, kolik bitů reprezentuje jedna změna signálu
- Místo modulační rychlost se též používá pojem „symbolová rychlost – angl. **Baud rate**
- Může být použita **vícetavová modulace** – každý ze stavů může reprezentovat $\log_2(n)$ bitů (čtyřstavová modulace přenáší v jedné změně 2 bity)
- Počet stavů nelze libovolně zvyšovat, protože příjemce by je nedokázal rozlišit
- Po jedné přenosové cestě lze přenášet více nosných (modulovaných signálů současně – musí být však vhodně frekvenčně posunuty (tzv. **frekvenční multiplex**))

Přenosová rychlost

- **Přenosová rychlost určuje, kolik bitů se přenesou za sekundu**
- Měří se bity za sekundu b/s (či násobcích kb/s, Mb/s, Gb/s, ...)
- Vypovídá o tom, jak dlouho trvá přenos jednoho bitu. Efektivní (skutečně dosahovaná) přenosová rychlost může být i výrazně nižší (protože některé přenášené bity jsou tzv. **režijní** – zabezpečovací kódy, apod.)
- Přenosová rychlost nic nevypovídá o tom, kolikrát za sekundu se změnil přenášený signál, tzn. jaká je modulační rychlost
- Vztah mezi modulační a přenosovou rychlostí

$$V_{\text{přenosová}} = V_{\text{modulační}} \cdot \log_2(n)$$

kde n = počet skutečně rozlišovaných stavů modulace

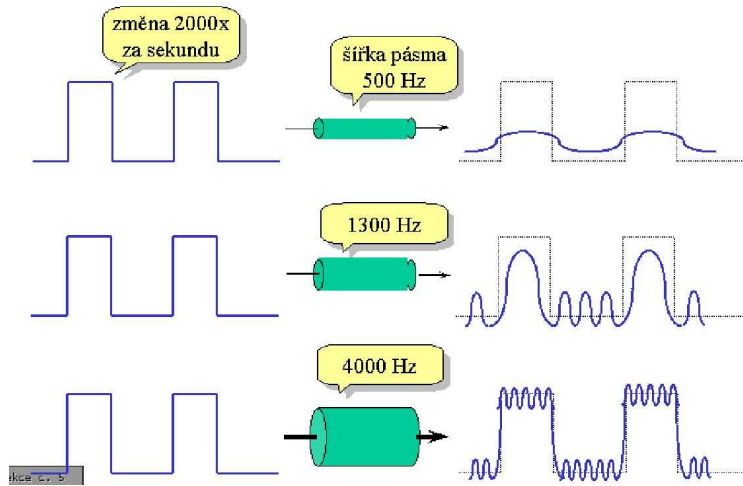
Přenosový výkon

(efektivní přenosová rychlost)

- Efektivní přenosová rychlost může být větší nebo menší než přenosová rychlost
 - Větší – z důvodu zařazení komprese dat
 - Menší – různé druhy režie, zajištění spolehlivosti, ...
- Jak docílit zvýšení přenosové rychlosti:
 1. Zvyšovat počet stavů při pevně dané modulační rychlosti – pouze do určité míry (rozpoznatelnost stavů)
 2. Zvyšovat modulační rychlost – nelze dělat také libovolně – použít více přenosových cest (drahé)

Kde je hranice, kam už nejde jít? – hranice závisí na tzv. šířce pásma a kvalitě přenosové cesty

Vliv šířky přenosového pásma na výsledný signál



Shannonův teorém

- Teoretická max. hranice pro přenosovou rychlost je

$$V_{\text{max_přenosová}} = \text{šířka_pásma} * \log_2(1 + \text{signál/šum})$$

Důsledky:

- Závislost na šířce pásma je lineární
- Není závislá na použité technologii (nezáleží na použité modulaci ani na počtu stavu modulace)

Závěr:

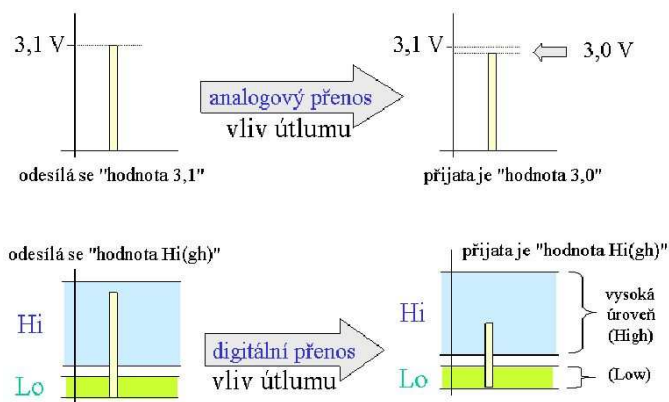
Technologiemi lze „vylepšovat“ přenosovou rychlost (tedy využití přenosové cesty) ale jen do hranice dané Shannonovým teorémem

Optimální modulační rychlost:

$$V_{\text{opt_modulační}} = 2 * \text{šířka_pásma} \text{ (pokud pásmo začíná od 0)}$$

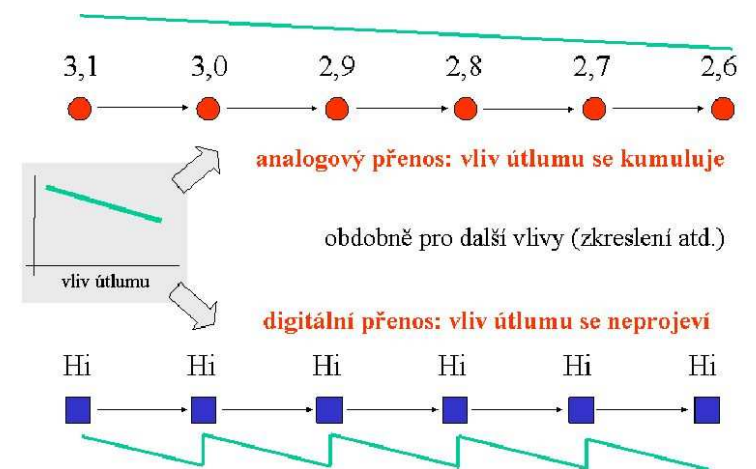
Důsledek Nyquistova vzorkovacího teorému

Analogový a digitální přenos

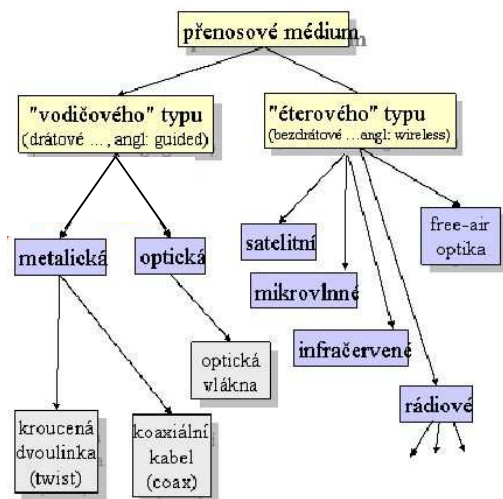


Představa analogového a digitálního přenosu
 Analogový přenos není nikdy ideální
 Digitální přenos je (může být) ideální a nezkrácený

Kumulování vlivu útlumu



Přenosová media



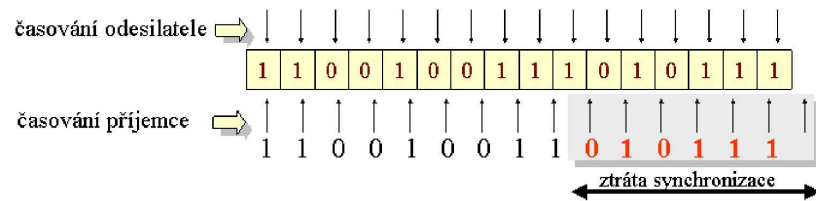
Techniky přenosu dat

- Dle směru přenosu:
 - **Duplexní** (Full Duplex) – přenos je možný v obou směrech a to současně
 - **Poloduplexní** (Half Duplex) – je možný v obou směrech, ale nikoli současně
 - **Simplexní** – přenos pouze jedním směrem (obecně TV vysílání)
 - **Semiduplex** (dusimplex) – když je přenos každým z obou směrů realizován jinak (např. satelitní připojení k Internetu – zpětný kanál je realizován pozemní cestou)
 - **Asymetrický přenos** – když jsou rychlosti v obou směrech různé (např. ADSL poměr rychlosti 1:10)

- Dle počtu najednou přenesených bitů
 - **Sériový přenos** – bity jsou přenášeny postupně jeden za druhým (dříve - pomalá technologie, pro zvýšení rychlosti přenosu se používal paralelní přenos. Dnes – převažující technologie pro velmi rychlé přenosy, minimalizace přeslechů – SATA, USB, Ethernet, ...). Používá se na vzdálené přenosy.
 - **Paralelní přenos** – několik bitů (obvykle 8 = 1 byte) je přenášeno najednou, byty jsou potom přenášeny sériově. Použitelné pouze na krátké vzdálenosti, nutnost použití více vodičů

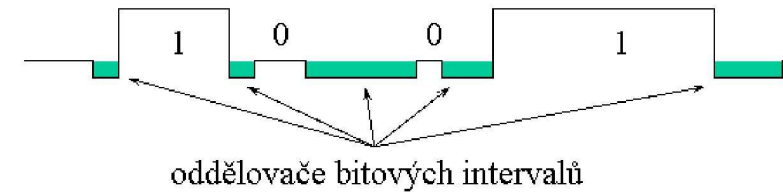
- Dle metody synchronizace
 - Každý bit je přenášen v rámci určitého bitového intervalu, tj. přenos bitu není okamžitý, ale trvá určitou dobu
 - Příjemce vyhodnocuje stav přenášeného bitu někde v rámci bitového intervalu
 - Nastává problém synchronizace – příjemce se musí strefit do správného bitového intervalu, jinak přijme špatná data
 - Příjemce i odesílatel odměřují odesílaná data podle vlastních „hodinek“. Tyto hodinky musí tikat dostatečně souběžně (synchronně) => nutnost stabilních oscilátorů na straně odesílatele i příjemce

Problém synchronizace



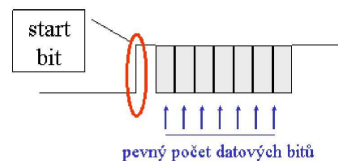
Ztráta synchronizace při nesteréjné frekvenci oscilátoru odesílatele a příjemce

Asynchronní přenos

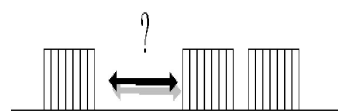


Zcela postrádá jakoukoli synchronizaci
 Bitový interval nemá konstantní délku
 Začátek a konec každého bitového intervalu musí být explicitně vyznačen => nutnost alespoň tříhodnotové logiky
 Tato varianta se dnes prakticky nepoužívá
 Pokud se dnes používá termín asynchronní přenos, myslí se tzv. arytmičtý

Arytmický přenos



Přenáší celé skupiny bitů (dnes obvyčejně 8 bitů) – tzv. znak.
 Na začátku každého znaku je tzv. start-bit – slouží k synchronizaci příjemce
 Na konci může být připojen stop-bit s opačnou polaritou než start-bit



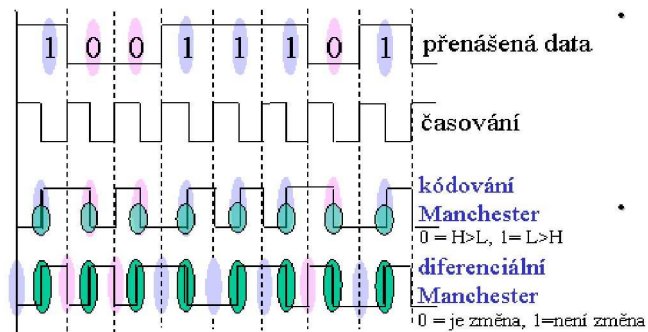
Časové prodlevy mezi různými znaky mohou být různě velké.
 Proto a-rytmický přenos – chybí rytmus přenosu jednotlivých znaků
 Během prodlevy mezi znaky se hodinky příjemce mohou libovolně rozejít – na začátku dalšího znaku jsou zasynchronizovány pomocí start-bitu

Dnes nazývaný jako asynchronní přenos

Synchronní přenos

- Synchronizace je udržována trvale
- Přenáší se celé souvislé bloky dat (nehodí se pro přenášení jednotlivých bytů)
- Synchronizace se udržuje po celou dobu přenosu souvislého bloku dat (někdy se udržuje i mezi bloky dat)
- Synchronní přenos je obecně rychlejší než asynchronní a arytmičtý, používá se při vyšších rychlostech, je menší režie
- Problém je zajištění trvalé synchronizace – vysoké nároky na stabilitu oscilátorů a nutnost průběžně seřizovat hodiny příjemce -(pomocí synchronizačního signálu nebo skrze redundantní kódování (zahrnutí časového signálu do kódování jednotlivých bitů např. kódování Manchester) nebo synchronizací z dat

Zajištění synchronizace – časování spolu s daty



Manchester – uprostřed každého bitového intervalu je hrana která nese data a slouží i pro synchronizaci (Ethernet)

Diferenciální Manchester – uprostřed bitového intervalu je hrana, slouží pouze pro časování. Data nese hrana či absence hrany na začátku intervalu (Token Ring)

Nevýhoda – modulační rychlost (i potřebná šířka pásma) je 2x vyšší než přenosová rychlost

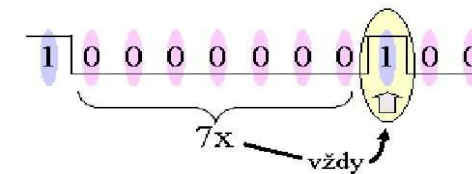
Synchronizace z dat

- Přenášený signál neobsahuje žádné časování
- Příjemce si průběžně seřizuje hodiny podle datových bitů v okamžiku výskytu hrany, která signalizuje bit
- Problém – mohou se vyskytnout dlouhé posloupnosti stejných bitů, které negenerují žádnou hranu a hodiny příjemce mohou ztratit synchronizaci
- Řešení – technika **bit-stuffing (vkládání bitů)**.
Pokud by se vyskytla příliš dlouhá sekvence stejných bitů, odesílatel vloží do dat vhodný bit, který vyvolá hranu a příjemce ji zase odstraní.

Příklad:

Na straně odesílatele: za každou sedmou po sobě jdoucí 0 zařadí jeden jedničkový bit

Na straně příjemce: po každých 7 souvislých nulách smaže následující 1



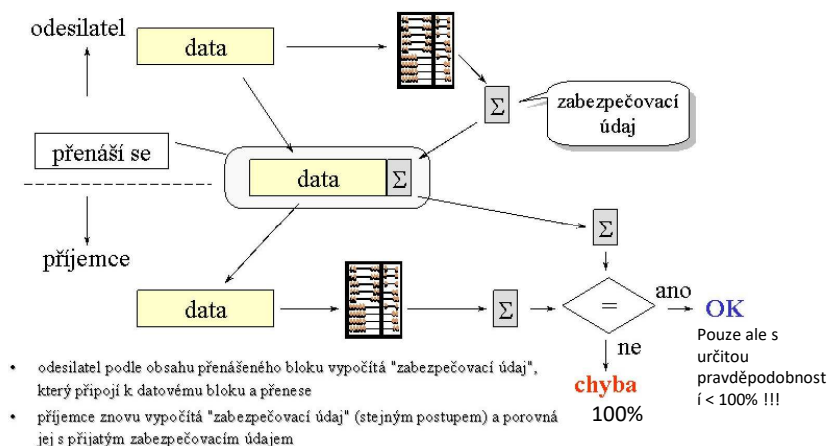
Detekce chyb v přenosu

- Schopnost rozpoznat, že došlo k nějaké chybě při přenosu – musí být použit vhodný detekční mechanismus
- Co dělat, když se zjistí chyba u přenosu?
 - U **nespolehlivého přenosu** nic – někdy to nevádí, např. v multimediálních datech
 - U **spolehlivého přenosu** je nutno se postarat o nápravu
 - Použitím **samoopravných kódů**, které chybu detekují a u některých typů chyb i řeknou, kde a jaká chyba nastala
 - Pomocí **potvrzování**, kdy si příjemce vyžádá opakování vysílání poškozených dat => nutnost existence zpětného kanálu (min. poloviční duplex)

Bezpečnostní kódy

- Používají se pro zjištění výskytu chyby. Princip spočívá v připojení nadbytečné (redundantní) informace k vlastním datům.
- Dělí se na:
 - **Detekční kódy** – umí pouze detekovat výskyt chyby, ale neurčí, kde chyba nastala
 - **Samoopravné kódy** – detekují výskyt chyby, ale pro určitý typ chyby je schopen říci, kde chyba nastala a je možné chybu opravit (např. **Hammingovy kódy** – při přenosu dat se příliš nepoužívají, mají využití např. u spolehlivých paměti, tzv. ECC paměti – Error Correction Code)

Obecná představa zabezpečovacích kódů



Druhy detekčních kódů a chyb

Druhy kódů:

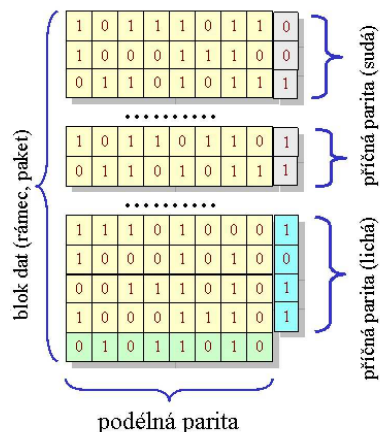
- **Parita** (příčná a podélná) – má nejmenší účinnost
- **Kontrolní součet** (Checksum) – účinnost je lepší
- **Cyklické redundantní kódy** (CRC – Cyclic Redundancy Check) – nejlepší účinnost

Druhy chyb:

- **Pozměněná data** – některé bity jsou změněny (jednotlivý výskyt)
- **Shluky chyb** – celé větší skupiny bitů jsou změněny nebo ztraceny
- **Výpadky dat** – ztráta celého rámce

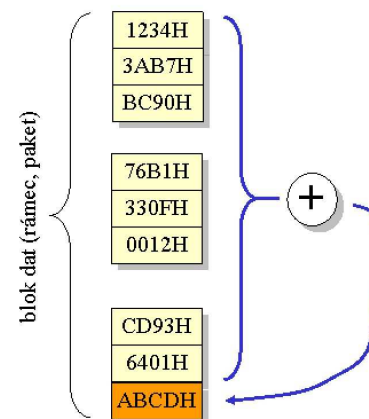
Parita příčná a podélná

- Bit přidáný navíc k datovým bitům
- **Sudá (lichá) parita** – paritní bit je nastaven tak, aby celkový počet 1 byl sudý (lichý)
- **Příčná parita** – po jednotlivých bytech/slovech – informace o tom, který byte/slovo je poškozen
- **Podélná parita** – parita ze všech stejnořadých bitů všech bytů/slov
- Detekce chyb špatná
 - Detekuje chyby v lichém počtu bitů v byte/slovu (příčná parita),
 - Nedetekuje sudý počet chyb v byte/slově – chyby se navzájem vyloučí



Kontrolní součet - Checksum

- Jednotlivé byty/slova tvořící přenášený blok se interpretují jako čísla a sečtou se (obvykle v modulo 8, 16, nebo 32 bitů)
- Výsledný součet se použije jako zabezpečovací údaj
- Účinnější než parita, ale míra zabezpečení stále nízká
- Použití např. v ROM pamětech pro kontrolu správnosti dat
- Někdy se výsledný součet připojí vyjádřený ve dvojkovém doplňku (proč?)



CRC – Cyclic Redundancy Check

- Posloupnost bitů, tvořících blok dat, je interpretována jako polynom, kde jednotlivé bity jsou jeho koeficienty
- Tento polynom je vydělen jiným (tzv. generačním polynomem) např. CRC-16: $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- Výsledkem je podíl a zbytek. Zbytek se připojí k datům jako zabezpečovací kód
- Výpočet zbytku je velmi jednoduchý a může být dokonce implementován v hardware

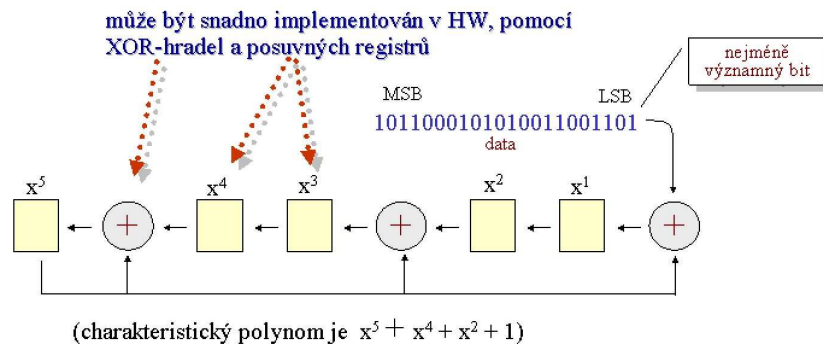
$$\dots + 1x^{14} + 0x^{13} + 0x^{12} + 1x^{11} + \dots$$

- Schopnosti detekce jsou vynikající – dle použitého generačního polynomu:
 - Všechny shluky chyb s lichým počtem bitů
 - Všechny shluky chyb do velikosti n bitů, kde n je stupeň referenčního polynomu
 - Všechny shluky chyb velikosti n+1 s velmi vysokou pravděpodobností 99,9..... %

Teoretické zabezpečovací schopnosti CRC kódů

z	Generační mnohočlen	Zabezpečení lichého počtu chyb	Zabezpečení shluků chyb délky z + 1 (v %)	Zabezpečení shluků chyb větší než z + 1 (v %)	Zabezpečení platí pro max. délku bloku (v bitech)	Zabezpečení 2 shluků chyb		
						max. součet shluků chyb (v bitech)	max. délka kratšího shluku (v bitech)	platí pro max. celkovou délku bloku (v bitech)
10	$x^{10} + x^3 + 1$ $x^{10} + x^7 + x^2 + 1$	ne ano	99,8 99,9	99,9	1 023	2 6	1 3	1 023 155
11	$x^{11} + x^2 + 1$ $x^{11} + x^5 + x + 1$ $x^{11} + x^8 + x^7 + x^4 + x + 1$	ne ano ano	99,9	99,95	2 047	2 6 8	1 3 4	2 047 315 105
12	$x^{12} + x^6 + x^4 + x + 1$ $x^{12} + x^7 + x + 1$ $x^{12} + x^9 + x^8 + x^4 + x + 1$	ne ano ano	99,95	99,975	4 095	2 7 9	1 3 4	4 095 126 120
16	$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$	ano ano	99,997	99,9985	65535	4	2	32767

Generace CRC kódu v hardware



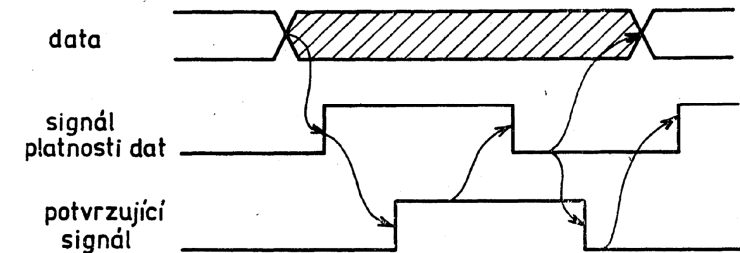
Řízení přenosu dat

- Přenos dat mezi zdrojem a příjemcem dat probíhá podle předem dohodnutých pravidel, definovaných tzv. řídicím postupem neboli **protokolem**.
- Protokol je soustavou syntaktických a sémantických pravidel pro přenos dat mezi zdrojem a příjemcem. Jeho charakter je dán strukturou a organizací přenosových cest, použitou metodou přenosu dat atd.
- Patří k němu například pravidla pro zřízení přenosové cesty, tj. pro navázání a zrušení spojení, pravidla pro zřízení a zrušení přenosu, způsoby zabezpečení dat, formátování zprávy apod.

Řízení toku dat

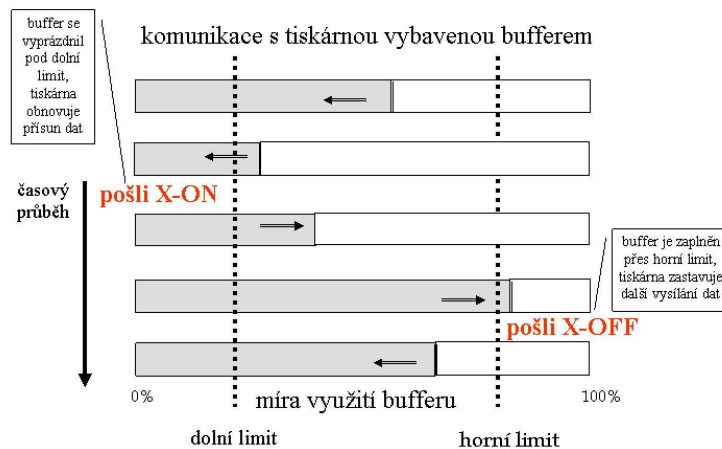
- Rychlost komunikujících stran může být výrazně odlišná
- Je nutné zajistit, aby příjemce stačil přijímat data a neztratil nějaká data z důvodu menší rychlosti příjmu
- Je nutno tedy řídit tok dat mezi odesílatelem a příjemcem **podle možností příjemce**
- Problém lze řešit na úrovni jednotlivých znaků
 - tzv. **hardwarový handshake** – používají se k tomu samostatné signály (např. RTS a CTS u rozhraní RS232C)
 - tzv. **softwarový handshake** – příjemce odesílá např. znaky XON/XOFF regulující tok dat

Řízení toku dat - Handshake



Příklad řešení řízení toku dat pomocí řídicích signálů – hardwarový handshake
Používá se především při paralelním přenosu

Řízení toku dat - Handshake

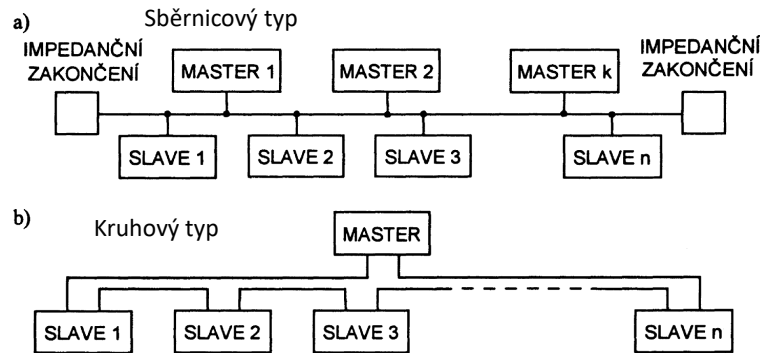


Příklad řízení toku dat pomocí programu – tzv. softwarový handshake
Příjemcí strana musí být vybavena vyrovnávací pamětí

Rozhraní pro přenos dat

- Existuje velké množství rozhraní pro přenos dat.
- Pro danou aplikaci je nutné vybrat vhodné rozhraní pro přenos dat z hlediska:
 - Rozsáhlosti systému
 - Vzdálenosti mezi přístroji
 - Odolnosti proti rušení v průmyslových aplikacích
 - Principu – sběrníková versus kruhová topologie
 - Existence centrálního řídicího prvku
 - Autonomní měřicí přístroje či centralizované měřicí systémy
 -

Typické parametry systémů složených z autonomních přístrojů a modulů



Příklad možných uspořádání rozsáhlých měřicích systémů

Tabulka 1.1. Typické parametry systémů složených z autonomních přístrojů a modulů

Použité rozhraní	topologie	počet připojitelných funkčních jednotek	Max. rychlost přenosu (MB/s)	Max. délka kabelu mezi dvěma funkčními jednotkami	součin vzdálenost x rychlost (m.Mb/s)	Typické použití
IEEE 488	sběrnice	14	1	2 m (celkem max. 20 m)		připojení více lab. přístrojů k počítači
RS-232	bod-bod	1	0,02	stovky m *)	1	levné připojení jednoho přístroje, měř. modulu či inteligentního senzoru k počítači
RS-485	sběrnice	31	10	1200 m	100	připojení více průmyslových měř. modulů či inteligentních senzorů k počítači
proud. smyčka	kruh	10 (pouze příjem)	0,02	10 000 m	10	připojení měř. modulu či inteligentního senzoru k počítači v zaručeném prostředí
USB (F.S./L.S.)	strom	127	12 / 1,5	5 / 3 m		připojení měřicích modulů k počítači (náhrada RS-232)
IEEE 1394	strom	63	98, 196, 393	4,5 m (celk. max. 72 m)		připojení přístroje či modulu k počítači při požadavku rychlého přenosu dat

*) maximální mezivodičová kapacita 2,5 nF celkem

Typické parametry centralizovaných měřicích systémů

Tabulka 1.2. Typické parametry centralizovaných měřicích systémů

Označení použité sběrnice (rozhraní)	šířka sběrnice	počet připojitelných funkčních modulů	Počet analog. vstupů v modulu	Max. rychlost přenosu (MB/s)	Rychlost vzorkování při přímém přenosu dat do paměti počítače (MSa/s)	Typické použití
ISA (PC/104)	16	6 - 8	8 - 64	8	0,5/n *)	malé průmyslové měřicí systémy
PC Card (PCMCIA)	16	2	8 - 16	20	1/n *)	přenosné měřicí systémy
PC CardBus	32	2	8 - 16	132	10/n *)	přenosné měřicí systémy
PCI (PCI)	32/64	3-6 (3-4)	8 - 64	132/264/528	50/n *)	výkonné malé laboratorní (průmyslové) měřicí systémy
CompactPCI	32/64	9	8 - 64	132/264	50/n *)	výkonné malé průmyslové měřicí a řídicí systémy
PXI	32/64	9	8 - 64	132/264	50/n *)	výkonné malé laboratorní a průmyslové měřicí systémy
VXI	32	12	256	40	10/n *)	výkonné laboratorní a průmyslové měřicí systémy
VME	16/32	20	8 - 64	20/40	10/n *)	výkonné řídicí systémy (v budoucnosti je zřejmě nahradí CompactPCI)
VME 64	16/32	20	8 - 64	80	20/n *)	výkonné řídicí systémy (v budoucnosti je zřejmě nahradí CompactPCI)

*) n je počet aktivních kanálů

Sériové rozhraní RS232C

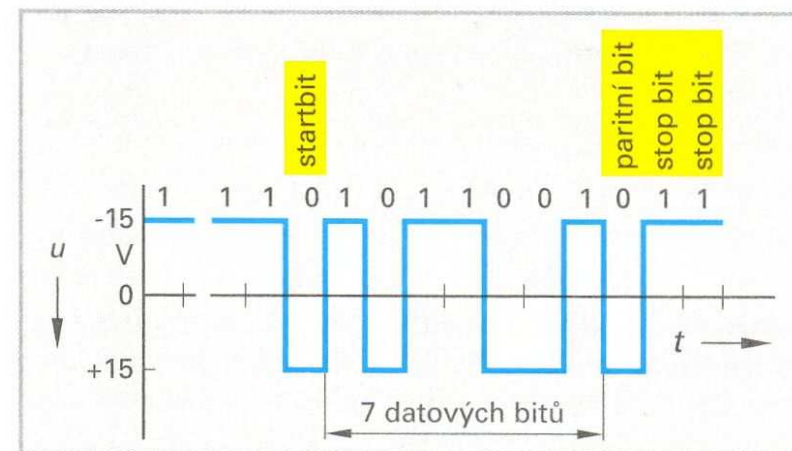
- Sériové rozhraní RS-232-C (standardizované Electronic Industries Association EIA [2.9]) bylo původně určeno ke spojení koncového datového zařízení (Data Terminal Equipment DTE - např. terminálu, počítače – česky KZD) s komunikačním datovým zařízením (Data Communication Equipment DCE – modemem – česky UZD).
- V průběhu doby se rozhraní RS-232-C začalo používat i mimo obor telekomunikační techniky, k výraznému rozšíření přispělo zejména jeho užití v osobních počítačích standardu IBM PC.
- V současnosti (přes všechny jeho nedostatky - dvoubodové spojení, nízká přenosová rychlost a malá odolnost proti rušení) má toto rozhraní velmi výrazné postavení i v měřicí technice, kde je aplikováno především u levnějších měřicích přístrojů, speciálních modulů, inteligentních snímačů apod.
- Velmi rozšířené rozhraní, do nedávna prakticky na všech počítačích, od malých řídicích mikropočítačů, přes notebooky, PC, minipočítače i superpočítače. Také používáno u spotřební elektroniky (nahrávání firmware), ovládání serverů, routerů, připojení modemů, měřicích přístrojů, ...
- V současné době se přestává zabudovávat do počítačů, je nahrazeno rozhraním USB
- Umožňuje asynchronní (arytmický) i synchronní přenos do rychlosti cca 1 Mb/s
- Pokud je v současnosti potřeba RS232C, je možné využít dostupné převodníky USB <-> RS232C, např. firmy. Aten



Průběh signálů RS-232-C

- Při sériové komunikaci jsou data vysílána jako posloupnosti jednotlivých bitů, přičemž v jednom časovém okamžiku je přenášen vždy jediný bit. Přenášené bity nabývají logických hodnot 0 nebo 1.
- V případě RS-232-C odpovídá log.1 napěťové úrovni -3 až -15 V, log.0 úrovni +3 až +15 V.
- Obvody rozhraní jsou nesymetrické, proto se uvedené úrovně vztahují k potenciálu nulového signálového vodiče.
- Odpor zátěže se může pohybovat v rozmezí 3 až 7 kΩ, kapacita zátěže nesmí být větší než 2500 pF.

Průběh signálu RS232C – asynchronní přenos



Každý znak je uveden start bitem a zakončen 1, 1.5 nebo 2 stop bity. Obě strany musí být domluveny na přenosové rychlosti (velikost bitového intervalu), počtu datových bitů, paritě a počtu stop bitů.

Zapojení konektorů RS232C

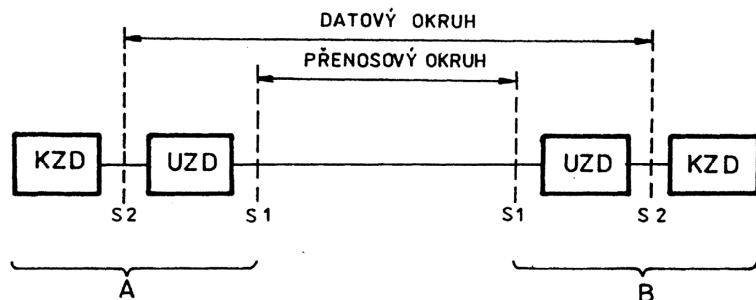
Označení vývodu		Konektor CANNON		Varianta		
v. 24	RS 232 C	9 kolíků	25 kolíků	malá	střední	velká
101	FG	-	1	*	*	*
102	SG	5	7	*	*	*
103	TD	3	2	*	*	*
104	RD	2	3	*	*	*
105	RTS	7	4	*	*	*
106	CTS	8	5	*	*	*
107	DSR	6	6	*	*	*
108*	DTR	4	20	*	*	*
109	DCD	1	8	*	*	*
114	TC	-	15	*	*	*
115	RC	-	17	*	*	*
118	STD	-	14	*	*	*
119	SRD	-	16	*	*	*
120	SRTS	-	19	*	*	*
121	SCTS	-	13	*	*	*
122	SDCD	-	12	*	*	*
125	RI	9	22	*	*	*

Existují 2 typy konektorů (9 a 25 kolíků) a několik variant zapojení

Popis nejdůležitějších signálů RS232C

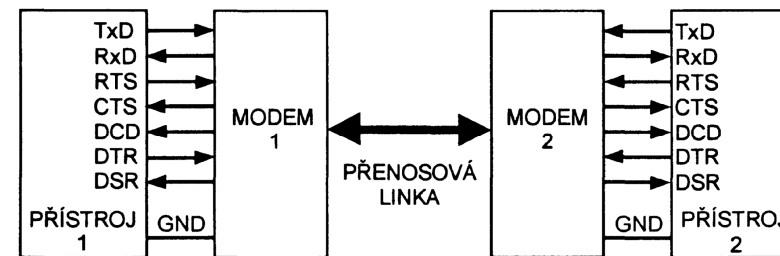
Signál	symbol	Číslo kontaktu konektoru		Funkce
		25 kontaktů	9 kontaktů	
Protective ground	-	1	-	Ochranný zemní vodič
Transmitted	TxD	2	3	data vysílaná z DTE
Received Data	RxD	3	2	data přijímaná do DTE
Request To Send	RTS	4	7	signál vysílaný z DTE; sděluje DCE, že DTE je připraveno přijímat data
Clear To Send	CTS	5	8	signál vysílaný z DCE; sděluje DTE, že DCE je připraveno přijímat data od DTE a vysílat je do komunikačního kanálu
Data Set Read	DSR	6	6	signál vysílaný z DCE; sděluje DTE, že DCE je funkční a připraveno komunikovat
Signal Ground	-	7	5	signálový zemní vodič Ground
Data Carrier Detected	DCD	8	1	signál vysílaný z DCE; sděluje DTE, že byl detekován signál vysílaný modemem na opačném konci komunikačního kanálu
Data Terminal Ready	DTR	20	4	signál vysílaný z DTE; sděluje DCE, že DTE je funkční
Ring Indicator	RI	2	9	signál vysílaný z DCE; indikuje "vyzváněcí" signál v komunikačním kanálu (např. telefonní lince)

Zapojení RS232C s modemy



Vytvoření dálkového spoje pomocí 2 modemů (UZD - DCE) mezi 2 počítači (KZD - DTE)
 DTE – Data terminal equipment
 DCE – data circuit-terminating equipment

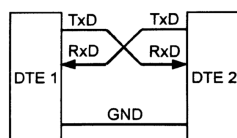
Zapojení modemů



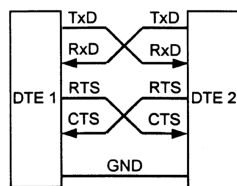
Jako přenosová linka je použita telefonní linka -> možnost vytvořit datový okruh na velké vzdálenosti.
 Přenosová rychlost na velké vzdálenosti je dána kvalitou telefonní linky (mezistátní spojení = rychlost 4800 – 9600 bit/sec)

Nulový modem

- V případě propojení na kratší vzdálenosti je možné 2 zařízení propojit i bez modemů – pouze kabelem.
- Takový kabel se nazývá **nulový modem**
- Existuje několik variant zapojení nulového modemu
- U třídrátového nulového modemu je možné řízení toku dat pouze softwarově – software handshake, u vícedrátových je realizován hardware handshake

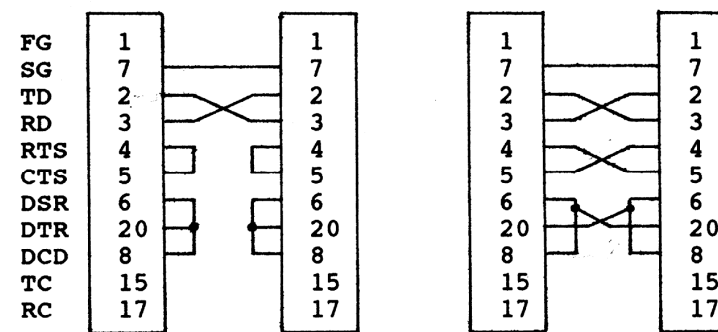


Třídrátové zapojení nulového modemu



Pětidrátové zapojení nulového modemu

Nulový modem



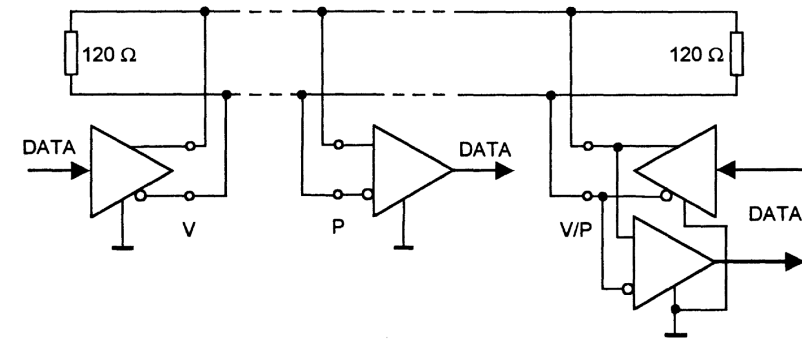
Třívodičové zapojení bez handshake

Sedmivodičové zapojení s handshake

Sběrnice RS-485

- Velmi rozšířená je sběrnice RS-485.
- Je odvozena od méně používaného propojení RS-422A, což je stejně jako RS-232 propojení bod - bod, avšak s diferenčním zapojením vysílačů a přijímačů a s jinými napěťovými úrovněmi.
- Sběrnice RS-485 se používá zejména v oblasti průmyslových distribuovaných systémů.
- Jako přenosové médium je zde použit normou blíže nespecifikovaný dvoudrát. Pro zvýšení odolnosti proti rušení bývá většinou zkroucen, popř. i stíněn.
- Ke sběrnici může být připojen libovolný počet vysílačů s třístavovým výstupem (samozřejmě pouze jeden může být aktivní, ostatní musí být uvedeny do stavu vysoké impedance), počet přijímačů je omezen na 32.
- Blokové připojení jednotlivých funkčních jednotek na sběrnici je uvedeno na obrázku. Jedná se o diferenční uspořádání, což jednak umožňuje dosažení přenosové rychlosti až $v = 10 \text{ Mb/s}$, jednak zvyšuje odolnost proti rušení.
- Maximální přenosová rychlost je pochopitelně omezena též skutečnou délkou sběrnice, jež může dosahovat dle normy až 1200 m.

Sběrnice RS-485

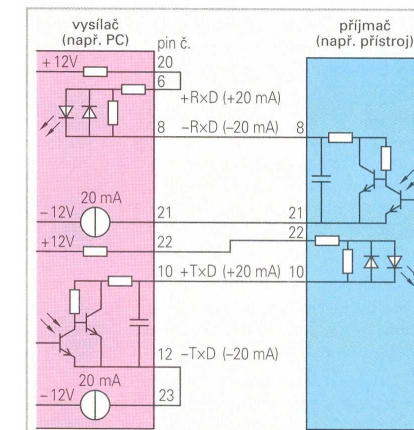


Zapojení vysílače a přijímače sběrnice RS-485

Rozhraní proudová smyčka - TTY

- Proudová smyčka patří mezi historicky nejstarší přenosové kanály.
- Původně byla používána v dálkopisných sítích, vzhledem ke svým specifickým vlastnostem se však používá i v měřicích a řídicích systémech.
- Vysílač pracuje jako zdroj proudu, který vnucuje do vedení proudové impulsy. Logické úrovni 1 odpovídá proud větší než 12 mA, logické úrovni 0 proud menší než 3 mA.
- Výhodou tohoto řešení je vysoká odolnost proti rušení a velké dosažitelné vzdálenosti mezi jednotlivými funkčními jednotkami - délka smyčky může být až 10 km.
- Proto je často využívána i v současné době zejména pro speciální měřicí a automatizační systémy v energetice.
- Nevýhodou je nízká přenosová rychlost.

Rozhraní proudová smyčka - TTY



Velmi daleký dosah až 10 km, malé rychlosti, vysoká odolnost proti rušení

Sériové rozhraní USB

- Rozhraní **Universal Serial Bus** (dále jen **USB**) bylo vyvinuto pro efektivní připojení PC do telefonní datové sítě a pro připojení běžných periférií komerčního charakteru k PC.
- Přestože při návrhu USB nebylo jeho využití v malých systémech pro měření a sběr dat prioritním záměrem, objevily se v poslední době na trhu první moduly renomovaných výrobců měřicí techniky umožňující použít toto rozhraní i pro měřicí aplikace.
- Základní parametry rozhraní USB - možnost připojit velký počet zařízení na vzdálenost jednotek metrů a poměrně vysoká přenosová rychlost vyhovují požadavkům kladeným v současné době na malé měřicí systémy.
- Rozhraním USB v různých verzích jsou dnes standardně vybavovány všechny počítače. běžným vybavením komerčních PC.
- Rozhraní USB přitom na rozdíl od sériové linky RS-232 (spojení bod –bod) umožňuje připojit k PC současně větší počet zařízení při vysoké přenosové rychlosti.
- Základní programové vybavení pro ovládání rozhraní USB odpovídá standardu plug & play a je již v současné době součástí moderních operačních systémů (Windows i Unix).

Rozhraní USB je specifikováno jako standard pro průmyslové rozšíření architektury PC. Při jeho návrhu byla upřednostněna následující kritéria:

- možnost snadno rozšířit počet periférií připojených k PC;
- levné řešení rychlého přenosu dat;
- podpora přenosu dat v reálném čase (audioaplikace, video při použití komprese dat);
- možnost jak izochronního přenosu dat, tak asynchronního přenosu zpráv;
- možnost integrace do nejrůznějších typů periferních zařízení.

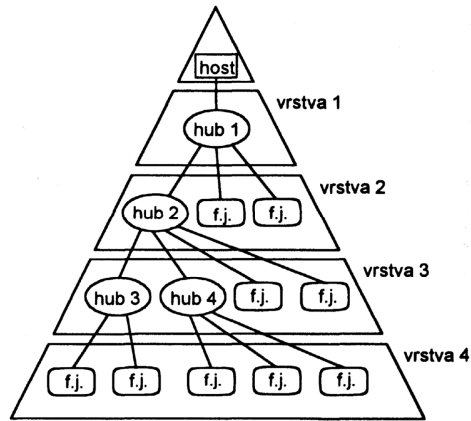
Použití USB s perifériemi přináší řadu výhod:

- snadné použití pro koncové uživatele;
- široký rozsah aplikací
- přenosové rychlosti podle verze:
 - USB 1.1 1,5 Mb/s (Low Speed) a 12 Mb/s (Full Speed)
 - USB 2.0 až 480 Mb/s (High Speed)
 - USB 3.0 až 4,8 Gb/s (Superspeed)
 - USB 3.1 až 10 Gb/s (Superspeed+)
 - Gen1 - fakticky USB 3.0 s omezením na 5 Gb/s
 - Gen2 - 10 Gb/s .
 - USB 3.2 až 20 Gb/s (Superspeed+)
- možnost připojení až 127 zařízení
- podpora současné komunikace s několika zařízeními
- indikace chyb přenosu a možnost jejich korekce, indikace vadné periférie;
- automatická indikace připojení a odpojení periférie;
- jednoduchý protokol pro implementaci a integraci do stávajících systémů
- konzistentní s filozofií plug & play

Zařízení vybavené rozhraním USB (USB device - dále jen USB zařízení) je buď:

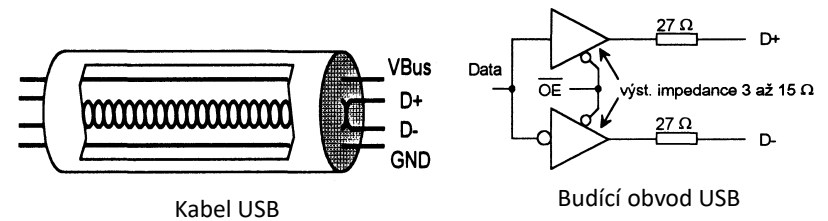
- rozdělovač (hub - centrální jednotka hvězdicovité struktury)
 - funkční jednotka (periferní zařízení - např. myš, klávesnice, rozhraní ISDN, digitální audiovstup, analogově-číslcový měřicí modul, apod.).
- Propojení je řešeno pomocí několikaúrovňové hvězdicové struktury.
 - Středem každého hvězdicového propojení je rozdělovač a jednotlivé propojovací segmenty. Ty spojují buď počítač (USB host), který obsahuje centrální rozdělovač s funkčními jednotkami a rozdělovači na vyšší úrovni, nebo rozdělovač na vyšší úrovni s funkčními jednotkami a rozdělovači na nižší úrovni.
 - Každé USB zařízení má svoji USB adresu a podporuje jednu nebo několik koncových jednotek (end-points), se kterými může počítač komunikovat.

Vrstevnatá struktura USB

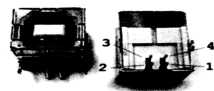
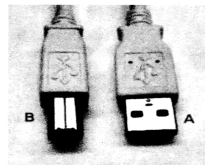


Elektrické a mechanické parametry USB

- Propojovací kabel je čtyřvodičový. Dva vodiče jsou určeny pro přenos dat (D+, D-), dále je zde napájecí vodič + 5 V (Vbus) a zemní vodič (GND).
- Pro přenosové rychlosti do 1,5 Mb/s nemusí být datové vodiče zkrouceny, nemusí být použito stínění a maximální délka takového kabelu je 3 m.
- Pro vyšší přenosové rychlosti 12 Mb/s a 480 Mb/s musí být datové vodiče zkrouceny, kabel je stíněn a jeho maximální délka je 5 m.
- Přenosová impedance kabelu je v obou případech 90 Ω .
- Pro obě varianty je použito diferenční zapojení vysílačů.
- Maximální výstupní napětí pro logickou nulu je $U_{OL,max} = 0,3 V$ a minimální výstupní napětí pro logickou jedničku je $U_{OH,min} = 2,8 V$.
- V sérii s výstupy jsou zařazeny odpory 27 Ω .



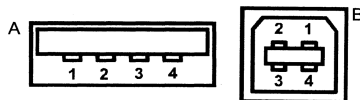
Zapojení konektorů USB typu A a B



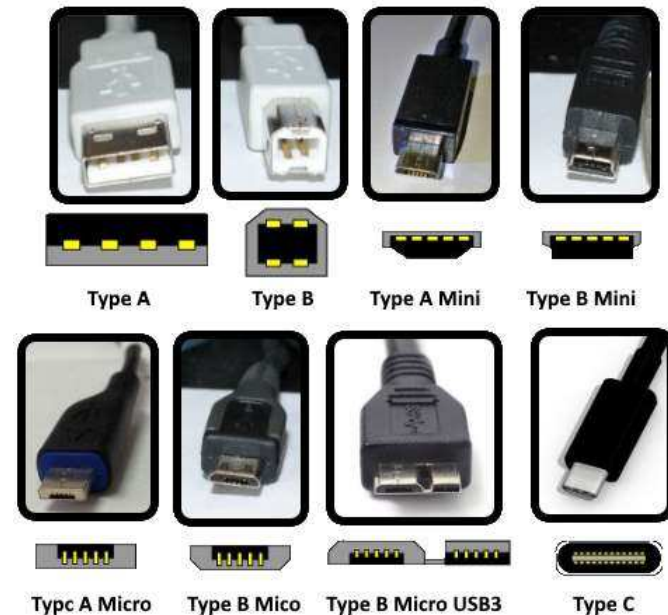
Používané konektory

USB 3.0 používá speciální konektor zpětně kompatibilní s USB 2.0

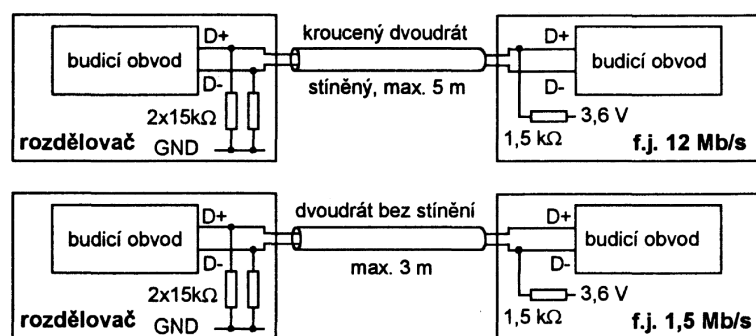
- 1 +5 V (U_{CC})
- 2 Data +
- 3 Data -
- 4 Zem



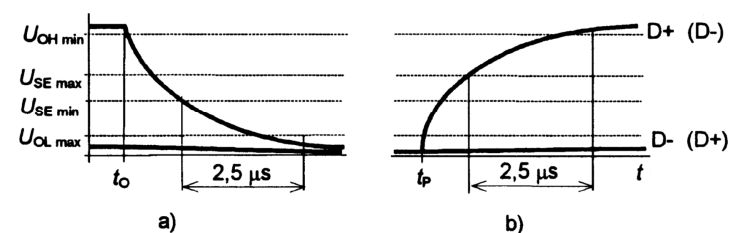
USB CONNECTOR TYPES



Zakončení obvodů USB



Zakončení odpory umožňující identifikaci připojení a typu funkční jednotky
Rychlost 480 Mb/s se rozpozná v rámci tzv. **enumerace**



Identifikace odpojení a připojení funkční jednotky.

Rychlost se detekuje podle toho, na kterém vodiči (D+ nebo D-) je
exponenciální nárůst napětí

Typy přenosů dat na USB

Zařízení USB si mohou předávat data s PC čtyřmi zcela odlišnými způsoby:

- Řídící přenos (Control transfer):** K řízení hardwaru se používají řídicí dotazy zvané Control requests. Pracují s vysokou prioritou a s automatickým hlídáním chyb. Přenosová rychlost je vysoká, protože jedním dotazem je možno přenést až 64 byte.
- Přenos při přerušení (Interrupt-Transfer):** Zařízení, která periodicky posílají malá množství dat, jako např. myši a klávesnice, používají interrupt-Transfer. Na rozdíl od toho, co by se snad dalo podle názvu očekávat, nevyvolává přerušení zařízení USB, což by ani u systému s jedním masterem nebylo možné. Naopak, systém se periodicky, např. každou 1 ms, dotazuje na nová data. Typicky se přenáší až 8 byte (max rychlost 64 kb/s).
- Hromadný přenos (Bulk-Transfer):** Tímto přenosem se přenášejí velká množství dat, která vyžadují hlídání chyb, ale nejsou časově kritická. Typické příklady použití jsou tiskárna a skener. Rychlost přenosu se řídí podle vytížení sběrnice, tj. používá se nízká priorita.
- Izochronní přenos (Isochronous-Transfer):** Izochronně se přenášejí velká množství dat s definovanou přenosovou rychlostí, např. pro zvukové karty. Přitom je zaručena určitá přenosová rychlost. Korekce chyb se neprovádí, protože jednotlivé chyby v přenosu jsou méně špatné než mezery v přenosu.

Spolu s komunikací počítače s periferními zařízeními zajišťuje USB i **napájení** některých těchto zařízení, což též může být podstatnou výhodou při jeho použití v malých měřicích systémech. Přitom je však třeba brát ohled na následující okolnosti:

- počítač může být vybaven tzv. výkonovým připojením USB (high-power port), který umožňuje napájet periférii proudem až **0,5 A** (celkový odběr všech periférií připojených k jednomu rozhraní USB), nebo běžným připojením USB (low-power port) umožňujícím napájení periférií proudem do 100 mA
- každý segment USB umožňuje omezený přenos výkonu pro napájení USB zařízení, přičemž zařízení může být současně napájeno z vlastního zdroje,
- počítač má vlastní systém pro distribuci napájení nezávislý na USB a obslužný software pro USB spolupracuje s tímto systémem tak, aby bylo umožněno reagovat na změnu napájecích režimů USB zařízení.
- Pokud připojené USB zařízení požaduje větší napájecí proud, než toto připojení může dodat, je nutné zajistit napájení připojeného USB zařízení autonomního zdroje.

Rozpoznávání zařízení - Enumerace

- Zvláštní výhodou sběrnice USB je automatické rozpoznávání nově připojených zařízení (**Plug & Play**).
- Operační systém musí být schopen dotazovat se na informace o zařízení, které mu umožní načíst vhodný ovladač a komunikovat pak se zařízením odpovídajícím způsobem.
- Nové zařízení je přitom ohlášeno (**enumerace**), obdrží svou sběrniceovou adresu a je podporováno speciálním ovladačem.
- Enumeraci provádí operační systém zcela samostatně. Ani uživatelský program, ani uživatel nemusí nic dělat. Jen při prvním připojení se může stát, že systém bude požadovat vhodný ovladač. Mnoho ovladačů však již je v systému k dispozici a automaticky je nalezeno.
- Celý postup enumerace spočívá v tom, že operační systém se dotazuje nově připojeného zařízení na určité informace ve formě tzv. deskriptorů. Jedná se o přesně definované bloky několika bytů dat.
- PC požaduje tato data prostřednictvím odpovídajících řídicích dotazů přes endpoint 0 zařízení.

Enumerace

Při připojení nového zařízení nejprve hub podle zdvižené datové linky pozná, že se objevilo nové zařízení.

Pak proběhnou následující kroky:

1. Hub informuje hostitelský počítač (host) o tom, že bylo připojeno nové zařízení.
2. Hostitelský počítač se dotáže hubu, na který port bylo zařízení připojeno.
3. Hostitelský počítač nyní ví, na který port bylo zařízení připojeno. Vydá příkaz tento port zapnout a provést vynulování (reset) sběrnice.
4. Hub vyrobí nulovací signál (reset) o délce 10 ms. Uvolní pro zařízení napájecí proud 100 mA. Zařízení je nyní připraveno a odpovídá na implicitní (default) adrese 0.
5. Než zařízení USB obdrží svou vlastní adresu sběrnice, je možno se na ně obracet přes implicitní adresu 0. Hostitel si přečte první byty deskriptoru zařízení, aby stanovil, jakou délku mohou mít datové pakety.
6. Hostitel přiřadí zařízení jeho adresu na sběrnici.
7. Hostitel si ze zařízení pod novou sběrniceovou adresou načte všechny konfigurační informace.
8. Hostitel přiřadí zařízení jednu z možných konfigurací. Zařízení nyní může odebírat tolik proudu, kolik je uvedeno v jeho deskriptoru zařízení. Tím je připraveno k použití.

- Každý řídicí dotaz (Control-request) hostitele je mikrořadičem zařízení USB zodpovězen. Ten například prostřednictvím hardwarového přerušování rozpozná, že přišla data a jsou uložena ve FIFO koncového bodu 0. Tato data jsou analyzována, aby se rozpoznal druh dotazu.
- Určité klíčové byty datového paketu definují požadavek na deskriptory zařízení. Mikrořadič přečte odpovídající data ze své ROM a zapíše je do výstupní paměti FIFO, odkud jsou poslána Masterovi.
- První odeslaný deskriptor je **deskriptor zařízení** o délce **18 byte**
- Po prvním přístupu obdrží zařízení definitivní sběrniceovou adresu. Sběrniceová adresa odpovídá pořadí přihlášených zařízení, přičemž jsou počítány i rozdělovače sběrnice (hubs).
- Protože v systému je přinejmenším jeden kořenový hub, je první nově přidělená adresa 2. Nová adresa musí být zapsána do určitého registru SIE (Serial Interface Engine), aby mohly být přijímány následující datové pakety směřované na zařízení.
- Z deskriptoru zařízení se již systém o připojeném zařízení něco dozví. V některých případech prozradí kód třídy (**bDeviceClass**), že zařízení patří k určité třídě, pro níž má operační systém sám připravený ovladač.
- Například pro myš USB již uživatel nepotřebuje žádný zvláštní ovladač. Myš patří do třídy HID (Human Interface Device). Podobně pro třídu Mass Storage nepotřebuje ovladač.
- Pomocí těchto informací je zařízení uvedeno do provozu a zaregistrováno ve Správci zařízení. Jestliže zařízení patří k určité třídě, může být blíže popsáno parametry **bDeviceSubClass** a **bDeviceProtocol**.

Konstrukce deskriptoru zařízení

Název pole	Délka, popis	Příklad
BLength	1, velikost deskriptoru v bytech	12h
bDescriptor type	1, typ deskriptoru (01h = deskriptor zařízení)	01h
BcdUSB	2, verze USB (V.1.0)	00h, 01h
bDevice Class	1, kód třídy zařízení	00h
bDeviceSubClass	1, kód podtřídy zařízení	00h
dDeviceProtocol	1, kód protokolu	00h
bMaxPacketSize0	1, velikost EPO FIFO	08h
IdVendor	2, identifikátor dodavatele (04B4h = Cypress)	B4h, 04h
IdProduct	2, identifikátor výrobku (02 = teploměr)	02h, 00h
bcdDevice	2, číslo verze (V.09)	09h, 00h
iManufacturer	1, index řetězce pro „výrobce“	01h
iProduct	1, index řetězce pro „výrobek“	02h
iSerialNumber	1, index řetězce pro „sériové číslo“	00h
bNumConfigurations	1, počet možných konfigurací	01h

- Položka **bMaxPacketSize** popisuje velikost paměti FIFO koncového bodu 0 (endpoint 0). Tento řídicí koncový bod musí být k dispozici u každého zařízení USB, protože jeho prostřednictvím probíhají standardní dotazy (standard requests), jimiž se systém dotazuje např. na všechny deskriptory.
- Tento řídicí koncový bod zaujímá zvláštní postavení, protože vždy podporuje oba směry přenosu dat. Proto je údaj o maximální velikosti datového paketu jedinou požadovanou informací. Pro pomalá zařízení platí velikost 8 bytů, kdežto rychlá zařízení mohou mít větší paměť FIFO koncového bodu 0.
- Oba 16bitové údaje identifikátoru dodavatele (**vendor ID**) a identifikátoru výrobku (**product ID**) jednoznačně identifikují zařízení a umožňují výběr odpovídajícího ovladače zařízení. Identifikační čísla se nacházejí i v souboru INF příslušného ovladače a umožňují přiřazení.
- V položce **bcdDevice** může být navíc uvedeno číslo verze zařízení.
- Dva řetězcové indexy dávají možnost uchovávat v zařízení volitelné textové deskriptory. Výrobce může použít text pro bližší popis zařízení.
- Poslední položka v deskriptoru zařízení **bNumConfiguration** udává, kolik konfigurací zařízení podporuje. Zařízení může mít několik konfigurací, z nichž však vždy pouze jedna může být aktivována. Skener USB by například mohl mít dvě rozdílné konfigurace s odlišným proudovým odběrem. V určitých situacích může operační systém připouštět pouze konfiguraci s nižším proudovým odběrem, kdežto kdyby existovala jen jedna konfigurace, musel by enumeraci zařízení ukončit chybovým hlášením.

- Deskriptory mají hierarchickou strukturu, která může pro každé zařízení popisovat různá nastavení a vlastnosti:
 - Zařízení má jen jeden deskriptor zařízení (device descriptor).
 - Zařízení může mít několik konfigurací.
 - V každé konfiguraci může být několik rozhraní (interface).
 - Každé rozhraní může mít několik alternativních nastavení (alternate settings).
- V jedné konfiguraci může existovat několik rozhraní. Tak například klávesnice USB může současně obsahovat rozhraní joysticku a rozhraní zařízení typu myš. Tím by zařízení USB mělo současně tři rozhraní, která si mezi sebou rozdělí koncové body, jež jsou k dispozici. Jen řídicí koncový bod 0 je využíván všemi třemi rozhraními.
- Každé rozhraní může mít několik nastavení, která se liší požadovanou šířkou pásma. Zejména při použití izochronních koncových bodů je rezervována velká šířka pásma. Může tudíž existovat několik alternativních nastavení (alternate settings) s různými velikostmi paměti FIFO koncových bodů. Alternate setting 0 by mělo používat pouze koncový bod 0, aby existovala možnost nastavit zařízení do nekonfigurovaného stavu, v němž nepožaduje žádnou šířku pásma.
- Mimo deskriptor zařízení se systém může dotazovat ještě na deskriptor konfigurace, jeden nebo několik deskriptorů rozhraní, deskriptory koncových bodů a volitelné řetězcové deskriptory. Systém se o zařízení postupně dozvídá stále více, například kolik má koncových bodů a s jak velkými paměťmi FIFO, zda podporuje několik konfigurací, má-li několik rozhraní a kolik alternativních nastavení má každé z nich.

Konstrukce konfiguračních deskriptorů

Název pole	Délka, popis	Příklad
bLength	1, velikost deskriptoru v bytech	09h
bDescriptorType	1, typ deskriptoru (02h = konfigurační deskriptor)	02h
wTotalLength	Délka všech deskriptorů této konfigurace	22h, 00h
bNumInterfaces	Počet rozhraní	01h
bConfigurationValue	Číslo této konfigurace	01h
iConfiguration	Řetězcový index	00h
bmAttributes	Atribut konfigurace	04h
MaxPower	Proudový odběr, jednotka 2 mA	32h

Konfigurační deskriptor popisuje počet rozhraní a aktuální konfiguraci, a také případné řetězcové deskriptory. V poli **bmAttributes** může být uvedeno, je-li zařízení napájeno ze sběrnice a zda podporuje funkci remote-wakeup (dálkové probuzení), tedy zda může být „probuzeno“ ze strany rozhraní. V poli **MaxPower** je uveden požadovaný proudový odběr ze sběrnice. Údaj 50 (= 32h) znamená 100 mA, což je tak jako tak dovolený proudový odběr. Tento proud může být dodáván i z hubu v režimu samonapájení (Self-Powered-Modus).

Konstrukce deskriptorů rozhraní a koncových bodů

Název pole	Délka, popis	Příklad
bLength	1, velikost deskriptoru v bytech	09h
bDescriptorType	1, typ deskriptoru (04h = deskriptor rozhraní)	04h
bInterfaceNumber	Číslo rozhraní	00h
bAlternate Setting	Alternativní nastavení	00h
bNumEndpoints	Počet koncových bodů bez EPO	00h
bInterface Class	Případná třída rozhraní	00h
bInterfaceSubclass	Případná podtřída rozhraní	00h
bInterfaceProtocol	Případný kód protokolu	00h
iInterface	Řetězcový index	00h

Deskriptor rozhraní

Název pole	Délka, popis	Příklad
bLength	1, velikost deskriptoru v bytech	07h
bDescriptorType	1, typ deskriptoru (02h = konfigurační deskriptor)	05h
bEndpointAddress	Adresa koncového bodu (EP2, OUT)	02h
bmAttributes	Typ přenosu (2 = hromadný přenos (bulk-transfer))	02h
wMaxPacketSize	Velikost paměti FIFO	40h, 00h
bInterval	Eventuální interval pro polling	00h

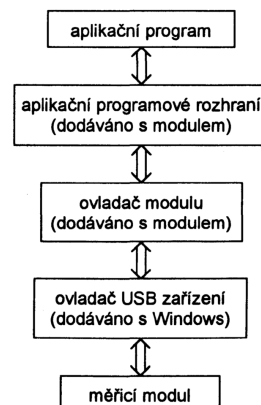
Deskriptor koncových bodů

- Při enumeraci se provádí dotazování na všechny důležité informace zařízení. Operační systém přitom prověří, zda jsou k dispozici požadované zdroje, například ovladače, proudový odběr a šířka pásma sběrnice. Po úspěšné enumeraci je možno ihned použít řídicí dotaz přes koncový bod 0. Ostatní koncové body a provozní režimy musí být zapnuty teprve přiřazením alternativního nastavení (Alternate Setting) >0.
- Celý průběh enumerace je velmi složitý. Použitá zařízení a mikroprocesory zde již poskytují hotová řešení nebo příklady softwaru. Uživatel se přinejmenším při prvních krocích nemusí zatěžovat všemi podrobnostmi
- Pro připojení vlastních měřicích zařízení přes USB je možné využít např. specializovaných obvodů firmy FTDI (www.ftdichip.com). Jsou to převodníky USB <-> sériové nebo paralelní rozhraní. Uživatel se problémem USB nemusí vůbec zabývat.

Programové vybavení pro použití USB zařízení

- Při použití USB k připojování zařízení pro měření a sběr dat je nutné vzít v úvahu některé odlišnosti od použití USB pro připojení konvenčních periférií, jako je např. myš, klávesnice, tiskárna apod. Operační systémy Windows se již dodávají včetně ovladačů pro tyto běžně používané periférie. To samozřejmě neplatí pro ovladače měřicích modulů s rozhraním USB, které musí zajistit a dodat jako příslušenství výrobce modulů. Po prvním připojení nového USB zařízení požaduje operační systém zvolit příslušný ovladač, popř. nabídne možnost jeho instalace.
- Toto programové rozhraní má obvykle podobu DLL knihovny a umožňuje na úrovni vyššího programovacího jazyka jak ovládání měřicího modulu, tak přenos naměřených dat do počítače.

Typická struktura aplikačního programového rozhraní pro měřicí moduly s USB rozhraním



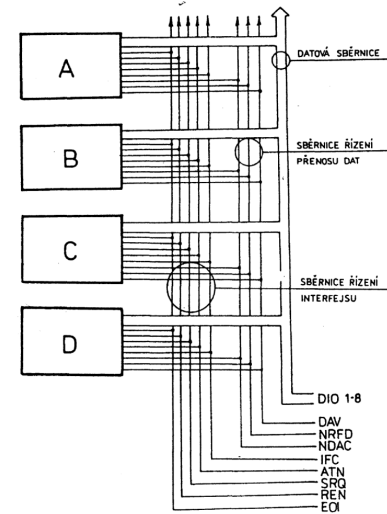
Paralelní rozhraní IEEE-488

- Systémy složené z autonomních přístrojů propojených standardizovanou sběrnici IEEE 488 jsou nejrozšířenějšími laboratorními systémy vůbec.
- Sběrnice byla navržena koncem šedesátých let firmou Hewlett Packard s označením HP-IB. V roce 1975 byla publikována americkou standardizační institucí IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) jako standard IEEE 488.
- V průběhu sedmdesátých a osmdesátých let byl tento standard převzat dalšími standardizačními a normalizačními institucemi. K důležité změně došlo v r. 1987, kdy byly publikovány standardy IEEE 488. 1 a IEEE 488.2.
- Zatímco IEEE 488. 1 je pouze revidovaný původní standard z r. 1975, IEEE 488.2 je zcela novým standardem, který detailně definuje funkční a operační vlastnosti přístrojů s rozhraním IEEE 488.1 (např. požadované funkce rozhraní, komunikační protokoly včetně ošetření chybových stavů, syntaxi zpráv, formáty dat, strukturu stavových registrů apod.).

Základní technické parametry IEEE-488

Měřicí systém podle standardu IEEE 488.1 se skládá z funkčně samostatných zařízení (přístrojů, počítačů apod.) propojených standardizovanou paralelní sběrnicí. Základní vlastnosti systému IEEE 488.1 mohou být shrnuty do následujících bodů:

- celkový počet funkčních jednotek zapojených v systému - maximálně 15;
- celková maximální délka sběrnice - 20 m;
- maximální vzdálenost mezi dvěma funkčními jednotkami - 2 m;
- počet vodičů sběrnice - 24 (8 datových DIO1 až DIO8; 3 pro řízení přenosu dat - DAV, NRFD, NDAC; 5 pro vysílání jednovodičových zpráv - ATN, IFC, REN, SRQ, EOI; 8 zemních vodičů);
- maximální přenosová rychlost - 1 MB/s (typicky podstatně nižší - 250 až 500 kB/s);
- elektrické úrovně signálu - TTL; L (< 0,8 V); H (> 2,0 V);
- logické úrovně signálu - log.1 (TRUE) L; log.0 (FALSE) H



Vodiče sběrnice IEEE-488

Označení Význam

DIO1-8	- Obousměrná datová sběrnice
DAV	- Data platí; používá se pro označení platnosti nebo neplatnosti informace na vodičích DIO1-DIO8. Tento signál vysílá na sběrnici mluvčí
NRFD	- Nepřipraven na data; používá se k hlášení připravenosti funkční jednotky přijmout data. Tento signál vysílá posluchač. Jelikož posluchačů může být více, příslušné signály se logicky sčítají
NDAC	- Data nepřijata; používá se k hlášení, zda jednotka přijala data. Tento signál opět vysílá posluchač. Přejde-li signál na této lince na úroveň H (data přijata), přestane mluvčí vysílat zprávu. Posluchačů může být opět více; vzhledem k tomu, že se signály od jednotlivých posluchačů na příslušném vodiči logicky sčítají, probíhá přenos dat automaticky rychlostí nejpomalejšího z nich
ATN	- Pozor; používá se k určení, jak mají být údaje na datové sběrnici interpretovány. Vysílá-li ovladač úroveň L, znamená to, že na datové sběrnici je právě adresa zařízení nebo příkaz
IFC	- Nulování interfejsu; uvádí interfejsové jednotky jednotlivých zařízení do klidového stavu
SRQ	- Vyzádní obsluhu; úroveň L na tomto vodiči na sebe mohou funkční jednotky upoutat pozornost ovladače
REN	- Umožnění dálkového ovládní; ve spojení s dalšími zprávami umožňuje přechod do režimu dálkového ovládní
EOI	- Konec nebo identifikace; používá mluvčí k označení konce posloupnosti slabik značí nějakou zprávu nebo jako příkaz ovladače odpovídající na žádost zařízení SRQ. Ovladač tímto vyzývá žádající funkční jednotku, aby se identifikovala svou adresou, kterou umístí na datovou sběrnici



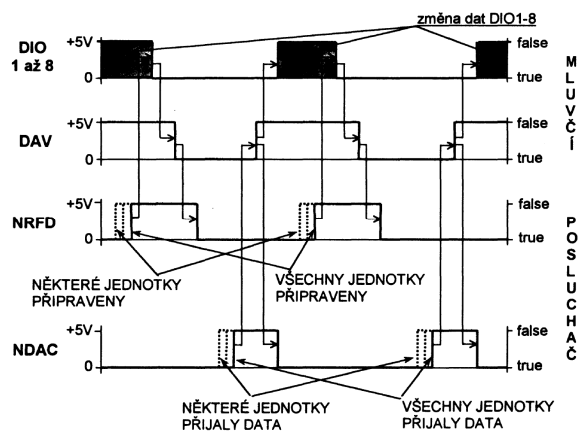
Kabel IEEE-488



- Standardní systém IEEE 488 obsahuje jednu systémovou řídicí jednotku (**System Controller - systémový kontrolér**), v současnosti nejčastěji počítač standardu IBM PC vybavený deskou rozhraní IEEE 488, a maximálně 14 dalších funkčních jednotek (přístrojů).
- Systémová řídicí jednotka plně ovládá činnost celého systému. Jako jediná je schopna vysílat jednovodičovou zprávu IFC (**Interface Clear**), která nastavuje rozhraní všech zařízení připojených ke sběrnici do počátečního definovaného stavu, a zprávu REN (**Remote Enable**) umožňující přepnutí zařízení do dálkového ovládání.
- Dále umožňuje vysílání jednovodičových příkazů ATN (**Attention**), EOI (**End or Identify**), adres a vícevodičových příkazů a vysílání a příjem přístrojových zpráv.
- Prostřednictvím uvedených příkazů a zpráv je řízena komunikace mezi jednotlivými funkčními jednotkami v systému.

- Systém IEEE 488.1 může obsahovat více řídicích jednotek, ale pouze jediná má charakter systémového kontroléru, který vždy zahajuje řízení systému. Systémový kontrolér může předat řízení jinému kontroléru. Ten se stane tzv. odpovědným (aktivním) kontrolérem, jenž pokračuje v řízení systému. Po vykonání příslušných operací pak zpravidla předává řízení zpět systémovému kontroléru. Pokud systémová řídicí jednotka potřebuje převzít řízení dříve, vyšle signál IFC, který ukončí činnost dosavadního odpovědného kontroléru.
- Vlastní komunikace (tj. vysílání a příjem zpráv) probíhá mezi jednou vysílající jednotkou (**talker - mluvčí**) a jednou nebo více přijímajícími jednotkami (**listeners - posluchači**) prostřednictvím datových vodičů DIO1 až DIO8.
- Mluvčího a posluchače určuje vždy řídicí jednotka (tzn. Odpovědný kontrolér) vysláním adres příslušných jednotek.
- Přenos jednotlivých bytů po DIO vodičích je řízen asynchronně pomocí signálů DAV, NRFD a NDAC.

Průběhy signálů pro řízení asynchronní přenosu dat



Adresy funkčních jednotek

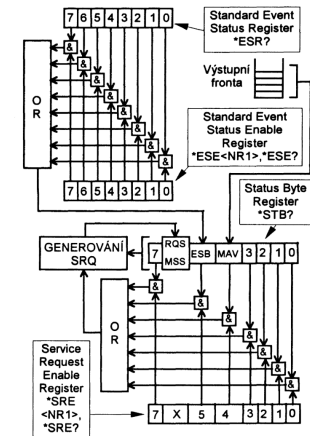
- Sběrnice IEEE 488.1 neobsahuje signál pro rozlišení směru přenosu dat mezi dvěma komunikujícími funkčními jednotkami.
- Problém určení vysílající a přijímající jednotky je řešen tak, že každá funkční jednotka má přiřazeny dvě adresy - přijímací (**my listen address MLA**) a vysílací (**my talk address MTA**). Tyto adresy se liší pouze ve dvou nejvyšších bitech (sedmém a šestém), pět nižších bitů je společných. Jestliže funkční jednotka přijme zprávu MLA (vyslanou kontrolérem), stává se posluchačem; pokud přijme zprávu MTA, stává se mluvčím.
- Konkrétní nastavení adresy se provádí buď fyzicky pomocí přepínače umístěného nejčastěji na zadní straně přístroje, nebo z klávesnice na předním panelu nastavením příslušné položky v menu přístroje. Adresa se nastavuje v rozsahu nižších pěti bitů (tj. v intervalu dekadických hodnot 0 až 30). Adresa 31 je použita pro odadresování všech mluvčích a posluchačů.

by	by	by	by	column	0	1	2	3	4	5	6	7
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
0	0	0	0	0	NUL	DEL	SP	↑	↑	↑	↑	↑
0	0	0	1	1	SOH	GIL	DC1	LD	↑	↑	A	Q
0	0	1	0	2	STX		DC2	*	2	B	H	b
0	0	1	1	3	ETX		DC3	#	3	C	S	c
0	1	0	0	4	EOT	SDC	DC4	DCL	\$	4	D	T
0	1	0	1	5	ENO	PRC	NAK	PPU	%	5	E	U
0	1	1	0	6	ACK	SYN		8	6	F	V	f
0	1	1	1	7	BEL	ETB		7	G	W	g	w
1	0	0	0	8	BS	GET	CAN	SPE	(	8	H	X
1	0	0	1	9	HT	ICT	EM	SPD	)	9	I	Y
1	0	1	0	10	LF		SUB	*	:	10	J	Z
1	0	1	1	11	VT	ESC		+	:	11	K	[
1	1	0	0	12	FF	FS		<	<	12	L]
1	1	0	1	13	CR			=	=	13	M	^
1	1	1	0	14	SO	RS		>	>	14	N	_
1	1	1	1	15	SI	US	CFE	/	?	15	UNT	o

Notes: ① MSG = Interface Message
 ② b₁ = DIO1, b₂ = DIO2
 ③ Registers Secondary Command
 ④ Dense Subset (column 2 through 5)

Řídící znaky a adresy IEEE-488

Model stavových registrů IEEE-488-2



Tab. 2.1. Význam bitů Standard Event Status registru

bit	název bitu	význam
0	Operation Complete	Zařízení ukončilo operaci a je připraveno přijmout nové příkazy
1	Request Control	Indikuje stávajícímu kontroléru, že zařízení žádá o převzetí řízení sběrnice
2	Query Error	Pokus o čtení dat z prázdné výstupní fronty; ztráta dat z výstupní fronty
3	Device Dependent Error	Zařízení nemůže dokončit operaci v důsledku vnitřních chybových podmínek (přetečení, přetížení)
4	Execution Error	Při provádění příkazu došlo k chybě (např. data v příkazu jsou mimo povolený rozsah)
5	Command Error	Syntaktická nebo sémantická chyba příkazu
6	User Request	Indikuje lokální zásah uživatele do řízení přístroje
7	Power On	Indikuje vypnutí a opětné zapnutí přístroje

Příklady povinných obecných příkazů

- *RST (Reset Command) příkaz pro „nulování“ přístroje (ukončení probíhajících operací a nastavení přístroje do klidového stavu); obsahy stavových registrů zůstanou nezměněny
- *CLS (Clear Status Command) příkaz pro nulování stavových registrů
- *IDN? (Identification Query) dotaz na specifikaci přístroje
- *STB? (Status Byte Query) dotaz na obsah Status Byte registru
- *SRE (Service Request Enable) příkaz pro nastavení Service Request Enable registru
- *SRE? (Service Request Enable Query) dotaz na obsah Service Request Enable registru
- *ESE (Standard Event Status Enable Command) příkaz pro nastavení Standard Event Status Enable registru
- *ESE? (Standard Event Status Enable Query) dotaz na obsah Standard Event Status Enable registru
- *ESR? (Standard Event Status Register Query) dotaz na obsah Standard Event Status registru
- *OPC (Operation Complete) aktivace hlášení o ukončení operace
- *OPC? (Operation Complete Query) dotaz na ukončení operace
- *WAI (Wait to Continue) čekání na dokončení předchozích operací
- *TST (Selftest Query) příkaz pro spuštění vnitřního testu přístroje

Standard SCPI

Standard SCPI je souhrn příkazů a pravidel pro komunikaci mezi řídicí jednotkou a přístrojem v automatizovaném měřicím systému, nezávislý na technickém řešení rozhraní ani na použitém protokolu přenosu dat. SCPI definuje:

- hierarchicky uspořádanou množinu SCPI příkazů pro ovládání měřicích přístrojů, včetně jejich syntaxe,
- množinu povinných obecných příkazů (common commands) podle IEEE 488.2,
- formáty dat,
- stavový model přístroje,
- model spouštění přístroje.

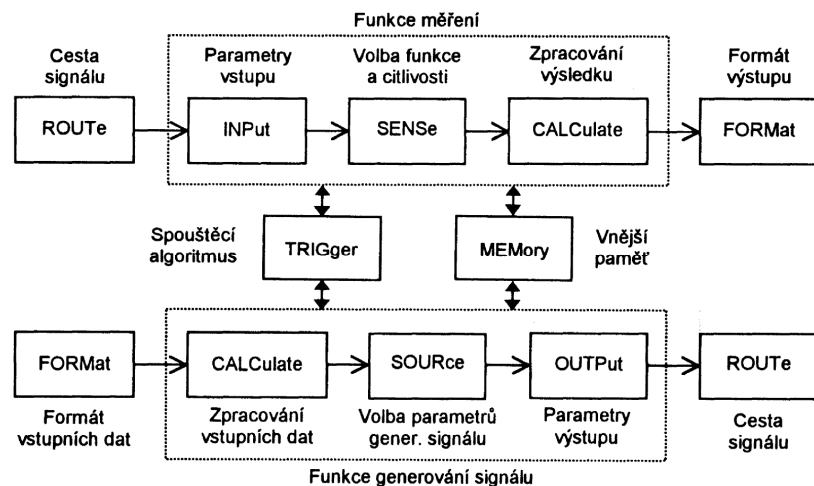
Přístroj splňující SCPI standard musí mít povinně implementováno následujících třináct obecných příkazů podle IEEE 488.2:

*RST, *CLS, *IDN?, *STB?, *SRE,*SRE?, *ESE *ESE? *ESR?, *OPC, *OPC?, *WAI, *TST

SCPI příkazy

Základním přínosem SCPI je specifikace standardní množiny příkazů, které umožňují ovládání libovolného měřicího přístroje s využitím všech jeho funkcí. Přístroj, splňující požadavky SCPI, má implementovány příkazy pouze z této standardní množiny. Ve výjimečných případech může použít i příkazy nové, ale vytvořené v souladu s pravidly uvedenými ve standardu. Struktura SCPI příkazů je vytvořena na základě funkční struktury reálných přístrojů.

Obecný funkční model přístroje podle standardu SCPI



Příkazy jsou uspořádány v hierarchické stromové struktuře (*command tree*). Např. část skupiny příkazů MEASURE implementovaná u konkrétního multimetru může vypadat takto:

MEASure

```
:VOLTage
:DC? {<range>|MIN|MAX|DEF}, {<res>|MIN|MAX|DEF}
:DC:RATIo? {<range>|MIN|MAX|DEF}, {<res>|MIN|MAX|DEF}
:AC? {<range>|MIN|MAX|DEF}
:CURRent
:DC? {<range>|MIN|MAX|DEF}, {<res>|MIN|MAX|DEF}
:AC? {<range>|MIN|MAX|DEF}
:RESistance? {<range>|MIN|MAX|DEF}, {<res>|MIN|MAX|DEF}
:FREQuency? {<range>|MIN|MAX|DEF}, {<res>|MIN|MAX|DEF}
```

Měření stejnosměrného napětí pomocí multimetru splňujícího standard SCPI (rozsah 10 V, rozlišení 0.001 V) může být provedeno příkazem:

```
MEASURE:VOLTAGE:DC? 10 0.001
nebo zkráceně
MEAS:VOLT:DC? 10 0.001
```

Syntaxe příkazů je obdobná standardu IEEE 488.2:

- dvojtečka (:) slouží jako oddělovač příkazů na dvou rozdílných po sobě jdoucích úrovních příkazového stromu, středník (;) odděluje příkazy stejné úrovně, dvojtečka bezprostředně za středníkem (:) vrací na nejvyšší úroveň, mezera odděluje příkaz od parametrů (nesmí být použita uvnitř příkazu), čárka (,) odděluje jednotlivé parametry.
- Názvy příkazů je možné zkrátit, minimální zkratka je vždy vyznačena velkými písmeny
- V popisu syntaxe příkazů mají závorky speciální význam:
 - {} složené závorky ohraničují skupinu položek jako jeden syntaktický prvek,
 - [] hranaté závorky označují položku, kterou je možné vypustit,
 - <> špičaté závorky označují implementačně závislou položku specifikovanou v manuálu přístroje nebo typ parametru definovaný SCPI.
 - Znak | použitý v seznamu více položek znamená, že musí být vybrána pouze jediná položka.

Další rozhraní

- IEEE1394 – Firewire – vysokorychlostní rozhraní např. přenos dat z videokamer
- CAN bus – používaný v automobilovém průmyslu
- Profibus – pro rozsáhlé systémy (délka sběrnice až 1,2 km)
- Centralizované systémy se zásuvnými moduly:
 - Sběrnice VME – velmi rozšířená
 - Sběrnice VXI – (VMEbus Extension for Instrumentation) – novější verze VME
 - CAMAC – používaný v jaderné technice
- Technologie počítačových sítí
 - Ethernet
 - Architektura TCP/IP

Operační systém a tvorba programů pro řízení

- Programováním měřicího systému rozumíme tvorbu programového vybavení (software) určeného pro řízení činnosti měřicího systému. Konkrétní programování závisí na řadě faktorů, zejména na:
 - typu řídicího počítače a použitého operačního systému,
 - struktuře a jednotlivých komponentech vlastního měřicího systému.
- Podle struktury a použitých prvků můžeme systémy s počítačem typu PC rozdělit na:
 - měřicí systémy na bázi standardizovaných rozhraní (IEEE-488, VME/VXI, RS-232 apod.),
 - měřicí systémy na bázi zásuvných měřicích desek,
 - kombinované měřicí systémy (využívají současně zásuvné měřicí desky a měřicí přístroje resp. moduly propojené s počítačem standardizovanými sběrnici).

- Vývoj kvalitních uživatelských aplikačních programů pro měření klade značné nároky nejen na programátorské schopnosti tvůrců, ale i na dokonalou znalost vlastností programovaného měřicího systému a jeho jednotlivých prvků (např. technických parametrů a programátorského modelu měřicích desek, standardů definujících použitá rozhraní, příkazů pro programování použitých přístrojů apod.).
- Klíčovou záležitostí je volba vhodných vývojových prostředků. Obvykle se používá některý z univerzálních programovacích jazyků. Jako optimální se současné době jeví programovací jazyk C v kombinaci s jazykem assembler (resp. přesněji jazykem symbolických adres a instrukcí).
- Assembler se používá v případě mimořádných požadavků na maximální rychlost provedení některých částí aplikačního programu nebo při tvorbě nízkourovňových ovladačů (low level drivers) zásuvných měřicích desek.

- Při vývoji uživatelských aplikací pro měření mají velký význam prostředky pro ladění programů. V současné době mají všechny programové vývojové systémy založené na vyšších programovacích jazycích k dispozici dostatečně výkonné programové prostředky pro ladění (debugging) jak na úrovni instrukcí programovacího jazyka, tak na úrovni odpovídajících instrukcí assembleru. Možnost krokování a trasování, čtení obsahu registrů procesoru i vstupně/výstupních registrů počítače a operační paměti bývá samozřejmostí.

- Komplexní vývoj uživatelských aplikací využívající pouze prostředky vybraného vyššího programovacího jazyka je v dnešní době nejen velmi neefektivní, ale v některých případech zcela nemožný. Rozumné je využívat různé pomocné programové prostředky jako:
 - ovladače (drivers)
 - ovladače zásuvných měřicích desek (board drivers),
 - ovladače měřicích přístrojů nebo modulů (instrument resp. device drivers),
 - knihovny podprogramů pro sběr, zpracování, prezentaci a archivaci dat,
 - speciální programy pro tvorbu uživatelských aplikačních programů pro měření.

- **Ovladače** jsou speciální obslužné programy, které zajišťují komunikaci s daným technickým prostředkem (např. zásuvnou deskou, měřicím přístrojem, periferií počítače, ap.).
- **Knihovny podprogramů** pro zpracování prezentaci a archivaci dat značně usnadňují vývoj uživatelských aplikací. Typy knihoven jsou buď statické (.lib) nebo dynamické (.dll).
- **Speciální programy** pro tvorbu uživatelských aplikačních programů jsou programové prostředky nebo komplexní vývojové systémy schopné generovat jednotlivé instrukce, sekvence instrukcí nebo celé programy pro sběr nebo zpracování dat v měřicích systémech. Mohou využívat buď standardní textově orientované programovací jazyky (např. C, Pascal, Basic), nebo speciálně navržená grafická prostředí (HP VEE, LabVIEW, ControlWeb, atd.).

Programování sběrnice RS232C v jazyce C

```
#include "Iwssystem.h"
#include <bios.h>
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

#define COM 0X2F8 /*bázová adresa COM2 */

#define THR COM
#define RR COM
#define MCR COM+4
#define LSR COM+5
#define MSR COM+6

char mes[80];

void send_ctrlc (void);
void send_232 (char message[80]);
void receive_232 (char message[80]);
```



```

void main() {
unsigned stat;

/* nastavení přenosové rychlosti a formátu dat */
stat = _bios_serialcom( _COM_INIT, 1, _COM_CHR7 | _COMSTO2 |
_COM_EVENPARITY_COM_9600);
printf ("\nStatus = %xH\n",stat);
send_ctrl();

outp (MCR,0x00); /* DTR = 0 */
send_232 ("SYST:REM\n");/* uvedení přístroje do stavu REMOTE /
send_232 ("*IDN?\n"); /* identifikace přístroje */
receive_232 (mes);
printf ("%s\t",mes);

/* změření 1 hodnoty ss napětí */
send_232 ("MEAS:VOLT:DC? 100,DEF\n");
receive_232 (mes);
printf ("%s\r",mes);

send_232("SYST:LOCAL\n"); /* uvedení přístroje do stavu REMOTE */
}

```

```

/* vyslání řídicího znaku 0x03 zajišťujícího nulování přístroje */
void send_ctrl (void)
{
outp (MCR, 0x08);
delay (0.01);
while ( !( inp(LSR) & 0x20 )
outp (THR, 0x03);
while ( !( inp(LSR) & 0x40 )
delay (0.02);
outp (MCR, 0x09);
}

/* vyslání zprávy přístroji */
void send_232 (char message[80]) {
int len,i;

len = strlen (message);
for(i=0; i<len ;i++) (
/* čekání dokud vysílací registr nebude prázdný a signál DSR=1 */

```

```

while ( !( inp(LSR) & inp(MSR) & 0x20 ) );
outp (THR, message[i]);
printf ("%c",message[i]);
}
printf ("\r");
}

/* příjem zprávy od přístroje */
void receive_232 (char message[80])
{
char znak = 0;
int i = "\0";
while (znak != 0x0a) {
outp (MCR, 0x00); /* DTR =1 */
while ( !( inp(LSR) & 0x01) ); /*čekání na znak */
outp (MCR, 0x00); /* DTR=0 */
znak=inp(RBR); /* čtení znaku */
message[i] = znak;
i++;
}
message[i] = outp (MCR, 0x00);
delay(0.2);
}

```

Grafické vývojové systémy pro měřicí aplikace

Vývojový systém LabVIEW

- Program LabVIEW je firmou National Instruments vyvíjen od roku 1983. V roce 1986 byla dokončena první verze pro počítače Apple Macintosh chráněná několika U.S. patenty. V září 1992 byla uvedena na trh verze LabVIEW for Windows pro počítače standardu IBM PC a LabVIEW for Sun.
- Obecně lze LabVIEW charakterizovat jako vývojový systém pro programování měřicích (popř. řídicích) systémů na bázi IEEE 488, VXI, CAMAC, RS-232 nebo zásuvných měřicích desek, sběr dat a jejich následné zpracování a prezentaci.
- Systém LabVIEW byl jedním z prvních programů, který místo klasického textově orientovaného programování zavedl programování grafické, při němž uživatel intuitivně vytváří tzv. virtuální přístroje (Virtual Instruments VIs).

Čelní panel LabView

- Virtuální přístroj (VI) je logický prvek reprezentující buď skutečný měřicí přístroj, prvek měřicího nebo řídicího systému příp. celý měřicí (popř. řídicí) systém, nebo libovolný funkční blok pro zpracování dat. Skládá se z blokového diagramu (Block Diagram), popisujícího činnost VI, a čelního panelu (Front Panel), který funguje jako uživatelské rozhraní VI.
- Vývoj virtuálního přístroje začíná návrhem čelního panelu obsahujícího všechny požadované vstupy a výstupy v okně panelu. Použitelné vstupní i výstupní prvky se vybírají z nabídky a rozmísťují pomocí myši na pracovní ploše okna. Pokud uživateli nevyhovuje velikost, popisy, měřítko či jiné atributy vybraných prvků, může je rychlým a jednoduchým způsobem editovat pomocí myši a sady nástrojů reprezentovaných ikonami na panelu Controls.
- Po ukončení návrhu čelního panelu uživatel pokračuje v okně blokového diagramu tvorbou blokového diagramu virtuálního přístroje.

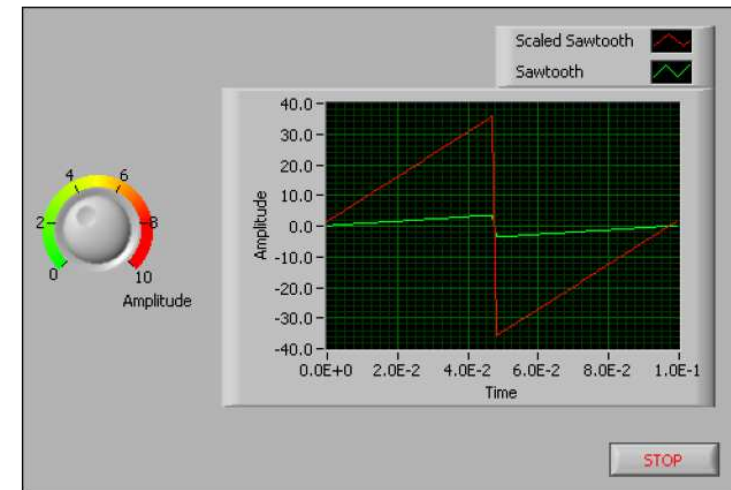
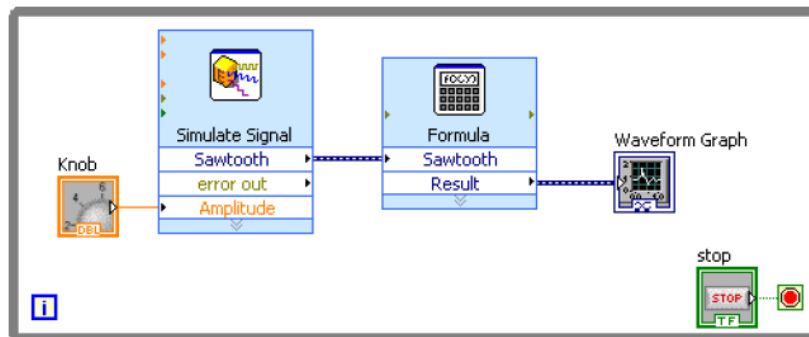


Diagram virtuálního přístroje



- V tomto okně se již nacházejí ikony, které odpovídají prvkům použitým na čelním panelu. Ikony se generují současně s vložením nového prvku do okna panelu. Diagram se vytváří z grafických prvků obsažených v nabídce Functions. Nabídka je velmi široká a obsahuje kromě množiny datových objektů, programových struktur, operací a funkcí grafického jazyka G i nabídky knihoven VI pro zpracování dat, komunikaci prostřednictvím standardizovaných sběrnic (IEEE 488, VXI, CAMAC, RS-232) a ovládání zásuvných měřicích desek a rovněž nabídku virtuálních přístrojů vytvořených uživatelem.
- Jednotlivé grafické prvky (bloky) se graficky propojují ve směru toku dat, popř. se vybrané části blokového diagramu zařadí do vybraných programových struktur (např. cyklu). Tím je základní fáze tvorby virtuálního přístroje ukončena a lze přistoupit k jeho vyzkoušení.
- Spuštění se provádí pomocí speciální ikony tvaru šipky (Run button) umístěné pod základním menu. Uložení VI na disk se realizuje standardním způsobem ze základního menu (položka File). V případě chybné činnosti je možné běh VI krokovat nebo trasovat.

- Virtuální přístroj může obsahovat, jak již bylo naznačeno, dříve vytvořený VI hierarchicky nižšího řádu a naopak může být použit při tvorbě VI hierarchicky vyššího řádu. Tento mechanismus se může opakovat, přičemž hloubka takto vzniklé hierarchické struktury je omezena pouze technickými možnostmi použitého počítače.
- Program vytvořený v LabVIEW se od běžných programů odlišuje při vlastním běhu tím, že využívá tzv. **řízení tokem dat (data-flow programming)**. Běh programu není řízen sekvenčně, jak je tomu u programů psaných ve většině textově orientovaných jazyků, ale řídí se připraveností všech dat, která jsou zapotřebí k provedení určité akce. Znamená to, že ke spuštění činnosti bloku dojde až v okamžiku, kdy jsou na všech jeho vstupech připravena vstupní data. Na výstupech bloku se výstupní data objeví až po ukončení jeho činnosti. Bez problémů je proto možné v diagramech vytvářet paralelní cesty toku dat, specifikovat simultánní operace a spouštět několik virtuálních přístrojů současně.
- Virtuální přístroj lze spouštět buď v prostředí LabVIEW, nebo jako EXE program v Run Time systému.

Další grafické vývojové systémy

- **HP VEE** – systém firmy Hewlett-Packard - velmi podobný systému LabVIEW
- **ControlWeb** – software české firmy Moravské přístroje. Možno stáhnout demo verzi na adrese <http://www.mii.cz>. Demoverze je plně funkční, doba běhu je omezena na 30 minut. Lze v demo verzi vyvíjet řídicí programy. Je možno koupit licenci na nepřetržitý provoz.
-

Grafický panel ControlWeb

