

# 1. Řízení, regulace, automatizace

Ing. Vlček

Soubory At1 až At4 budou od příštího vydání (podzim 2008) součástí publikace *Moderní elektronika. Slouží pro výuku předmětu automatizace na SPŠE.*

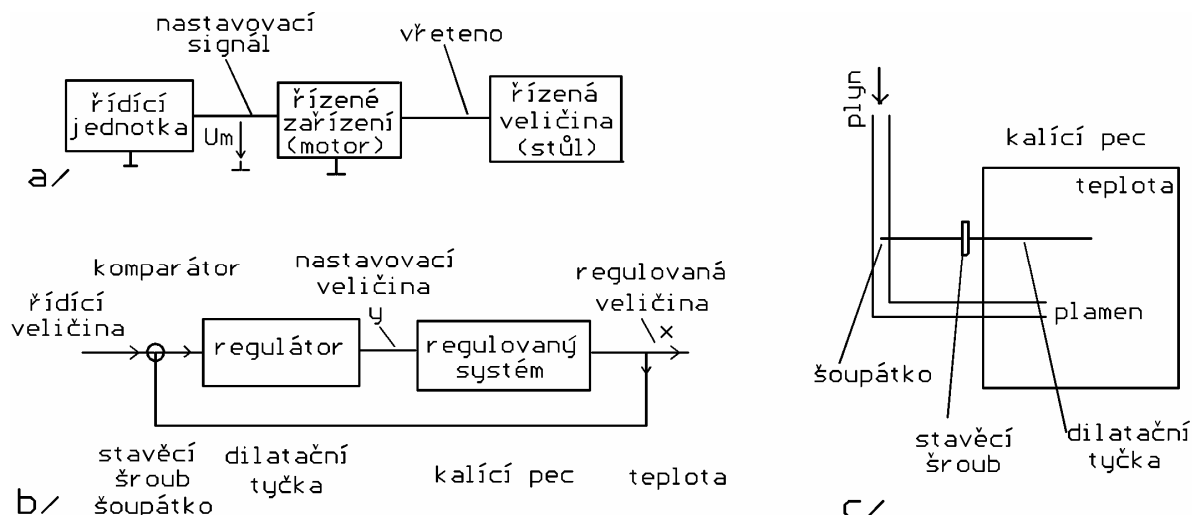
## 1.1 Řízení a řídicí systémy

Řízení je proces, ve kterém je **řízené zařízení ovlivňováno řídicími signály**. Řízení je charakterizované **jednosměrností řídicích signálů, nekorigovaných stavem řízeného procesu**. Řídicí signály řídicí jednotky působí na stroj nebo zařízení, aniž by byly průběžně korigovány podle stavu řízeného procesu. Při řízení posuvu je stůl stroje posouván pomocí pohonu. Nastavovacím signálem je napětí  $U_M$  na motoru posuvu. Motor tvoří spolu s pohyblivým stolem stroje **řízený systém**. Dráha  $s$ , kterou řízený stůl urazí je zde **řízenou veličinou**. Pojem řízení se používá v několika významech. Při jednoduchém bezprostředním řízení, např. průtoku vody otáčením ventilu, zahrnuje řízení působení obsluhy i konečný účinek. Při mnohastupňovém nepřímém řízení může někdy pojem řízení zahrnovat jen jeho nejvyšší úroveň, např. komunikaci člověka s řídicím počítačem, resp. příslušný řídicí program.

Podle typu řídicích signálů rozlišujeme analogové, binární a číslicové řízení.

Při **analogovém** řízení jsou používány **spojitě působící signály**, které jsou svým časovým průběhem analogovým obrazem, resp. vzorem řízené veličiny.

K nejdůležitějším prvkům analogových řídicích systémů patří kotoučové vačky, převody, ventily, motory, analogové a operační zesilovače.



Obrázek 1.1

a/ princip řízení – příklad posuv stolu obráběcího stroje řízený motorem

b/ princip regulace - příklad kalící pec

c/ regulace teploty v kalící peci

**Binární řízení** se uskutečňuje pomocí binárních tj. **dvouhodnotových signálů**.

Binární signály jsou časovým sledem dvou různých hodnot nebo stavů, např. **ZAPNUTO** a **VYPNUTO**, **VODIVÝ** a **NEVODIVÝ** (např. tranzistor), **NABITÝ** a **VYBITÝ** (např. kondenzátor paměti) nebo symbolicky **1** a **0**. Většina řídicích systémů pracuje se spínanými signály a jsou tedy binárními řídicími systémy.

Příklad: Pohyblivý stůl brusky se pohybuje střídavě ve dvou směrech. Pohyb doprava může být např. vyvolán kladným napětím na motoru přiváděným při levé poloze přepínače. Na konci dráhy stolu při pohybu doprava přepne mechanická zářka přepínač do pravé polohy a na motor je přivedeno záporné napětí pro pohyb stolu doleva. Přepnutí zpět na pohyb doprava zase provede na opačném konci dráhy zářka.

K nejdůležitějším prvkům **binárních řídicích systémů** patří **relé, ovládací ventily** (hydraulické a pneumatické), **diody a spínací elektronické obvody**.

Číslicové řídicí signály jsou většinou přenášeny i ukládány v **binárním kódu**.

K nejdůležitějším prvkům číslicových (digitálních) řídicích systémů patří dekodéry, mikroprocesory, mikrokontroléry, číslicové paměti, digitální systémy s čidly a digitální datové sítě.

Při **číslicovém** řízení jsou řídicí signály nastavovány pomocí čísel.

Příklady: Zapínání a vypínání spotřebičů (motory, světla, ventilátory), přepínání směru otáčení motoru (změnou polaritu napájecího napětí), řízení pohybu obráběcího stroje pomocí krokového motoru. Dráha je analogová (spojitá) veličina, může být řízena číslicovým signálem.

Podle způsobu zpracování binárních vstupů na binární výstupy je možné rozdělit **logické obvody** na **kombinační** logické obvody (bez paměti) a **sekvenční** logické obvody (s pamětmi).

Výstupy **kombinační** logické řídicí jednotky jsou logickými (nezpožděnými) **funkcemi okamžitých hodnot logických vstupů**.

Soustruh se smí např. rozběhnout je tehdy, jsou-li uzavřena ochranná dvířka a zároveň (AND) je ve sklíčidle upnut obrobek.

Logické řídicí jednotky jsou jednotkami binárního řízení. Funkce logických obvodů je možné reprezentovat logickými výrazy, které je možné upravovat s využitím pravidel **Booleovy algebry**. Logické obvody je možné prezentovat pomocí logických výrazů, kontaktních schémat, logických schémat a pravdivostních tabulek.

Při **sekvenčním logickém řízení** jsou **výstupy** generovány zpravidla po krocích v rytmu řídicího hodinového signálu a jsou **závislé nejen na vstupech, ale i na předchozím stavu obvodu** (jeho paměti). Přechody mezi jednotlivými kroky jsou prováděny buď v závislosti na čase (např. podle programu řídicí jednotky), nebo v závislosti na stavu řízeného procesu.

Při **časově závislém řízení** je proces řízen (taktován) pomocí časového relé nebo **generátoru hodinových impulsů**. Příkladem časového řízení je řízení rozběhu trojfázových motorů pomocí přepnutí ze zapojení vinutí motoru do hvězdy na zapojení do trojúhelníku. Motor se při počáteční malé impedanci rozbíhá v zapojení do hvězdy a po rozběhu se přepíná do trojúhelníku a v tomto zapojení pak dosahuje jmenovitého výkonu (viz dále obr.2.6 a).

Při **interaktivním řízení** závislém na stavu procesu je **další krok** vždy prováděn **v závislosti na stavu řízeného procesu**. V případě procesem řízeného spouštění motoru je zapotřebí čidlo pro snímání frekvence otáčení, které vyhodnocuje binárně, zda bylo nebo nebylo dosaženo otáček naprázdno. Po jejich dosažení je přepnut motor do trojúhelníku.

Sekvenční řízení závislé na procesu jsou většinou časově závislá na procesu, přerušovaná zpožděním v případech narušení řízeného procesu. Při spouštění trojfázového motoru se může stát, že při rozběhu se zátěží dosáhne motor jmenovitých otáček později a okamžik přepnutí do trojúhelníku nastane po přednastaveném čase, a to až v okamžiku dosažení potřebných otáček.

**Řídicí systémy** (jednotky) je možné **rozlišit podle způsobu naprogramování jejich funkce**.

Rozlišují se řídicí jednotky (systémy) **programované** (nastavované) **propojováním** a řídicí systémy **s programovou** (většinou polovodičovou) **pamětí**, jako např. programovatelné automaty, označované též PLC (Programmable Logic Controller = programovatelné logické řízení).

Propojením nastavitelné řídicí systémy jsou nastaveny (naprogramovány) vodivými spoji, např. drátovými propojkami nebo přepínači.

Pokud se u těchto řídicích jednotek neprovádějí změny nastavení, mluvíme o **pevně natavených řídicích jednotkách** nebo systémech. Změny funkce takové jednotky je možné např. dosáhnout výměnou propojovací jednotky zasunuté v konektoru.

Paměťové řídicí systémy mají pevné nebo přepisovatelné elektronické paměti, která mohou být vyměněny nebo přeprogramovány.

Program pro řídicí systém může být vytvořen např. na PC a pak přenesen do řídicího systému.

Přeprogramování je jednoduché a rychlé. Programovatelné automaty jsou většinou používány k řízení výrobních linek, ve kterých řídí transport mezi jednotlivými stroji a koordinují činnosti jednotlivých strojů. Řídicí systémy obsahují většinou více řídicích jednotek spojených datovou sítí, která může být

přístupná z veřejné sítě, např. z Internetu, což umožňuje dálkové sledování, korekce parametrů nebo přeprogramování systému.

## 1.2 Regulace

Regulace je proces, který **udržuje nějakou fyzikální veličinu na požadované hodnotě**, resp. v požadovaných mezích, tj. **stabilizuje tuto veličinu**. Regulátory se v některých aplikacích nazývají **stabilizátory**.

Rozlišuje se **regulace nastavení na pevnou hodnotu** a regulace nastavení na **proměnnou hodnotu** (vlečná regulace).

**Příklad regulace pevné hodnoty.** V kalicí peci má být udržovaná **stálá** (pevná hodnota) **teplota** (obr. 1.1 b,c) na požadované hodnotě, která je v procesu regulace **řídící veličinou**. **Teplota v peci je regulovanou veličinou**. K regulaci může být použita dilatační tyčka, která se s rostoucí teplotou prodlužuje a s klesající teplotou zkracuje. K dilatační tyčce je přes nastavovací šroub připevněno šoupátko ventilu nastavovacího průtok plynu potrubím. Šroubem je možné nastavovat závislost průtoku paliva na teplotě a tím nepřímo i průměrnou teplotu. Při nárůstu teploty se prodlužuje dilatační tyčka a šoupátko ventilu zmenšuje průtok hořlavého plynu a teplota poklesne. Při poklesu teploty se naopak zvětšuje tepelný výkon hořáku. Regulovaná veličina, teplota v peci, je tak regulována (stabilizována) v určitých mezích kolem určité (nastavené) hodnoty. Pec je zde **regulovaným systémem**, ventil je **nastavovací člen** a za **nastavovací veličinu** lze označit **průtok plynu** nebo průřez ventilu (otevření ventilu).

**Dilatační tyčka** určuje svou délkou teplotu pece, skutečnou hodnotu regulované veličiny.

Požadovaná, tj. řídicí teplota, se nastavuje pomocí **stavěcího šroubu**. Obecně se jedná o **nastavování řídicí veličiny** regulátoru. Při odchylce skutečné hodnoty regulované veličiny (teploty) od požadované (řídicí) hodnoty vzniká regulační diference. Při poklesu teploty pece např. zvětší šoupátko přívod paliva do hořáku, plamen zesílí a teplota stoupne na požadovanou hodnotu. Při otevření dvířek pece (při výměně kalených předmětů) poklesne teplota v peci a regulátor pak urychlí její návrat na požadovanou hodnotu. Dodatečný odvod tepla při otevření dvířek je označován jako rušivá veličina. Stabilizuje-li regulace hodnotu regulované veličiny na hodnotě konstantní v čase, je označována jako regulace nastavení na pevnou hodnotu.

Regulace bývá také rozlišována **podle typu signálů** přicházejících do regulátoru z regulovaného zařízení. Při regulaci na základě analogové informace mluvíme o **analogové regulaci**, při binárních signálech o **binární regulaci** a při digitálních informacích pro regulátor mluvíme o **digitální regulaci**.

Příkladem regulace je také **udržování konstantní teploty** v místnosti (ta může být měněna v závislosti na denní době, v akváriu (jiná teplota ve dne a jiná v noci), na pájecím hrotu. Dalším příkladem je **stabilizovaný zdroj napětí**. Jeho výstupní napětí musí být nezávislé na vstupním napětí a výstupním proudu (jejich změna je rušivou veličinou). Patří sem i příprava palivové směsi v automobilu, aby byla zajištěna minimální spotřeba paliva, maximální výkon motoru a minimální obsah škodlivin ve výfukových plynech.

Vyšší formy řízení pomocí programu bez nutnosti přímé lidské účasti nazýváme **automatizace**. Komplexní řízení zahrnuje kromě měření, řízení a regulace ještě dálkový dohled, ochranu před nebezpečím, zobrazování časových průběhů měřených veličin formou grafů, archivaci naměřených hodnot včetně chybových hlášení.

## 2. Základy řídicí techniky

### 2.1 Mechanické řízení

Mechanické zařízení se skládají z **převodů, kotoučových vaček, pák, spojek** a dalších mechanických prvků.

Charakteristiky mechanického řízení je možné shrnout následovně: pohonná energie je dodávána např. elektromotorem do přestavitelných převodů, pomocí kterých je možné při přestavování (ovládání) mechanickými, pneumatickými, hydraulickými nebo elektrickými signály měnit otáčky, směr otáčení a dobu otáčení (start – stop) hnané soustavy.

Při **stupňovaných převodech** jsou řídicí signály předávány pomocí spojek a při stupňovitě přestavitelných převodech přes zvláštní nastavovací prvky. Na hnané ose (výstupní hřídeli) více stupňové převodovky je k dispozici předáváný výkon při řízených otáčkách. Je-li potřeba převést **otáčivý pohyb na lineární**, je možné použít **hřebenový převod** nebo např. přesný **šnekový převod** pomocí kuličkového šroubu (u pohonu posuvů NC obráběcích strojů).

Pro přesný převod rotačního pohybu na rovnoměrný lineární pohyb s malým třením se používá kuličkový šroub (dlouhý šroub otáčející se v posunované matici s kuličkami, která je kuličkovým ložiskem se šroubovitou drážkou). Má-li probíhat lineární pohyb nerovnoměrně, tj. proměnou rychlostí, např. rychlý přesun do výchozí polohy následovaný pomalým pracovním pohybem (obráběcího nástroje), je možné použít pákový nebo vačkový mechanismus. **Vačkový mechanismus** se používá i pro generaci signálů (např. mechanický programátor automatické pračky). Pro přestavování stroje je často potřebný **krokový pohyb**. Např. otočný stůl lisu pootočí vždy o jeden úhlový krok a zůstane stát. Přerušovaného pohybu lze dosáhnout přerušováním plynulého pohybu nebo speciálním mechanismem.

### Přestavitelé převody

Pomocí přestavitelných **mechanických převodů** (převodovky) je možné **měnit** (řídit) **směr otáčení, otáčky** (frekvenci otáčení) a **točivý moment** otáčivého (rotačního) pohybu. **Při konstantním výkonu se mění točivý moment v opačném poměru než otáčky:  $M \approx 1/n$** .

Vztah mezi točivým momentem a otáčkami znázorňuje graficky křivka nepřímé úměrnosti, rovnoosá hyperbola. Spojitá křivka by odpovídala spojitě změně převodového poměru (otáček). Stavům (převodovým stupňům) několikastupňové převodovky odpovídají jednotlivé body na spojitě křivce (obr. 2.1 a).

Stupňové převodovky se dělí na **řemenové převodovky** a **ozubené převodovky**.

Stupňové řemenové převodovky používají k přenosu síly řemenic a řemenů. Ve stupňových ozubených převodovkách se přenáší síly přímo mezi ozubenými koly. Směr otáčení a otáčky jsou v automatických převodovkách měněny pomocí **spojek a brzd**.

## 2.2 Elektrické řízení, relé, stykač, spínač

Elektrický řídicí systém se skládá z **elektrického nastavovacího členu** (např. servomotoru) a z **elektrické řídicí jednotky**. Nejjednodušší elektrické řízení (ovládání) je např. **spínačem ovládaný elektromotor**, pracující jako pohon posuvu obráběcího stroje. Motor se spínačem tedy řídí průběh obrábění (v součinnosti s řízením pohonu hlavního vřetená) nejjednodušším způsobem, a může být vypnut nebo zapnut. K řídicí jednotce patří ještě bezpečnostní a ukazovací zařízení, jako např. hlídání teploty a signalizace žárovkami. Uskutečňuje-li se řízení spínáním elektrických kontaktů, mluvíme o **kontaktním řízení**. V opačném případě mluvíme o **bezkontaktním řízení** nebo o elektronickém řízení.

Nejdůležitějšími prvky elektrického kontaktního řízení jsou spínací přístroj, zástrčky, ukazatele a spojovací vodiče. K přehlednému zobrazení řídicího systému slouží schéma zapojení. Ve schématech jsou konstrukční prvky zobrazeny normovanými funkčními symboly, nazývanými značky pro elektrická schémata nebo schematické značky. **Schematické značky** spínacích přístrojů zobrazují **klidový stav kontaktů**. Kontakty mohou být z klidového stavu (rozeprnutého nebo seprnutého) uvedeny do aktivního stavu prstem (tlačítko), vačkou nebo narážkou (koncový spínač) nebo elektromagnetem (stykač, relé, krokový spínač) při dálkovém ovládní.

U spínacích přístrojů rozlišujeme **spínací kontakty**, které jsou **seprnuty v aktivním stavu** a **rozpínací kontakty**, které jsou v **aktivním stavu rozpojeny** a **přerušují proudový obvod**.

Podle způsobu návrtu spínacího přístroje do výchozího (nebo základního) stavu (automaticky, stejně jako při aktivaci nebo napínacím mechanismem) rozlišujeme **tlačítkový spínač**, **volící spínač** nebo **zámkový vypínač**. Spínač přitom může současně spínat, rozpínat i přepínat více kontaktů jako např. relé.

**Tlačítkový spínač** je v aktivním stavu je pro dobu trvání aktivačního signálu, např. tlaku prstu nebo procházejícího proudu v cívce relé. Tlačítkový spínač, nebo stručně tlačítko, např. zvonkové tlačítko je v aktivním stavu (např. seprnutém) jen po dobu tlaku na ovládací knoflík. Změna stavu (seprnutí, rozpojení nebo přepnutí) se uskutečňuje změnou polohy pohyblivého kontaktu, např. tlakem na tlačítko nebo klávesu. Tlačítko může ovládat více kontaktů, např. 3 spínací a 3 rozpínací. **Pružina**

**napínaná při stlačování** tlačítka **vrátí tlačítko** po ukončení tlaku **do výchozí** (klidové) **polohy**.

Tlačítkovými spínači je často spínána současně se zařízením i světelná signalizace. Tlačítka s velkou červenou hlavou na žlutém pozadí slouží jako nouzové vypínače.

**Nouzové vypínače** mají vždy **rozpínací kontakty**, protože nouzové akce musí být vždy zahájena vypnutím, tj. **přerušením proudového obvodu**.

**Koncové spínače** ovládané vačkami nebo narážkami signalizují dosažení koncových poloh pohyblivých zařízení. Koncové spínače jsou vybaveny **mžikovými spínači**, které i při velmi pomalém pohybu tlačítka změni velmi rychle polohu kontaktů, tj. mžikově spínají a rozpínají.

## Stykače a relé

Stykače mají uspořádány kontakty podobně jako tlačítkové spínače. **Ovládání** je však **elektromagnetické**. Při vybuzení cívky stykače vzniká magnetické pole, kterým je přitahena kotva a sepnuty kontakty (obr.2 1 b). Cívka stykače může být také buzena střídavým proudem (střídavé stykače). Stykače spínají výkony 1 kW až 500 kW. Používají se k připojování (a odpojování) zařízení velkých výkonů, především motorů, spojek, brzd a elektrických topných těles.

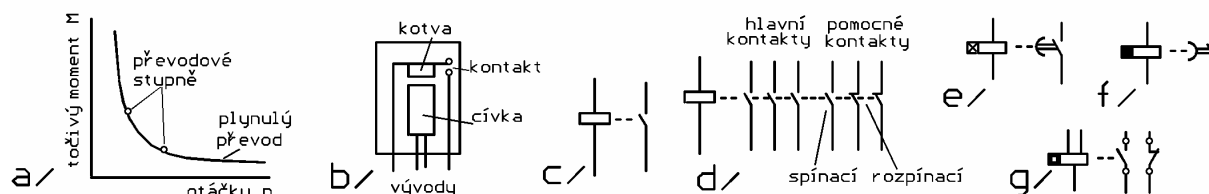
Stykač ovládá **hlavní kontakty** pro spínání hlavního obvodu, např. napájení motoru a **pomocné kontakty**, které např. připojí napájení cívky stykače, aby zůstal stykač sepnut po prvotním budícím impulsu, např. z tlačítka.

Stykače, které mají jen pomocné kontakty se nazývají pomocné stykače. Stykače se ve schématech označují písmenem K a číslem (např. pořadovým) a stejně se označují jejich kontakty (i když jsou zakresleny na jiném místě schématu), spínače se označují písmenem S.

**Relé** plní v elektrických řídicích systémech stejné úlohy jako pomocné stykače a slouží jako dálkově ovládané tlačítkové spínače. Od stykačů se však liší spínanými výkony (malými) a tím také velikostí a konstrukcí.

Doba **přítahu** relé, tj. doba mezi zapnutím buzení cívky a přepnutím kontaktů leží mezi 1 ms a 10 ms. Je podstatně menší než u stykačů. Spínaný výkon závisí na velikosti relé a pohybuje se od několika mW do 1 W. Proud potřebný pro sepnutí relé se pohybuje v desítkách miliampér.

Malá kompaktní relé jsou vyráběna v pouzdrech DIL (dual-in-line) s roztečí vývodů pro standardní plošné spoje, kde bývají součástí elektronických obvodů. Na rozdíl od elektronických spínacích prvků může relé sepnout obvod bez potenciálové vazby na řídicí obvody. Různé dvojice kontaktů relé tedy mohou spínat obvody s odlišnými potenciály (proti zemi).



Obrázek 2.1

a/ závislost točivého momentu na otáčkách u převodovky

b/ princip relé a stykače

c/ schématická značka relé

d/ stykače s hlavními a pomocnými kontakty

e/ relé se zpožděným přitahem

f/ relé se zpožděným odtahem

g/ polarizované relé se 2 polohami

**Jazyčková relé** mají jazyčkové (pérové) kontakty zatavené ve skleněné trubičce, ve které je vakuum (vzduchoprázdno) nebo ochranná atmosféra, zaručující velkou životnost (100 až 200 milionů sepnutí v závislosti na spínaném výkonu). Trubička s kontakty se vládá do válcové cívky (solenoidu), jejíž vybuzení zmagnetizuje kontakty, ty se vychýlí z klidové rozpojené polohy, přitáhnou se a sepnou se.

## Časové relé

Při řízení je často potřeba zpoždění mezi zapnutím (vybuzením) relé a přepnutím kontaktů, nebo zpoždění mezi vypnutím relé a návratem kontaktů do klidového stavu (odpadnutí relé). Časová funkce je vyznačena ve schématické značce.

Časová relé dělíme na relé se **zpožděným přitahem** a relé se **zpožděným odpadem**.

U relé bez elektronického časovače je možné zpozdít přitah nebo dopadnutí kotvy pomocí elektrického obvodu (kondenzátor, monostabilní obvod, čítač, mikroprocesor).

**Multifunkční časová relé** obsahují elektronické spínací prvky a elektronické časovací obvody. Zpoždění je možné nastavit digitálními voliči ve velkém rozsahu.

**Volicí spínač** (vícepolohový spínač)

Volicí spínače **setrvávají v nastavené poloze**.

Ruční volicí spínač, např. jednoduchý **spínač** nebo **přepínač** je většinou **jednopolový** nebo **dvoupolový** s polohami ZAPNUTO a VYPNUTO, nebo vícekontaktní a případně i vícepolohový volicí spínač. Složené vícekontaktní spínače (např. střídavý nebo křížový spínač pro ovládání osvětlení) ovládají současně více kontaktů (jako některé tlačítkové spínače) a při více polohách mohou spínat kontakty v různých kombinacích např. pomocí vaček.

**Polarizované relé**

Polarizované relé je dvoupolohový elektromagnetický přepínač (volicí spínač). Kotvu je možné překlápet mezi dvěma pólovými nastavci permanentního magnetu pomocí jedné ze dvou bočních cívek na pólových nastavcích. Permanentní magnet přidržuje pak kotvu v nastavené poloze i po ukončení budicího impulsu. Polarizované relé je buzeno stejnosměrným proudem tak, aby byl magnetický tok cívky souhlasný s magnetickým tokem permanentního magnetu. Polarizované relé může sloužit jako paměť reléového řídicího systému nastavitelného propojením. Při výpadku napájení řídicího systému zůstává polarizované relé v nastavené poloze, zachovává tedy nastavenou informaci a řízený systém se po obnovení dodávky proudu rozbíhá s nezměněným stavem reléové řídicí paměti. V dnešní době známe samozřejmě dokonalejší způsoby zálohování dat (polovodičová paměť zálohovaná velkou kapacitou nebo baterií, paměť EEPROM).

**Krokové vícepolehové relé** nebo též **impulsní krokový volič** je impulsní vícepolehové relé s krokovacím mechanismem. Každým přitahem pootočí kotva západkové kolo o jeden krok (1 zub západkového kola) a s ním váčkovou hřídel s váčkami ovládajícími kontakty nebo otočný kontakt. Tento princip byl používán v telefonních voličích mechanických ústředěn.

Relé pracující na elektromagnetickém principu jsou stále častěji nahrazovány **optotriaky**, které se skládají z infra LED (prahové napětí 1 V) a triaku řízeného jejím světlem. Ten **bezkontaktně** spíná střídavé napětí až do 1000 V, případně stejnosměrné napětí obou polarit (viz obr.2.2 c). Nahrazuje relé. Také kromě spínání zajišťuje **galvanické oddělení řídicího a výkonového (silového) obvodu**. **Optotriak pro větší výkony** se v literatuře nazývá **polovodičové relé** - Solid State Rele (SSR). Často obsahuje i předřadný odpor před LED, aby jej bylo možné přímo připojit k řídicímu napětí (5, 12, 24 V).

Výhodou oproti relé je menší spínací proud (5 mA), menší rozměry, větší rychlost spínání (mikrosekundy), mnohem delší životnost (bezkontaktní spínání). Nevýhodou je úbytek napětí na sepnutém triaku (1 až 2 V), který je příčinou výkonových ztrát ( $P = U \cdot I$ ) a zahřívání těchto součástek.

**Zámkový vypínač**

Zámkový vypínač se používá v **nadproudových jističích** k automatickému odpojení obvodu.

Zámkový vypínač je mechanický vypínač, který setrvává ve vypnuté nebo zapnuté poloze tak jako jednoduchý dvoupolohový vypínač. K vypnutí (ručnímu nebo automatickou spouští při nadproudu) je zapotřebí mnohem menší síla než k ručnímu zapnutí (které je možné po poklesu proudu na přípustnou hodnotu). Při ručním zapínání je napínán vypínací mechanismus (jako spouštěcí mechanismus pistole) a po napnutí je podepřen západkou (zámkem vypínače), která drží vypínací mechanismus v napnuté poloze (obr. 2). Západka může být uvolněna (spouštěna) ručně, elektromagnetickou spouští nebo bimetalovou tepelnou spouští.

Nejpoužívanějšími spouštěmi vypínacího mechanismu ochranného (nadproudového) vypínače (jistič) jsou **tepelná spoušť**, **nadproudová spoušť** a **podpět'ová spoušť**.

**Tepelná spoušť** je tvořena **bimetalovým páskem** ovinutým ohřívacím drátem. Stoupne-li proud hlídaného obvodu, procházející ohřívacím odporovým drátem nad přípustnou mez, ohřeje se (s časovým zpožděním) bimetalový pásek, prohne se a uvolní západku vzpěry páky vypínacího

mechanizmu, který prudce rozpojí kontakty. Tepelné spouště v motorových jističích chrání motor proti dlouhodobému přetížení. **Zkrat neaktivuje tepelnou bimetalovou spoušť pro její pomalou reakci.** Tepelná spoušť se nastavuje na jmenovitý proud motoru.

**Elektromagnetická spoušť** slouží k **rychlému automatickému odpojení chráněného obvodu při zkratu**, tj. při trojnásobném až pětinasobném (a větším) proudu (podle typu jističe) Elektromagnet přitáhne kotvu a ta odklopí západku vzpěry páky vypínacího mechanismu, který odpojí chráněné zařízení od sítě. Důležitá je maximální rychlost reakce při zkratových proudech. Při mírném nadproudu je rychlost vypnutí menší.

Elektromagnetická **podpět'ová spoušť** vypíná zařízení **při podpětí v napájecí síti**. Klesne-li napájecí síťové napětí o 30 % až 50 % (a více), spustí se vypínací mechanismus a odpojí chráněná zařízení od sítě, aby nedošlo k chybné funkci elektrických zařízení.

**Jističe** dělíme podle vypínacího proudu, na který jsou dimenzovány (v domácnostech světelný okruh 6 A, zásuvkový okruh 16 A). Dále je dělíme podle rychlosti vypínání. **Pomalé (motorové) jističe** musí vydržet proudovou špičku při zapnutí motoru, vypínají až při déle trvajícím přetížení motoru, aby se nespálilo vinutí.

Jističe chrání spotřebiče před poškozením při nevhodném pracovním režimu. Hlavním jejich úkolem je ale chránit elektrorozvodnou soustavu (transformátor 22 kV/400 V a vedení) před zkratem a zabránit tak vzniku případného požáru.

### **Proudový chránič (FI – jistič, RCD)**

Proudový chránič bývá označován jako jistič FI (Failure Intensity = chybový proud) nebo jako RCD (Residual Current Protective Device = ochranné zařízení vybudované zbytkovým proudem). RCD (obr. 1) se zapojuje mezi rozvodnou síť a větev se spotřebiči u nichž je **hlídán zkrat aktivního vodiče** (fázového nebo středního) **na kostru spojenou s ochranným vodičem**. Při takovém zkratu může na kostru přístroje proniknout nebezpečné napětí. Proudový chránič tak chrání spotřebič proti nedovolenému dotykovému napětí, které je (v suchých a bezpečných prostorách) větší než 65 V (střídavých).

Proudový chránič obsahuje citlivý **diferenciální transformátor**, jehož primární stranu tvoří všechny aktivní vodiče hlídáné větve a sekundární cívka tvoří zdroj vybavovacího proud spouštěcího elektromagnetu rozpojovacího mechanismu jističe. **V bezporuchovém stavu je součet proudů v aktivních vodičích nulový a při rozdílu větším než jmenovitý diferenciální proud RCD dojde k odpojení všech aktivních vodičů.** Pro ochranu koupelen se používají RCD s jmenovitým diferenciálním vybavovacím proudem 30 mA.

K vyzkoušení mechanické funkce RCD se používá testovací tlačítko (obr.2.2 a).

Elektrická zařízení musí být chráněna tak, aby jejich provoz neohrozil lidi, zvířata a věci.

K nejdůležitějším ochranám patří **izolace** (základní a ochranná). Při poškození izolace může dojít k izolační chybě a následnému zkratu.

Rozlišují se tři **typy zkratů**:

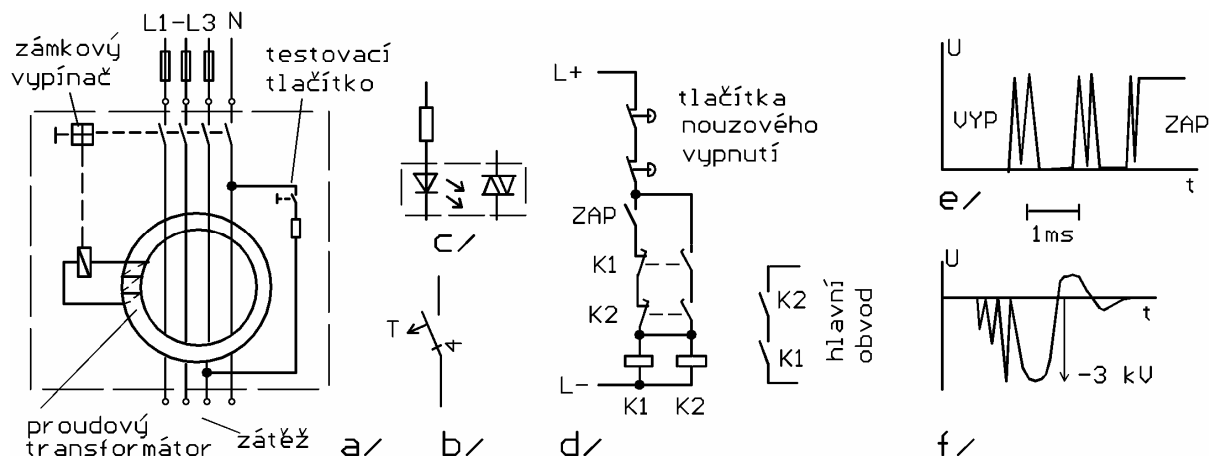
- Tělesný zkrat, při kterém prochází lidským tělem proud, ohrožující zdraví a život;
- Zkrat mezi aktivními vodiči, který může způsobit elektrický oblouk a požár poškozující izolaci a následný zkrat na kostru;
- Zkrat na zem, tj. zkrat mezi aktivním vodičem a zemí nebo uzemněnou částí zařízení.

Zkrat aktivního vodiče na jiný aktivní vodič nebo zkrat fázového vodiče na zem může způsobit požár. Proudový chránič odpojí chráněný okruh při tělesném zkratu na zem nebo zkratu aktivního vodiče na ochranný vodič nebo na zem.

RCD s vestavěným nadproudovým jističem se označuje RCBO (Residual Current Breaker with Overcurrent Breaker = přerušovač obvodu na základě zbytkového proud nebo nadproudu). RCBO odpojí chráněný okruh při jakémkoliv zkratu. Izolační chyby s pronikem nebezpečného napětí na kostru je pro člověka nebezpečná ve vlhkém prostředí, např. v koupelně, kde jsou malé přechodové odpory mezi lidským tělem a kostrami spotřebičů i uzemněnými armaturami, např. vodovodními kohoutky, spojenými vlhkostí s mokrou podlahou.

Jedná se o moderní způsob ochrany. Na níže uvedeném obrázku je uveden v třífázovém provedení. Funguje ale i v **jednofázovém provedení**, kdy transformátorem prochází fázový a nulový vodič.

**Zásuvkový okruh** musí být ale proveden **třívodičovým kabelem**. Nulový a ochranný vodič nejsou spojeny v zásuvce, ale až v rozvaděči.



Obrázek 2.2

a/ nadproudový jistič

b/ jeho schématická značka

c/ optotriak

d/ zdvojené nouzové vypínání

e/ zákmity při spínání mechanických kontaktů

f/ napěťová špička při vypínání obvodu s indukčností

Ke zkratům může docházet nejen při poškození izolace, ale také opotřebením, např. při promaštění izolace vinutí motorů nebo při vniknutí vlhkosti a prachu nebo jiných vodivých nečistot do elektrických zařízení. Zvláště nebezpečné jsou v tomto směru kovové piliny a kovové třísky.

### Výkonové spínače s elektronickým vypínáním

Moderní výkonové spínače zahrnují i jističe a elektroniku zajišťující:

- Ochranu před přetížením,
- Ochranu před zkratem mezi aktivními vodiči,
- Ochranu před zkratem na zem před chybovým proudem na zem,
- Ochranu před nesymetrickým zatížením fází,
- Ochranu před podpětím a
- Hlídní teploty, např. teploty vinutí motoru.

Kromě toho jsou některé výkonové spínače vybaveny ukazateli (měřicími přístroji) fázových proudů, výkonu, účinku ( $\cos \varphi$ ) a indikátory vypínacích funkcí.

Pro dálkové sledování a řízení jsou vybaveny moderní výkonové spínače také komunikačním rozhraním, např. rozhraním RS 485, AS-I-Bus nebo PROFIBUS-DP.

Moderní výkonové spínače zajišťují všechny běžné ochrany a předávají po datové síti informace o svém stavu.

### Zajišťovací obvody

V případě nebezpečí musí být zařízení strojů, případně jejich části uvedeny nouzovým vypínačem do klidu nebo do takového stavu, který by nebyl nebezpečný.

**Nouzový vypínač** je **červený**, na žlutém pozadí, **viditelně umístěn** a **lehce dosažitelný**.

Nouzový vypínač musí mít **přímé ovládání kontaktů ručním tlačítkem**, tj. kontakty nesmí být ovládány nepřímo, např. magneticky nebo přes pružné, např. pérové mezičlánky.

**Sériově zdvojené nouzové vypínání** (viz obr.2.2d). Ve schématu je jištěné zařízení připojeno přes sériově zapojené stykače  $K_1$ ,  $K_2$ . Oba stykače jsou po zapnutí tlačítkem ZAPNI připojeny na napájení přes vlastní pomocné kontakty, zapínané s časovým předstihem před rozpínacími kontakty zapínací větve. Selže-li při nouzovém vypnutí jeden ze stykačů (např. „lepší“, zůstane „viset“), je obvod přerušen druhým stykačem. Zapojení je **z důvodu bezpečnosti redundandní** tj. **nadbytečné**.

### **Kmitání kontaktů**

Při spínání kontaktů dochází po jejich nárazu ke kmitání, tj. k jejich rychlému spínání a rozpínání. To trvá řádově 1 ms. Tento jev je zvláště rušivý, má-li být sepnutým signálem řízen nějaký elektronický obvod, např. čítač impulsů, který pak může zakmitání kontaktů vyhodit jako sérii impulsů. Spínané signály proto musí být zbaveny rušivých spínacích zákmitů, tj. krátkodobých přerušování spínaného signálu, pomocí elektronických obvodů.

Při mechanickém spínání obvodu způsobuje chvění kontaktů rušivý signál.

K ošetření tohoto jevu se používá **monostabilní klopný obvod** nebo **dolní propust** (kondenzátor) v kombinaci se **Schmittovým tvarovacím obvodem**.

### **Jiskření kontaktů**

Při rozpojování vzniká vlivem indukčnosti odpojované zátěže mezi rozpojovanými kontakty napěťová špička, dochází k jiskření, případně elektrickému oblouku, který poškozuje kontakty a je zdrojem rušivého signálu (obr.2.2f). Příčinou je skutečnost, že **proud tekoucí cívkou se mění vždy spojitě**. Při odpojování induktivní zátěže vzniká přepětí, vyvolávající jiskření na mechanických kontaktech nebo průraz polovodičových spínacích prvků.

Přepětí je proto zkratováno tzv. **zhašecími členy** připojovanými paralelně k cívce stykače a ostatním induktivním zátěžím. Zhašecí člen tak zabraňuje jiskření na kontaktech.

Zhašecí (přepět'ový) člen s **varistorem** (obr.2.3 a) je tvořen napěťově závislým rezistorem (varistorem), jehož odpor při zvýšeném napětí prudce klesne, viz jeho VA charakteristika obr.2.3d (vyrábějí se varistory se jmenovitým napětím od několika voltů až do stovek voltů) a zkratuje tak proud spojený se zánikem magnetického pole např. cívky stykače.

**Zhašecí člen RC** (obr.2.3 b) je vhodný zvláště pro stykače buzené střídavým napětím. Tlumí vysokofrekvenční rušivé signály a hlavně jehlové impulsy (napěťové špičky) vznikající při odpojování indukčnosti.

**Zhašecí člen s diodou** (obr.2.3 c) je vhodný zvláště pro stykače cívky stejnosměrného relé. Při připojení napětí na cívku je dioda v závěrném směru. Při odpojení cívky vznikne napěťový impuls, který je diodou zkratován.

Zhašecí členy zabraňují jiskření a tím také rušivým signálům.

## **2.3 Elektrická schémata kontaktního řízení**

Elektrická schémata je možné kreslit v **blokovém uspořádání** (bloky odpovídají jednotlivým přístrojům, např. kontakty stykače jsou kresleny v jednom celku), v **rozloženém uspořádání** (jednotlivé prvky, např. kontakty jsou rozloženy do jednotlivých, pokud možno přímých proudových cest) nebo v podobě **přehledového schématu**, které je zjednodušené (např. několikavodičové vedení je kresleno jako jedna čára opatřená popisem) a zohledňuje celistvost jednotlivých konstrukčních celků (např. motor, svorkovnice, jistič).

**Kontakty řídicích systémů jsou ve schématech zobrazovány v klidovém (výchozím) stavu.**

Tato schémata si popíšeme pomocí následujícího obvodu:

Spínačem  $S_1$  je prostřednictvím relé  $K_1$  zapnut stykač  $K_{10}$  a ten připojí motor  $M_1$  k fázovým vodičům  $L_1, L_2, L_3$  trojfázové sítě. Signální žárovka  $H_1$  svítí při rozpojeném kontaktu  $S_1$  (motor v klidu) a zhasne při sepnutí kontaktu  $S_1$  (motor připojen). Odpojení žárovky (změna světelného signálu) je způsobeno rozpínacím kontaktem relé  $K_1$ .

**Elektrické schéma zapojení v blokovém uspořádání.** Schéma zapojené v blokovém uspořádání zobrazuje **všechny prvky důležité pro činnost jednotlivých přístrojů**, tj. všechny vodiče a všechny kontakty. Pohromadě jsou ty prvky, které spolu funkčně patří (cívka a kontakty stykače)

Podrobná elektrická blokově uspořádaná schémata, vhodná pro analýzu funkce řízení se kreslí pro menší a jednodušší řídicí systémy, protože pro rozsáhlý řídicí systém by tak podrobné schéma bylo příliš složité a nepřehledné.

Elektrické schéma v **rozloženém uspořádání**. V rozloženě uspořádaném schématu zapojení **odpovídá každému spotřebiči (žárovce, cívce stykači, motoru) visle zakreslená proudová větev**. Proudové větve jsou po řadě očíslovány. **Kontakty stykačů jsou zakreslovány do větví, ve kterých spínají proud**. V rozloženě uspořádaném schématu není polohou zohledněna příslušnost kontaktu k určitému

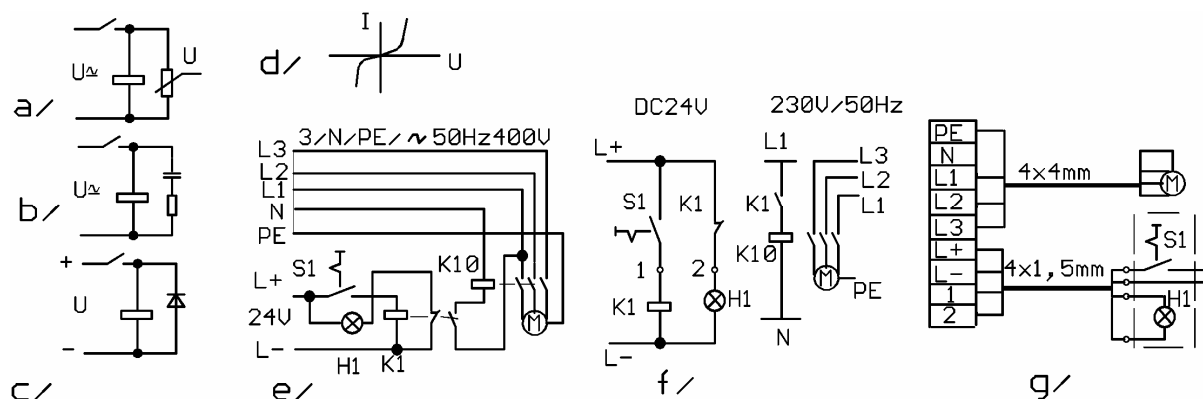
relé nebo stykači. Tato příslušnost je patrná z označení. V níže uvedeném schématu je zvlášť nakreslena řídicí a ovládací část.

**Proudově větve se v rozložené uspořádaném schématu kreslí svrchu dolů** (od plus k minus pólu nebo od fázového k nulovému vodiči) postupně vedle sebe.

V rozložené uspořádaném schématu kontaktního řízení jsou kontakty označeny stejně jako odpovídající cívka vinutí stykače nebo relé. Kontakty  $K_1$  patří k cívkce  $K_1$ .

Čísla za písmennými značkami jsou většinou volitelná, ale v rozložené uspořádaném schématu jsou nutná.

**Přehledové schéma.** Přehledové schéma je určeno pro zapojování. Z toho schématu je vidět potřeba propojovacích vodičů a kabelů a uspořádání svorkovnic jednotlivých přístrojů.



Obrázek 2.3

a/ zhášecí člen s varistorem

b/ s RC

c/ s diodou

d/ VA charakteristika varistoru

e/ schéma v blokovém uspořádání

f/ v rozloženém uspořádání

g/ přehledové schéma

## 2.4 Základní obvody elektrického kontaktního řízení

V elektrických kontaktních řídicích systémech jsou **spínací signály**, případně stavy kontaktů pomocí relé nebo stykačů **přenášeny, zesilovány, zmnožovány** (rozdávěny na více míst současně), **invertovány, logicky zpracovány** (jako operandy logických operací) nebo **ukládány do paměti**.

Spínací signály a stavy jsou **binárními** (dvouhodnotovými) signály a stavy.

Pomocí relé nebo stykačů je možné **přenášet** spínací (binární) signály z jednoho proudového obvodu do jiného, **aniž byly** tyto obvody **galvanicky spojeny**.

Při požadavku bezpečného malého napětí 24 V na ovládacím prvku, např. ručním spínači  $S_1$ , je stykač  $K_{10}$ , vyžadující ovládací napětí 230 V, buzen přes kontakt relé  $K_1$  a ne přímo pomocí tlačítka  $S_1$  (viz výše uvedený obrázek 2.3 e, f).

Stejnoseměrný obvod mezi  $L_+$  a  $L_-$  je tak galvanicky oddělen od střídavého obvodu mezi  $L_1$  a  $N$ . Jsou tak eliminovány případné rušivé vlivy ze sítě  $L_1, N$  na stejnosměrnou síť  $L_+$  a  $L_-$  (DC 24 V), ze které mohou být napájeny elektronické přístroje.

Relé  $K_1$  vyžaduje sepnutí malou energií a k udržování v sepnutém stavu nepatrný výkon. Kontakty relé však mohou spínat (ovládat) mnohem větší (např. 100krát) výkon, např. napájení cívky stykače  $K_{10}$  a stykač je schopen sepnout ještě mnohem větší výkon, potřebný např. k napájení motoru. Pomocí relé i pomocí stykače je možné **zesílit elektrický spínací výkon**.

Protože má většina relé i většina stykačů více kontaktů, je možné **současně spínat nebo rozpínat více proudových okruhů** (větví), tj. **zmnožit ovládací signál**. Aktivací spínacího kontaktu  $S_1$  je možné zapnout relé. Signální žárovka však musí svítit (být zapnuta) při vypnutém motoru, tedy při rozpojeném  $S_1$  a po zapnutí motoru musí zhasnout. Tohoto obráceného účinku, tj. invertování binárního signálu lze dosáhnout pomocí rozpínacího kontaktu  $K_1$ . **Relé s rozpínacím kontaktem** tedy funguje jako **invertor** binárního (logického, spínacího) signálu.

**Logické operace.**

Operaci **logického součinu AND** (logické konjunkce) je možné realizovat **sériovým zapojením kontaktů**. Relé  $K_1$  na obrázku 2.4 a přitáhne jen tehdy, jsou-li současně (AND) sepnuty kontakty spínačů  $S_1, S_2$ . Tento vztah je možné vyjádřit pomocí operátoru logického součinu AND Booleovy algebry, nebo pomocí operátoru **konjunkce** „ $\wedge$ “ formální dvouhodnotové logiky. Označíme-li odpovídající logické proměnné (1 a 0) nebo výroky (býti sepnut, býti rozepnut) stejnými symboly, např.  $S_1$  a  $\overline{S_1}$  ( $\overline{S_1}$  je negace  $S_1$ , inverze nebo opak  $S_1$ ), můžeme psát  $K_1 = S_1 \text{ AND } S_2$  nebo  $K_1 = S_1 \wedge S_2$ .

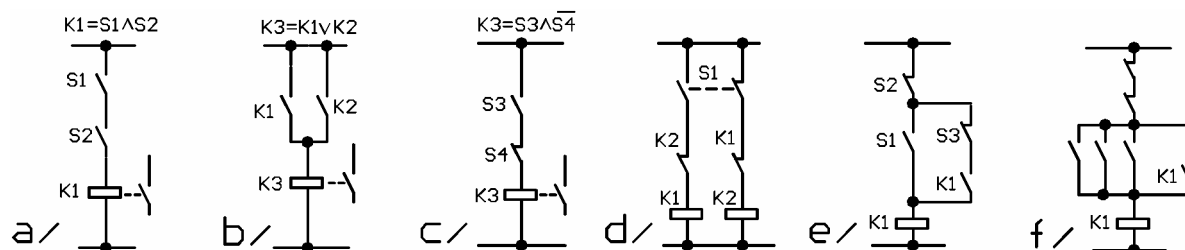
Operaci **logického součtu OR** (logické disjunkce nebo alternativy) je možné realizovat **paralelním zapojením kontaktů**. Relé  $K_3$  na obr.2.4b je napájené tehdy, je-li sepnut alespoň jeden z kontaktů  $S_1, S_2$  tj. je-li sepnut  $S_1$  nebo  $S_2$  nebo oba současně. Analogicky s logickým součinem lze pak psát  $K_1 = S_1 \text{ OR } S_2$  nebo  $K_1 = S_1 \vee S_2$ , kde „ $\vee$ “ je operátor logické disjunkce a OR je operátor logického součtu Booleovy algebry.

Operaci **logické negace** (inverze, opaku) je možné realizovat pomocí rozpínacího kontaktu. Negace je označována vodorovnou čarou nad operandem nebo nad celým logickým výrazem: ( $K_2 = S_3 \wedge \overline{S_4}$ ) nebo operátorem NOT před operandem nebo výrazem.

Často je požadováno, aby bylo přitažené (sepnutý spínací kontakt) jen jedno ze dvou relé, nikoliv však obě současně, tedy aby byl jejich stav vždy opačný, tedy různý, např.  $K_1$  pro běh motoru doleva nebo  $K_2$  pro běh motoru doprava, takže stav přitažení obou relé musí být blokován. Odpovídající logickou funkcí je **neekvivalence XOR (EXCLUSIVE – OR)**, která vyjadřuje stav, že je **současně  $K_1$  sepnuto a  $K_2$  rozpojeno** nebo **současně  $K_1$  rozpojeno a  $K_2$  sepnuto**, což lze zapsat:

$$K_1 \neq K_2 \text{ neboli } (K_1 \wedge \overline{K_2}) \vee (\overline{K_1} \wedge K_2)$$

**Blokování** (neekvivalenci) lze zajistit mechanicky **spřažením spínacího kontaktu** ve větvi pro napájení  $K_1$  a **rozpínacího kontaktu** pro napájení  $K_2$ , takže může být napájeno jen jedno relé. Kromě mechanického blokování může být funkce jištěna ještě elektrickým blokováním pomocí rozpínacího kontaktu  $K_2$  ve větvi pro  $K_1$  a rozpínacího kontaktu  $K_1$  ve větvi pro  $K_2$ . Je-li vybuzeno relé  $K_1$ , je přerušena větev napájení cívky  $K_2$  a opačně. (viz obr.2.4 d).



Obrázek 2.4

a/ realizace logického součinu

b/ logického součtu

c/ logického součinu s negací

d/ blokování současného sepnutí obou relé

e/ uchování stavu samopřidrzným kontaktem

f/ ovládání spotřebiče více tlačítky

**Uchování stavu** (uložení logické proměnné v paměti, viz obr. 2.4 e). Stav může být uchován pomocí **samopřidrzného kontaktu**. Samopřidrznou funkci zajišťuje u relé vlastní spínací kontakt  $K_1$  v napájecím obvodu. Je-li krátce stisknuté tlačítko  $S_1$ , která napájí cívku relé i po rozpojení  $S_1$ . Budicí impuls tlačítka napájí cívku relé i po rozpojení  $S_1$ . Budicí impuls tlačítka  $S_1$  (logická 1) se tedy uloží. Krátkým rozpojením  $S_3$  nebo  $S_2$  zůstane relé bez napájení, rozpojí se kontakt  $K_1$  a paměť je tak vymazána. Vypínací tlačítko  $S_2$  před samopřidrznou větví vypne (odpojí) relé  $K_1$  v každém případě, i když je stisknuté tlačítko  $S_1$ .

Vypínacím tlačítkem před samopřidrznou větví je paměť prioritně smazána (reset).

Tlačítkem  $S_3$  v samopřidrzné větvi je při stisknutí zrušena samopřidrzná funkce. Relé  $K_1$  však zůstane přitaženo, je-li současně s  $S_3$  stisknuto i tlačítko  $S_1$ .

Vypínacím tlačítkem v samopřidrzné větvi je do paměti uložen stav  $S_1$  (set).

Elektrické přístroje, které nejsou **zapínány a vypínány** dvou polohovým vypínačem, ale **tlačítka**, jsou zapínány a vypínány většinou pomocí paměťového obvodu. Má-li být nějaký přístroj zapínatelný z více různých ovládacích panelů a (nebo) vypínatelný z více různých míst (např. nouzovým vypínačem), je třeba zapojit **všechny zapínací (spínací) tlačítka paralelně** a všechna **vypínací tlačítka sériově** (viz obr.2.4 f).

## 2.5 Elektrické akční jednotky - motory

Nejdůležitější elektrická akční jednotky jsou trojfázové motory, stejnosměrné motory a krokové motory.

**Elektromotory** jsou založeny na fyzikálním principu **silového působení magnetického pole na pohybující se elektrické náboje, tedy i na vodiče, kterými protéká elektrický proud**. Magnetické pole je vytvářeno pomocí **elektromagnetů** nebo pomocí **trvalých (permanentních) magnetů**. Kromě elektromotorů (servomotorů) se k elektrickým akčním jednotkám řadí elektromagnety, piezoelektrické ovládače, magnetostrikční ovládače a přemagnetovatelné ovládače (Memory-Metall-Actuator = paměťový kovový ovládač).

V posledních letech došlo ke zdokonalení permanentních magnetů. Tento vývoj ovlivnil i vývoj elektromotorů, které se stávají při použití permanentních magnetů jednoduššími, menšími a lehčími.

Charakteristikou **permanentního magnetu** je magnetizační **hysterezní smyčka**, jejíž **plocha odpovídá hustotě energie** vázané v permanentním magnetickém poli a je úměrná součinu  $B_R \cdot H_K$ , kde  $B_R$  je **remanentní magnetická indukce** a  $H_K$  je **koercitivní intenzita magnetického pole** (koercitivní síla). **Čím větší je magnetická indukce magnetu, tím účinnější je přeměna elektrické energie v energii mechanickou** v pracujícím elektromotoru a tím vyšší je bezpečná hranice pro odmagnetování permanentního magnetu cizím magnetickým polem.

Objemová hustota energie permanentního magnetu je úměrná ploše hysterezní smyčky a je mírou účinnosti magnetu v elektrických indikačních strojích.

### Elektromagnety a elektromagnetické spojky

Ovládače na bázi elektromagnetu obsahují **cívku se železným jádrem a pohyblivou železnou kotvu**. Při průchodu proudu cívku elektromagnetu je kotva přitahována k pevnému železnému jádru, tj. snaží se zaujmout polohu, při které je magnetický odpor magnetického obvodu co nejmenší, tj. magnetické indukční čáry co nejkratší. Rozeznáváme zvedací magnety s posuvnou kotvou a otočné magnety s otočnou kotvou.

Kotva elektromagnetu má snahu zaujmout polohu, při které má magnetický obvod nejmenší magnetický odpor.

Elektromagnetické spojky se používají k dálkovému nebo automatickému zapínání a brzdění pohonů. Elektromagnetické spojky jsou buďto jednodiskové, lamelové, s magnetickým práškem nebo zubové.

### 2.5.1 Trojfázové motory

Nejpoužívanějším typem elektromotoru je trojfázový asynchronní motor.

**Asynchronní trojfázový motor** je konstrukčně jednodušší než stejnosměrný motor a má při stejném výkonu menší rozměry a menší hmotnost. Skládá se z nosného válcového rámu s nástavci pro cívky **trojfázového statorového vinutí** s vývody  $U_1, U_2, V_1, V_2, W_1, W_2$  a rotoru. Trojfázový motor může být připojen přímo na trojfázovou síť. Podle typu rotoru (kotvy) se rozlišují motory s kotvou nakrátko a motory s kroužkovou kotvou.

#### Motory s kotvou nakrátko

**Rotor (kotva) nakrátko nebo též klecový rotor je tvořen blokem (svazkem) rotorových plechů nasazených na hřídeli a vodivou klecí**, tvořenou měděnými nebo hliníkovými tyčemi odlitými do drážek rotoru a spojenými (svařenými) s čelními kroužky. Pokud si odmyslíme svazek rotorových plechů, má rotor tvar klece. Tyče zalité do drážek nebývají úplně rovnoběžné s osou rotoru, ale jsou sešikmené pro zajištění rovnoměrného chodu motoru. Rotorové plechy jsou kolmé k ose rotace kotvy a jsou vzájemně izolované vrstvou oxidu, což zabraňuje vzniku vířivých proudů, které by způsobovaly velké tepelné ztráty.

Protože **proud v kotvě vzniká indukcí**, nazývají se motory s kotvou nakrátko také **indukční motory**.

### **Motory s kroužkovou kotvou**

Základem kroužkové kotvy je opět **svazek rotorových plechů s drážkami**. Do drážek je však v tomto rotoru uloženo **vinutí**, které se skládá ze **tří samostatných vinutí zapojených do hvězdy**. Konce těchto vinutí jsou spojeny do jednoho boudu a opačné konce vinutí jsou vyvedeny na **sběrné kroužky** na ose rotoru. Tyto **kroužky** jsou přes **přítlačné sběrací kartáče** připojeny na **svorky K, L, M**. Při **normálním provozu jsou zkratovány** a rotor se chová podobně jako klecový rotor. Při **rozběhu** jsou **mezi svorky zapojeny odpory zmenšující rozběhový proud**, který by byl při pomalých otáčkách rotoru příliš velký a vyvolal by i velký statorový proud odebíraný ze sítě. Spouštěčem s proměnnými odpory lze řídit rozběh a pak i otáčky motoru. Pokud řídíme spouštěčem i otáčky, musí být spouštěč dimenzován na trvalý chod. Přímé připojení k síti je povoleno pouze pro motory do 3 kW, jinak musí být jejich rozběhový proud omezen spouštěčem.

### **Točivé magnetické pole**

Pomocí proudů sdružené trojfázové soustavy lze snadno vytvořit točivé magnetické pole, které pak unáší magnetickou kotvu v otáčivém pohybu.

Jsou-li **tři statorová vinutí** trojfázového motoru s točivým polem připojena na **tři fáze** trojfázového napětí, **mění se** postupně periodicky se sítovým kmitočtem 50 Hz **velikost i směr magnetického pole** na každém statorovém vinutí. Má-li stator motoru tři vinutí natočená proti sobě o 120°, pak výsledný magnetický tok  $\Phi$  vytvářený proudy  $I_U, I_V, I_W$  ve vinutích U, V, W, mění svůj směr tak, že vytváří točivé magnetické pole.

Točivé pole popsaného statoru má na obvodu statoru kroužící severní pól a proti němu jižní pól a mluvíme zde o 2pólovém točivém elektrickém stroji. Točivé pole indukuje v tyčích klecového rotoru nebo vodičích vinutého rotoru proudy, které vytvářejí magnetické pole rotoru. Síly otáčející rotorem mají snahu natočit rotor do pozice, ve které má jeho magnetické pole stejný směr (i orientaci) jako točivé pole statoru. **Otáčky rotoru** s hladkým válcovým povrchem **nedosáhnou otáček synchronních** s otáčkami budícího pole, ale **zůstávají** (úměrně zatížení) **menší**. Rotor popsaného motoru se otáčí **asynchronně** a **rozdíl v otáčkách se nazývá skluz**.

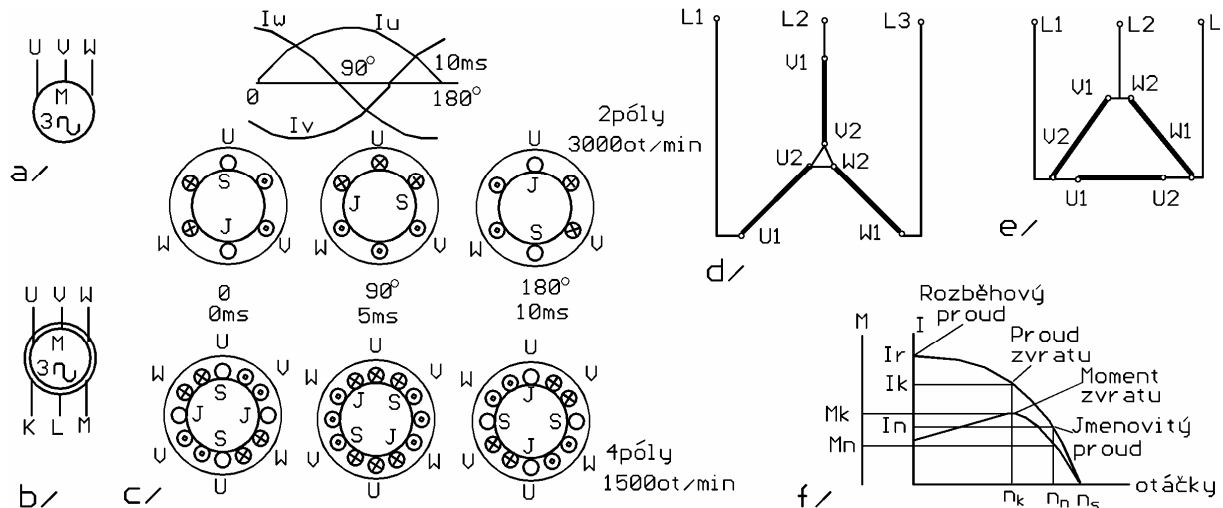
Točivé pole se otáčí při uspořádání vinutí statoru podle obr.2.5 c synchronně s kmitočtem sítě 50 Hz 50krát za sekundu, 3000krát za minutu nebo též jedenkrát za 20 ms. Je-li každé ze tří vinutí uspořádáno na horní polovině obvodu statoru a další tři vinutí na dolní polovině obvodu statoru, jsou vytvářena dvě točivá pole (4pólový stroj). každé z obou polí se pootočí za 20 ms o polovinu obvodu, pole se tedy otáčejí s kmitočtem  $1500 \text{ min}^{-1}$ .

Trojfázový (střídavý sinusový) proud vytváří na 3 statorových vinutích natočených vzájemně o 120° točivé magnetické pole.

Trojfázové budící vinutí statoru může být vícenásobně rozděleno po obvodu statoru. Vznikají pak točivá pole otáčející se s různými kmitočty a těmto kmitočtům pak odpovídají jmenovité otáčky motoru.

Např. šestipólový trojfázový motor má 1000 ot/min

Na podobném principu pracují i jednofázové asynchronní motory. Je u nich horší poměr mezi hmotností a rozměry na jedné straně a výkonem na druhé straně.



Obrázek 2.5

a/ motor s kotvou nakrátko

b/ motor s kroužkovou kotvou

c/ vznik točivého magnetického pole

d/ zapojení do hvězdy

e/ zapojení do trojúhelníku

f/ závislost proudu a točivého momentu na otáčkách

S rostoucími otáčkami rotoru klesají jeho relativní otáčky vzhledem k točivému poli statoru (zmenšuje se jeho skluz za točivým polem) a tím klesá i indukované napětí  $U_2$  a indukovaný proud  $I_2$ . Pokud se otáčky rotoru přiblíží otáčkám pole  $n_s$  (synchronním otáčkám) zmenší se relativní otáčky rotoru v točivém poli (skluz), poklesne indukované napětí i indukovaný proud točivý moment je u nezátíženého motoru v rovnováze s brzdícím momentem způsobeným třením v ložiscích a třením vzduchu. Motor běží **asynchronně s malým skluzem**.

Točivý moment asynchronního motoru není proporcionální (lineárně úměrný) proudu rotoru  $I_2$ , případně proudu napájecímu budící vinutí statoru, protože **fázový úhel mezi napájecím** (sinusovým trojfázovým) **napětím** statoru a **proudem** statoru je **závislý na otáčkách rotoru**. Na vzniku točivého momentu se podílí jen **činná složka proudu**, která je ve fázi s napětím. Motor proto nemá **největší** točivý moment při největším proudu rotoru, tj. při rozběhovém proudu  $I_R$ , ale přibližně při **2/3 synchronních otáček** (otáček točivého pole). Tento největší moment  $M_K$  se nazývá **moment zvratu**. Je-li motor po rozběhu naprázdno postupně zatěžován, klesají jeho otáčky postupně až o 20 % (skluz). Přesáhne-li zatěžovací moment  $M$  moment zvratu  $M_K$ , dojde ke **zvratu**, rotor vypadne z vleku točivého pole a **zastaví se**.

**Jmenovitý** (doporučený provozní) **moment**  $M_n$  asynchronního motoru bývá přibližně **1/3 momentu zvratu**  $M_K$ . Jmenovité otáčky bývají o 5 % menší než otáčky točivého pole (synchronní otáčky). Relativní **odchylna** jmenovitých **otáček** od synchronních (např. 5 %) je označována jako **skluz**  $s$ . Budící vinutí statoru mohou být připojena k trojfázové síti v zapojení do **hvězdy** nebo v zapojení do **trojúhelníku**.

Při zapojení do **trojúhelníku** jsou **na vinutích** plná síťová napětí, tj. v síti 400 V napětí **400 V na každém vinutí**.

Při zapojení do **hvězdy** jsou **na vinutích** fázová napětí s efektivní hodnotou  $400 \text{ V} / \sqrt{3} = 230 \text{ V}$ .

Trojfázový asynchronní motor pak odebírá při **zapojení do trojúhelníku 1,73krát větší proud** ( $\sqrt{3} = 1,73205\dots$ ) **při 1,73krát větším napětí**, tedy **3krát větší výkon než při zapojení do hvězdy**, a má při srovnatelných otáčkách **3krát větší točivý moment**.

**Trojfázové asynchronní motory** bývají **většinou** provozovány v zapojení do **trojúhelníku**.

### Řízení rozběhu trojfázových asynchronních motorů

Trojfázové asynchronní motory odebírají **při zapnutí 3krát až 6krát větší proud než při jmenovitém provozu**.

Elektromotory s výkonem (jmenovitým) větším než 4 kW nesmějí být zapínány přímým připojením do rozvodné sítě, protože by mohly způsobit odběrem velkého proudu při rozběhu kolísání napětí

v síti. Motory s výkonem od 4 kW do 12 kW se proto **rozebíhají v zapojení do hvězdy** a do **trojúhelníka se přepínají až po rozběhu**. Při zapojení do hvězdy odebírá motor s výkonem 12 kW stejně velký proud jako motor 4 kW při zapojení do trojúhelníku.

#### **Motorový spouštěč hvězda – trojúhelník** (obr. 2.6 a)

Přepínání napájení mezi zapojením do hvězdy a do trojúhelníku se většinou realizuje pomocí stykačů. Při zapojení do hvězdy jsou vývody  $U_1, V_1, W_1$  statorových vinutí připojeny k síti a 3 opačné vývody  $U_2, V_2, W_2$  jsou stykačem  $K_2$  připojeny ke zkratovací propojce. Zapnutí do hvězdy se uskuteční připojením napájecího napětí, které se připojí na časovém relé  $K_4$ . Po nastaveném čase (zpoždění pro rozběh motoru) odpadne  $K_4$  a tím i  $K_2$  a zapne se stykač  $K_3$ , který realizuje spojení dvojic svorek  $U_1 - V_2, V_1 - W_2, W_1 - U_2$  a tím zapojení statorových vinutí do trojúhelníku.

Motorové relé s tepelným vypínačem (tepelnou spouští) chrání motor před přetížením, jeho rozpínací kontakt odpojí při přetížení motoru napájení jističů (v obrázku není zakresleno).

Motorový spouštěč hvězda – trojúhelníku **zmenšuje rozběhový proud i rozběhový moment na třetinu**. Tento spouštěč se v poslední době realizuje pomocí **polovodičových relé**.

#### **Spouštění motorů s kroužkovou kotvou** (rotorové spouštění)

Motory s kroužkovou kotvou se spouštějí **s přidavnými odpory v obvodech vinutí rotoru**.

Rozběhové odpory **zmenší proud kotvy** a tím i **rozběhový proud statoru** odebíraný ze sítě. Zmenší se také fázové zpoždění proudu za napětím a naroste výkon. Motor se zapíná do sítě stykačem.

S rostoucími otáčkami jsou trojice odporů postupně přemostovány pomocí stykačů.

Rozběhový moment motorů s kroužkovou kotvou bývá dvojnásobkem jejich jmenovitého momentu.

Motory s kroužkovou kotvou je možné spouštět zatížené.

#### **Spouštění motoru pomocí přestavitelného transformátoru** (statorové spouštění)

Rozběh asynchronního motoru může být také řízen pomalým zvyšováním napětí na statoru pomocí stavitelného trojfázového transformátoru.

#### **Měkký rozběh asynchronního motoru** (obr.2.6 c)

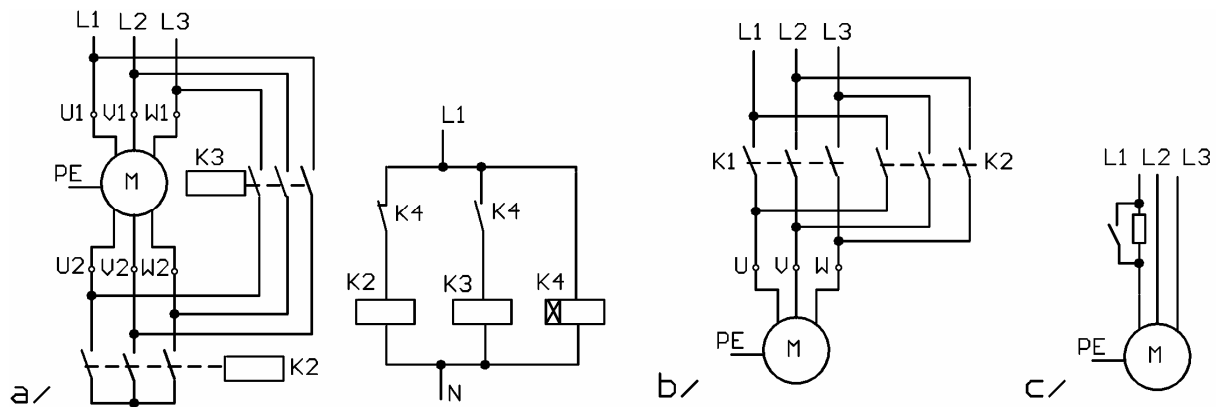
Měkký rozběh je často požadován např. u pohonu hlavního vřetene frézky, aby se šetřily převody.

Toho lze dosáhnout zapojením statoru pro měkký rozběh, jedná se tedy o měkké statorové spouštění. Při měkkém statorovém spouštění je do jedné fáze zařazen rozběhový odpor, který omezí proud ve 2 ze 3 statorových vinutí a tím i rozběhový moment motoru. Po rozběhu je rozběhový odpor zkratován pomocí zpožďovacího relé.

#### **Změna směru otáčení motoru - reverzace otáček** (obr. 2.6 b)

**Výměnou (prohozením) dvou ze tří přívodů** trojfázové přípojky asynchronního motoru se změní směr otáčení točivého pole statoru a tím i směr otáčení rotoru.

Změny pořadí v připojení fází na svorkovnici motoru je možné dosáhnout alternativním připojováním tří fází v jiném pořadí pomocí dvou stykačů. Stykač  $K_1$  zapíná motor pro běh doprava a stykač  $K_2$  zapíná motor (připojuje k síti stator motoru) pro běh doleva. Stykače  $K_1, K_2$  jsou **proti současnému zapnutí tlačítka blokovány** jednak mechanicky rozpínacími kontakty těchto tlačítek a dále elektricky rozpínacími kontakty stykačů  $K_1, K_2$  (viz obr.2.4 d). Z klidového stavu může být motor zapnut jedním tlačítkem pro běh doprava nebo druhým pro běh doleva. Při přepínání motoru z chodu do opačného směru je po stisknutí tlačítka nejprve přerušeno napájení stykače pro opačný (současný) běh spřaženým mechanickým rozpínacím kontaktem. Teprve po vypnutí (odpadnutí) stykače a sepnutí jeho rozpínacího kontaktu může být napájen stykač pro požadovaný směr běhu motoru.



Obrázek 2.6 a/ přepínání trojúhelník – hvězda  
c/ měkké spouštění asynchronního motoru

b/ přepínání směru otáček

### Řízení otáček asynchronního motoru

Otáčky asynchronního motoru jsou určeny hlavně otáčkami točivého pole, tedy síťovým kmitočtem a počtem pólů (resp. pólových dvojic). Provozní otáčky jsou nižší v závislosti na zatížení vlivem skluzu asynchronního motoru.

### Trojfázové motory s elektronickou komutací

Tyto motory mají podobné vlastnosti jako komutátorové stejnosměrné motory s lamelovým komutátorem a kartáči a nazývají se také bezkartáčové stejnosměrné motory. Trojfázové synchronní motory a trojfázové asynchronní elektronické motory s elektronickou komutací jsou stále více používány namísto stejnosměrných motorů, zvláště jako servomotory na místech pomocných pohonů. Komutací je myšleno přepínání směru proudu ve vinutí motoru (latinsky commutare = měnit). Elektronickou komutaci provádí elektronicky řízení měnič kmitočtu.

### Elektronicky komutovaný trojfázový synchronní motor.

Je-li trojfázový motor napájen z trojfázové sítě přes elektronicky řízení měnič kmitočtu, mluvíme o elektronické komunikaci. Třífázové napětí je nejprve usměrněno, potom je z něj vytvořen střídavý signál o jiném kmitočtu. Účinnost motoru může být optimalizována regulací, vycházející z porovnání polohy (natočení) točivého pole a polohy rotoru. Rotor motoru je na obvodu osazen permanentními segmentovými magnety orientovanými střídavě podle požadavku na počet pólů rotoru. Tyto motory jsou většinou používány jako servomotory pro pomocné pohony výrobních strojů nebo jiných nastavovacích mechanismů.

Trojfázové synchronní servomotory mají magnetické snímače polohy pólu kotvy (např. Hallovy sondy) umožňující regulaci otáček řízením kmitočtu napájecího měniče.

Snímače polohy pólů bývají často používány i k regulaci polohy rotoru.

Přednosti trojfázových synchronních pohonů (motorů):

- menší velikost ve srovnání se stejnosměrnými pohony,
- malý setrvačný moment vylehčeného rotoru a rychlá reakce na řídicí povely,
- velký rozsah otáček, až 1:20 000, což znamená, že nejmenší rovnoměrné otáčky motoru jsou 20 000krát menší než maximální otáčky,
- malé náklady na údržbu a žádné rychle opotřebovávané díly jako uhlíkové kartáče,
- žádné omezení točivého (resp. zatěžovacího) momentu kvůli jiskření kartáčů při natočení směru výsledného magnetického pole jako u komutátorových motorů,
- lepší chlazení než u stejnosměrných motorů s vinutím na kotvě,
- uzavřená konstrukce se stupněm krytí IP 65 proti tryskající vodě (ČSN EN 60529),
- větší životnost ve srovnání se stejnosměrnými motory,
- menší hmotnost ve srovnání se stejnosměrnými motory.

### Konstrukce trojfázových servomotorů

Stator i rotor jsou složeny z trafoplechů kvůli **omezení ztrát vířivými proudy**. Rotor má vylehčenou konstrukci s velkými dutinami, kvůli malé hmotnosti a malému setrvačnému momentu. Povrch rotoru je osazen lamelovými (segmentovými) permanentními magnety ze slitiny kobaltu a samaria. Samarium je prvek ze skupiny vzácných zemin. Magnety ve tvaru lamel síly 2 až 3 mm jsou nalepeny na svazku rotorových plechů a na koncích fixovány pásky ze skelné tkaniny. Statorové vinutí je uloženo v drážkách, které jsou sešikmeny (oproti podélnému směru) z důvodu rovnoměrného otáčení i při pomalých otáčkách, protože tyto motory jsou napájeny obdélníkovým (nikoliv sinusovým) proudem střídavého měniče s pulsní šířkovou modulací pro šíření točivého momentu a tím i výkonu. **Otáčky jsou řízeny kmitočtem.**

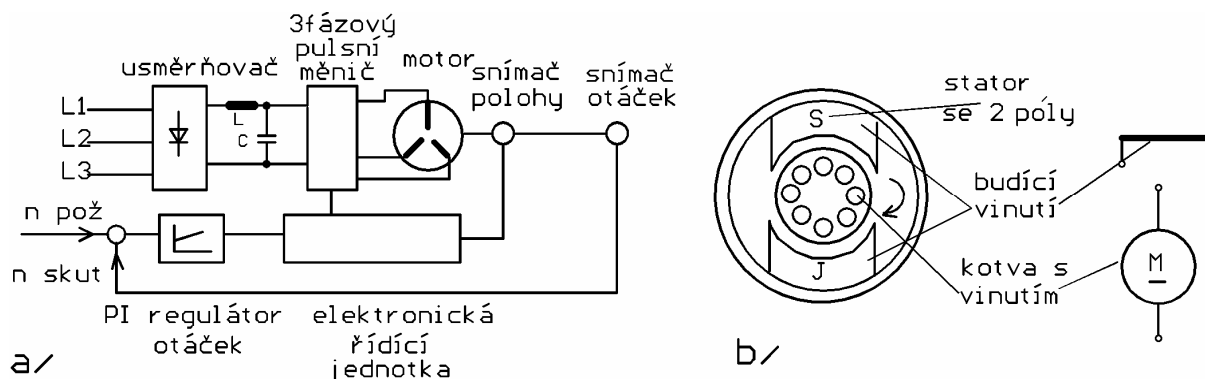
### Řízení trojfázového synchronního servomotoru

Trojfázové synchronní servomotory jsou většinou napájené z **trojfázové sítě 50 Hz přes měnič kmitočtu** se stejnosměrným proudovým mezistupněm. **Kmitočet** pulsního střídavého proudu **určuje otáčky a šířka impulsů výkon motoru**. **Snímač polohy rotoru** předává informace **elektronickému řídicímu systému**. Ten na základě úhlu  $\alpha$  mezi vektorem magnetického toku točivého pole statoru a vektorem magnetického toku pole kotvy **řídí úhel otevření spínacích tranzistorů** a tím **šířku impulsů** a tím velikost magnetického toku kotvy, tedy **výkon motoru v závislosti na zatěžovacím momentu**. (Zatěžovací moment mění úhel  $\alpha$ ). Mluvíme zde proto o vektorové regulaci (úhlu mezi vektory).

**Snímač otáček** (tachosnímač) předává informace do **PI-regulátoru** (proporcionálně integrální regulátor, viz dále kapitola regulátory), který **optimalizuje regulaci** celého systému tak, aby řídicí systém **reagoval rychle a nekmital**. I při skokových povelích měnicích požadované otáčky  $n_{pož}$  (řídicí veličinu regulátoru) mění řídicí systém otáčky pole jen tak rychle, aby stačila kotva tyto změny sledovat, tj. aby úhel  $\alpha$  nepřekročil polovinu úhlové rozteče mezi póly a kotva se neutrhla ze závěsu za točivým polem. Tato regulace dává motoru vlastnosti shodné s vlastnostmi stejnosměrného motoru, ve kterém se vektor magnetického toku kotvy odchyluje v závislosti na zatížení od pevného (nerotujícího) vektoru magnetického toku statoru. V trojfázovém motoru s točivým polem sice oba vektory (fázory) rotují, ale princip regulace jejich odchylky je stejný.

### Vlastnosti trojfázových servomotorů

Při odpovídajícím provedení napájecího kmitočtového měniče je možné servomotory provozovat v obou směrech v motorovém i v brzděném (generátorovém režimu) v širokém rozpětí otáček, většinou od  $-5000 \text{ min}^{-1}$  do  $+5000 \text{ min}^{-1}$  a je možné je zatěžovat jmenovitým momentem v celém jmenovitém rozpětí otáček. Při rozběhu nebo zastavování může motor pracovat s trojnásobkem až pětinasobkem jmenovitého momentu  $M_n$ , což je spojeno s krátkodobým (impulsním) proudovým přetížením. Zde mluvíme o impulsním momentu. Ve statorovém vinutí je **teplotní čidlo** obsahující pozitistor (PTC, Positive Temperature Coefficient = termistor s kladným teplotním součinitelem odporu), které **hlídá teplotu vinutí**. Motory mají vlastní chlazení a zapouzdření se stupněm krytí IP 65 chránícím proti nasávanému prachu a tryskající vodě. Servomotory jsou často konstruovány pro **vyšší napětí 600 V**, což umožňuje při daném výkonu pracovat s menšími proudy v síťovém transformátoru napětíového měniče, v jeho stejnosměrném mezistupni i v samotném motoru. **Menší proudy znamenají menší průřezy vodičů, menší rozměry a menší hmotnost a také menší setrvačné momenty**. Kmitočtově řízené asynchronní trojfázové motory jsou používány převážně pro pohon hlavního vřetena obráběcích strojů.



Obrázek 2.7 a/ vektorová regulace otáček trojfázového synchronního servomotoru  
b/ stejnosměrný 2pólový motor a jeho schématická značka

## 2. 5. 2 Jednofázový motor na střídavý proud

Tyto motory se používají v malých síťových spotřebičích v domácnostech a v přenosném ručním nářadí (výkon jednotek až stovek wattů), kde třífázové napětí není snadno dostupné. Oproti třífázovým motorům je u nich **horší poměr výkonu ku hmotnosti** a velikosti.

**Konstrukce** těchto motorů **připomíná stejnosměrné motory**. Vinutí statoru a rotoru může být zapojeno sériově nebo paralelně. Pro **velký rozběhový moment** se dává přednost **sériovému zapojení statoru a rotoru**.

## 2. 5. 3 Stejnosměrné motory

Stejnosměrné motory mají **stabilní budící pole** (na rozdíl od točivého pole) vytvářené buď **elektromagnety, nebo permanentními magnety na pólových nástavcích statoru**. Kotva (rotor) má vinutí uložené většinou v drážkách bloku rotorových plechů. Konce vinutí jsou vyvedeny na lamely komutátoru (měnič, přepínač) ležící proti sobě na válcovém povrchu kolektoru (sběrače, který spojuje konce vinutí). Smyčky **vinutí kotvy** jsou **napájeny přes lamely z přítlačných uhlíkových kartáčů** vždy v krátkém okamžiku, když se vodiče smyčky pohybují kolmo k indukčním čarám budícího magnetického pole statoru a silový účinek procházejícího proudu je maximální. Touto mechanickou komutací (přepínáním) stejnosměrného napájení jednotlivých vinutí (smyček) rotoru je udržován **stabilní točivý moment** způsobovaný postupně **jednotlivými vinutími rotoru**.

Podle způsobu buzení rozlišujeme mezi stejnosměrnými motory derivační motory s paralelním buzením, motory s cizím buzením, motory s buzením permanentními magnety, motory se sériovým buzením a kompaundní motory se sériově paralelním buzením.

**Derivační motory (vinutí rotoru je zapojeno paralelně k vinutí statoru)** se vyznačují téměř **konstantními otáčkami** při různých točivých momentech (obr.2.8a)

**Motory se sériovým buzením (vinutí rotoru je zapojené sériově s vinutím statoru)** mají ze všech stejnosměrných motorů **největší rozběhový moment**. Používají se jako pohony v dopravních prostředcích a elektrických lokomotivách (obr.2.8b).

**Motory s cizím buzením** je možné dobře **řídít proudem kotvy ve velkém rozpětí otáček**, protože momentové charakteristiky jsou lineární a otáčky jsou přímo úměrné napájecímu napětí kotvy motoru. Při konstantním napětí  $U_M$  na kotvě klesá točivý moment úměrně s otáčkami. Proud kotvy  $I$  je úměrný točivému momentu  $M$ . Lineární charakteristiky zaručují dobré regulační vlastnosti i při jednoduché regulaci.

Vlastnosti **kompaundní motorů** (vinutí rotoru je rozdělené, část je zapojena do série s vinutím statoru, část k němu paralelně) jsou něco mezi derivačním a sériovým motorem

**Motory s permanentními magnety** mají jednodušší konstrukci, odpadá zde vinutí kotvy – rotoru, které je nahrazeno permanentním magnetem.

U neregulovaných pohonů mohou být otáčky řízeny změnou napájecího napětí až v poměru 1:100. Pomocí regulátoru mohou být nastaveny libovolně póláním napájení kotvy nebo statoru. Sériové buzené motory jsou provozovány ve spojení s tyristorovými nebo tranzistorovými regulátory otáček. Neřízený motor se sériovým buzením se při běhu naprázdno přetočí a otáčky jsou velmi závislé na zatížení.

Důležitou charakteristikou motoru je kromě momentových charakteristik **dynamické chování**, tj. **rychlost reakce na změnu řídicí veličiny**, např. napětí.

Při skokové změně napětí na motoru se nezmění otáčky skokově, ale **podle exponenciální funkce** (stejný průběh jako při nabíjení kondenzátoru).

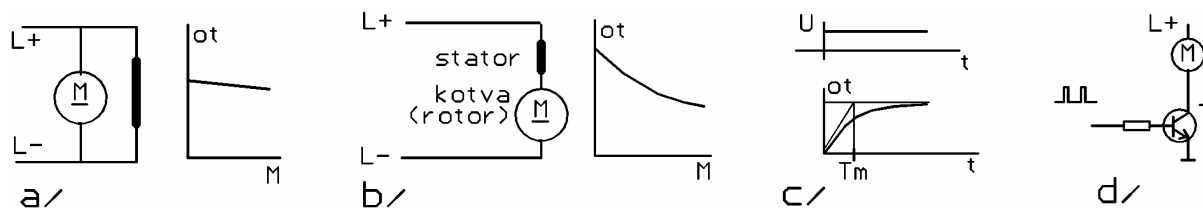
**Mechanická časová konstanta**  $T_m$  (obdoba časové konstanty RC) bývá u rychle reagujících servomotorů s výkony kolem 2 kW v rozpětí od **4 ms do 40 ms**. U zvláště rychle reagujících servomotorů se štíhlým rotorem nebo s diskovým rotorem ovlivní rychlost reakce moment setrvačnosti poháněného stroje. Momentové motory s velkým momentem a masivnější kotvou jsou konstruovány pro větší zátěže (s větším momentem setrvačnosti J).

Malého momentu setrvačnosti kotvy a tím malé časové konstanty  $T_m$  a rychlé reakce je možné dosáhnout malým průměrem rotoru (moment setrvačnosti narůstá s druhou mocninou nebo velmi malou hmotností u diskového rotoru (obr.2.8 c)

### Řízení otáček k stejnosměrných motorů

Otáčky stejnosměrných motorů lze řídit změnami napětí  $U_M$  na kotvě motoru. K takovému řízení je potřeba říditelný zdroj stejnosměrného napětí s potřebným výkonem. Řízené zdroje větších výkonů používají k řízení proudu tyristory nebo spínací tranzistory. Nejjednodušší způsob řízení výkonu a otáček motoru je pomocí **pulsní šířkové modulace**. Tranzistor je řízen **obdélníkovým signálem s proměnou střídou**. Kmitočet obvykle volíme v nadakustickém pásmu (nad 20 kHz), aby nebylo slyšet nepříjemné pískání (viz obr.2.8 d).

Motor je možné provozovat v motorovém režimu pohon nebo v **generátorovém režimu jako brzdu**, tj. s kladným nebo záporným točivým momentem a v obou těchto režimech při otáčení doprava nebo doleva. Pokud motor pracuje jako brzda, indukují se na něm napětí, které svými účinky působí proti změně, která jej vyvolala (Lencovo pravidlo, elektromagnetická indukce). Pokud vývody motoru zkratujeme, budou brzděné účinky maximální. Nebo můžeme brzdňou energii motoru využít jinak (např. tramvaj při brzdění dodává energii zpátky do sítě).



Obrázek 2.8

a/ derivační motor

b/ sériový motor

c/ rozběh stejnosměrného motoru

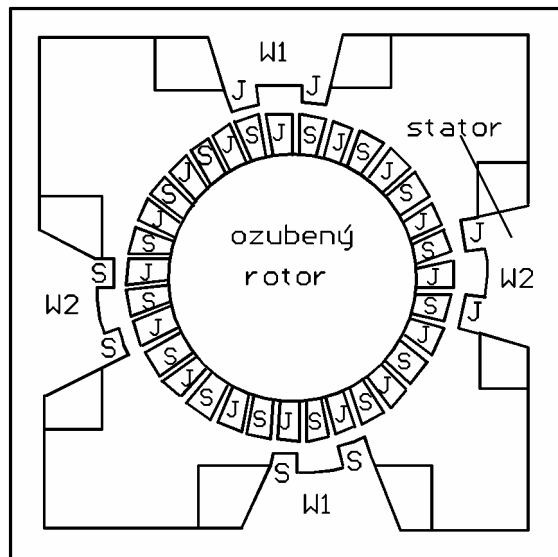
d/ řízení otáček stejnosměrného motoru

Podobně jako třífázové synchronní motory s elektronickou komutací existují i stejnosměrné motorky (například u malých ventilátorů v PC), u kterých se točivé magnetické pole vytváří pomocí elektronických obvodů. Stator tvoří např. 4 cívky umístěné na kružnici. Rotor nemá žádné vinutí, tvoří jej kovová hřídelka. Působením proměnného magnetického pole se v něm indukují vířivé proudy a vzniká pohyb. Výhodou je jednoduchá konstrukce.

### 2. 5. 4 Krokové motory (servomotory)

U krokového motoru se rotor s hnací hřídelí pootočí o určitý úhel. Rotor krokového motoru tvoří ozubené kolo z trvalých magnetů, střídají se zuby se severním a jižním pólem. Ve statoru nacházejí dvě budící vinutí  $W_1$  a  $W_2$ . Tvoří dva páry pólů statoru. Rotor se nastaví tak, aby proti severnímu pólu statoru byl jižní pól rotoru. Při přepólování proudu ve vinutí  $W_1$  se změnila polarita ve svislém páru

pólů, v horizontálně ležícím páru zůstane zachována. Rotor se otočí o polovinu rozteče. Potom dojde k přepólování proudu ve vinutí  $W_2$ , změní se polarita v horizontálním páru pólů a rotor se otočí o další rozteč. Odpovídajícím pólováním vinutí statoru  $W_1$  a  $W_2$  se nastavuje směr otáčení. Je-li motor bez proudu, zůstává rotor na základě silového působení magnetického pole ve své poslední poloze. Impulzy pro řízení krokových vytvářejí speciální integrované obvody.



Obrázek 2.9 Krokový motor.

## Automatizace 2

Ing. Jiří Vlček

*Soubory At1 až At4 budou od příštího vydání (podzim 2008) součástí publikace Moderní elektronika. Slouží pro výuku předmětu automatizace na SPŠE.*

### 3. Pneumatické řízení

Technická disciplína s názvem **pneumatika** je technika používání **stlačeného vzduchu**. Většinou je využíváno **přetlaku**, někdy též podtlaku. Pneumatické řízení se skládá z řídicí jednotky a výkonové jednotky.

Oblasti použití stlačeného vzduchu:

- točivé pohony (pneumatické motory) pro šroubování, vrtání a broušení,
- lineární pohony (tlakové válce) pro přísun, upnutí, přesun a odsunutí předmětu,
- vibrační pohony např. pneumatických kladiv a sbíječek pro vysekávání, rozbíjení, udusávání zeminy, lisování a nýtování,
- tryskové vyfukování např. člunku v textilních strojích nebo pilin při čištění obrobků,
- povrchová úprava výrobků pískováním a stříkáním barev,
- pneumatické měřicí a zkušební přístroje pro měření délky,
- doprava sypkých materiálů např. potrubím.

#### **Vlastnosti pneumatických pohonů**

Nejdůležitějšími vlastnostmi stlačeného vzduchu a pneumatických mechanismů jsou:

- Stlačený vzduch lze **dopravovat vedením a uchovávat v zásobnících**.
- Pojízdne kompresory jsou mobilními zdroji energie stlačeného vzduchu.
- Stlačený vzduch není citlivý na kolísání teploty a může být bez nebezpečí používán v prostorách se zvýšeným požárním nebezpečím a s nebezpečím výbuchu.
- Rychlost pístů v pneumatických válcích dosahuje až 3 m/s.
- Pneumatické motory dosahují otáček až 30 000 min<sup>-1</sup> a malé turbíny až 450 000 min<sup>-1</sup>.
- Náradí i přípravky, např. pneumatické upínače mohou být stále zatíženy, jsou odolné proti přetížení (nezničí se při zablokování pohybu) a mají velkou počáteční sílu nebo moment síly.
- Pneumatické pohony mají vzhledem k výkonu **malou hmotnost, jsou robustní a lehce opravitelné**.

**V řídicí jednotce** jsou přijímány a zpracovány řídicí signály. Ve **výkonové jednotce jsou zesílenými řídicími signály nastavovány nastavovací členy** (válce, motor), které pohybují částmi pracovních strojů. Možnosti používání stlačeného vzduchu k řízení jsou vzhledem k potřebné přesnosti omezeny stlačitelností vzduchu a omezením použitelného tlaku.

Pneumatické pohony mají tyto **nevýhody**:

- Kompresory a vypouštěcí ventily stlačeného vzduchu jsou velmi **hlučné**.
- Velké **ztráty netěsnostmi** prodražují náklady.
- **Olejová mlha** ve vypouštěném vzduchu zatěžuje okolí pracoviště.
- Nelze dosáhnout velkých sil na pístech pneumatických válců (ve srovnání s hydraulickými válci), protože je možné používat tlak do 10 barů (1 Mpa).
- Dynamika pohybu pohonů je velmi závislá na zatížení.
- Není možné dosáhnout rovnoměrného pomalého přímého nebo rotačního pohybu poháněného mechanismu.

#### **Konstrukce pneumatického zařízení**

Pneumatické zařízení zahrnuje **výrobu a úpravu stlačeného vzduchu, rozvod stlačeného vzduchu, pneumatické pohony a pneumatické ovladače**.

### 3. 1 Výroba stlačeného vzduchu - kompresory

Kompresory **stlačují** nasávaný atmosférický **vzduch** na požadovaný tlak. **Sací filtr** oddělí prach a jiná pevná tělesa z nasávaného vzduchu. Podle způsobu stlačování vzduchu rozlišujeme objemový (statický) princip a proudový (dynamický) princip.

**Objemový kompresor zmenšuje objem daného množství vzduchu a tím zvětšuje jeho tlak.** Objem je zmenšován v tvarově proměnném prostoru.

**Pístové kompresory** jsou pro tlaky do 10 bar **jednostupňové** a používají se pro výkony do 100 m<sup>3</sup>/h nasávaného vzduchu.

Objemový výkon kompresoru je udáván vždy pro objem nasávaného vzduchu za běžného atmosférického tlaku.

Pro výrobu stlačeného vzduchu s tlakem 7 až 10 bar se většinou používají **dvoustupňové** pístové kompresory s **chlazením** mezi prvními a druhým stupněm komprese. Vzduch je přitom **po prvním stupni stlačení ochlazován** pokud možno na okolní teplotu atmosférického vzduchu a pak je **stlačován ve druhém stupni** kompresoru. Objem vzduchu se zmenšuje pohybem pístu ve válci.

**Membránové kompresory** stlačují vzduch pohybem pružné membrány a na rozdíl od pístových kompresorů **nemusí být mazány**, proto mohou být používány v potravinářském průmyslu. Dosahují tlaku do 10 bar, dodávají stlačený vzduch bez olejové mlhy a jsou nenáročné na údržbu.

Kompresory s **rotačními písty** pracují tiše a pro tlak nad 7 barů jsou konstruovány jako dvoustupňové s chladicím mezistupněm. Při vstřikování oleje, který zlepšuje těsnost, je možné s jednostupňovým komorovým rotačním kompresorem nebo šroubovým kompresorem dosáhnout tlaku přes 10 bar. Olej slouží kromě utěsnění i k mazání a chlazení kompresoru.

Rotační komorové a šroubové kompresory pracují většinou trvale a pokrývají základní potřebu stlačeného vzduchu. Při špičkovém krátkodobém odběru je doplňkově zapínán ještě pístový kompresor.

**Šroubové kompresory** se skládají ze dvou do sebe zapadajících šroubových válců. Šrouby do sebe zapadají a přitom posunutí vzduch podél stěn skříňe, ke kterým těsně přiléhají, od sacího přívodu k výfuku.

**Vícekomorové rotační kompresory** nasávají vzduch přes **filtr** a **zpětnou uzavírací klapku**. Během stlačování je do vzduchu vstřikován olej pro mazání, těsnění a chlazení kompresoru. Stlačený vzduch se shromažďuje v zásobníku, který je společný i pro olej. Před vyvedením vzduchu do rozvodů je vzduch v olejovém filtru zbaven oleje a pak veden přes přetlakový zpětný ventil. Mezi zásobníkem a rozprašovací tryskou prochází olej chladičem a čistícím filtrem.

Proudové nebo též turbínové kompresory nasávají pomocí lopatkového kola nebo vrtule atmosférický vzduch, který uvádějí do rychlého pohybu. Pohybová energie pohybujícího se vzduchu se pak mění v potenciální energii stlačeného vzduchu v tlakovém zásobníku.

#### Regulace kompresorů.

**U malých kompresorů** je běžná **dvoupolohová regulace přerušující provoz** kompresoru. Při dosažení maximálního přípustného tlaku v zásobníku je např. vypnut elektromotor pohánějící kompresor. Při poklesu tlaku (o 0,2 až 0,4 bar) pod dolní provozní tlak je kompresor uveden opět do činnosti. Pro hospodárny provoz by nemělo být přerušování příliš časté, např. u elektromotoru méně než 20krát za minutu.

**Větší kompresory běží** kvůli velkým setrvačným hmotám **nepřetržitě** a střídají provoz naprázdno, při kterém nedoplňují při dostatečném tlaku zásobník. Při provozu naprázdno může být sací ventil uzavřen nebo vypouštěcí ventil otevřen do ovzduší. Při zpožděné dvoupolohové regulaci může být po nastavené době běhu naprázdno kompresor zastaven.

#### Využití ztrátového tepla.

Protože při stlačování získává vzduch kromě potenciální tlakové energie i energii tepelnou (adiabatická reakce), je třeba toto teplo odvádět pomocí chladicích mezistupňů i pomocí chladiče stlačeného vzduchu. Přes 90 % této energie bývá využito jako **teplo při vytápění**.

**Kondenzační voda** v chladiči překročí většinou relativní vlhkost vzduchu 100 %, tj. dostane se v diagramu absolutní vlhkosti nad křivku nasycení. (Při větším tlaku a stejné teplotě se pára mění ve vodu, při vyšším tlaku roste bod varu kapaliny – viz Papénův hrnec). **Voda** kondenzující na chladných stěnách chladiče **musí být odvedena**. Vlhkost obsažená ve stlačeném vzduchu představuje pro pneumatické pohony velkého **nebezpečí koroze**.

### 3. 2 Zásobník stlačeného vzduchu

- Zásobník uchovává zásobu stlačeného vzduchu, která zaručuje **plynulou dodávku i při kolísavém či nárazovém odběru**.
- Vyzařováním tepla pláštěm zásobníku se stlačený vzduch **ochlazuje**.
- Teplota klesne pod rosný bod, tj. nasycení vodní parou překročí 100 % relativní vlhkosti a **kondenzační voda** steče po chladných stěnách na dno zásobníku, odkud je odváděna.

Velikost (objem) zásobníku je volen podle průměrné spotřeby a režimu (rovnoměrnosti) odběru stlačeného vzduchu. Objem by však měl být v každém případě větší než 10 % minutové dodávky kompresoru.

Zásobník stlačeného vzduchu je opatřen **přetlakovým** bezpečnostním **ventilem**.

Vysoušeč stlačeného vzduchu (dle ČSN ISO 1219-1: sušička vzduchu), v tlakovém zásobníku i v rozvodech je stlačený vzduch nasycen vodou na 100 % (relativní vlhkosti) a voda kondenzující při každém poklesu teploty vymývá mazivo z mechanismů pneumatických pohonů, což vede k většímu tření a opotřeбенí, a způsobuje korozi. Nové pneumatické systémy jsou proto vybavovány sušičkami vzduchu.

Vysoušeče jsou založeny na podchlazení vzduchu, absorpci (pohlčení) vody a adsorpci (zachycení na povrchu) oleje.

### 3. 3 Rozvod stlačeného vzduchu

Stlačený vzduch je rozváděn od kompresorové stanice na místa spotřeby sítí **trubek a tlakových hadic**. Používají se především trubky ocelové bezešvé, měděná a PVC. Hlavní rozvod je zpravidla kruhový. **Ztráty tlaku** v rozvodech (trubkách, obloucích a armaturách) by neměly při provozním tlaku 8 barů přesáhnout 0,1 baru.

Vnitřní **průměr trubek** hlavního rozvodu stlačeného vzduchu závisí na **procházejícím minutovém objemu, odporu proudění v rozvodech, délce vedení, provozním tlaku a přípustném poklesu tlaku**. Je možné jej určit z nomogramů v odborné literatuře.

Odpor jednotlivých armatur se zohledňuje **převodem na přímé vedení s ekvivalentním aerodynamickým odporem**.

Hlavní (kruhový) rozvod stlačeného vzduchu by měl mít ve směru proudění vzduchu **spád** alespoň 1 % a v nejnižším místě pak **výpustný ventil** na vypouštění shromážděné **kondenzační vody**.

Kvůli stékající kondenzační vodě musí být odbočky připojeny k trubce hlavního rozvodu na její horní straně.

**Netěsnosti** v rozvodu stlačeného vzduchu způsobují velké **ztráty energie**. Rozvodná síť stlačeného vzduchu musí být proto pravidelně kontrolována a netěsnosti musí být odstraňovány.

#### Úpravy stlačeného vzduchu

**Drobné částičky** zkorodovaného povrchu kovových trubek a armatur, unášené proudem stlačeného vzduchu, mohou narušit funkci pneumatických motorů i řídicích a regulačních jednotek. Proto musí být zachycovány **filtry**. Tlak vzduchu musí být udržován (regulován) v požadovaných mezích a při potřebě **mazání poháněných jednotek** musí být stlačený vzduch sycen **olejovou mlhou**.

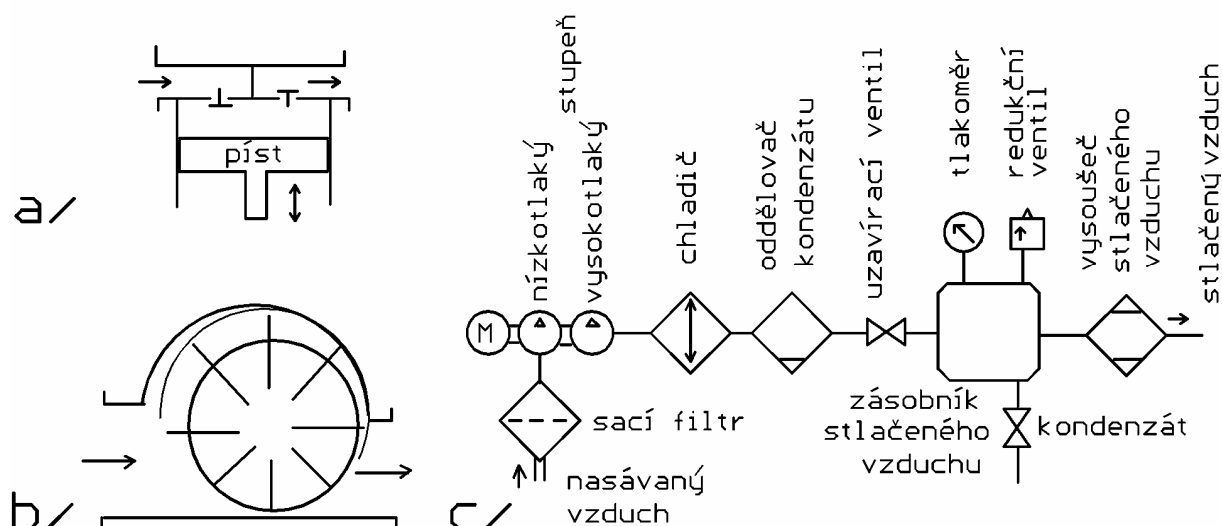
Jednotka úpravy stlačeného vzduchu většinou obsahuje **vzduchový filtr, regulační tlakový ventil a olejovač** (rozprašovač oleje).

Do válcového vzduchového filtru vstupuje stlačený vzduch bočním vstupním otvorem a **víří v jeho vnitřním prostoru**. **Větší nečistoty**, jako částičky rzi nebo kapičky vody a oleje jsou při víření vzduchu vrženy a mohou být **vypouštěny výpustným ventilem** ve dně nádoby filtru. **Jemnější nečistoty** ulpí (v závislosti na jemnosti otvorů) na stěnách **válcové filtrační vložky** tvořené

bronzovým, mosazným nebo ocelovým **sítem**, nebo při větších nárocích na jemnost filtru spékáním kovovým, plastovým nebo keramickým materiálem.

Úlohou **regulačního tlakového ventilu** je **udržování** provozního **tlaku** v rozvodech v požadovaných mezích. Regulace se uskutečňuje pomocí **dvoupístového** (dvoutalířového) **ventilu**. Na větší píst působí provozní tlak vzduchu a proti němu stavitelná pružina z druhé stany pístu. Poklesne-li provozní tlak pod nastavenou hodnotu, stlačí pružina níže větší a tím i menší píst, který otevře více otvorů pro vzduch s vyšším neregulovaným tlakem. Dosáhne-li provozní tlak nastavené hodnoty, přepouštěcí otvor se opět uzavře. Jednotka úpravy vzduchu má na vstupu ruční uzavírací otočný ventil, kterým může být přívod vzduchu uzavřen. Jednotka je dále vybavena **ručním odvzdušňovacím ventilem**, který je možné při výpadku energie pomalu odvzdušnit (snížit tlak) pneumatický systém a zabránit případnému prudkému snížení tlaku v systému.

**Olejovač**, nebo též rozprašovač oleje, sytí stlačený vzduch mazivem. Rozprašovač využívá principu Venturiho trubice, v jejímž **zúženém místě proudí vzduch rychleji**, má menší statický a větší dynamický tlak (podle Bernoulliho rovnice). Menší statický tlak na stěny je relativní **podtlak**, který **nasává z boční trysky olej**, který se pak rozprašuje (jako benzín v karburátoru). Kuželovou **škrticí jehlou** lze pomocí šroubu (pod krytkou) **nastavit průtok** oleje trubičkou trysky.



Obrázek 3.0  
a/ pístový kompresor    b/ vícekomorový rotační kompresor    c/ výroba stlačeného vzduchu

### 3. 4 Pneumatické pohony

Pneumatické pohony **mění energii stlačeného vzduchu v mechanickou energii**. Rozlišují se nepřetržitě pracující pohony s **točivým** pohybem (pneumatické motory) a kmitavé pohony s vymezeným pracovním pohybem **kyvným** (vahadlový motor) nebo **přímým** (pneumatické válce).

**Pneumatické motory** jsou pro **malou hmotnost** vzhledem k výkonu a **snadnou obsluhu** používány jako pohony pro různé druhy nářadí a zdvihací mechanismy.

U pneumatických motorů je možné **snižováním** provozního **tlaku** a snižováním minutového **objemu** stlačeného vzduchu stupňovitě **přestavovat výkon, otáčky a točivý moment**.

Pneumatické motory mají velký rozběhový moment, jsou přetížitelné, bezpečné v prostředí s nebezpečím exploze, robustní a nenáročné na údržbu a opravy. Směr otáčení lze rychle a jednoduše měnit. Otáčky jsou však velmi závislé na zatížení motoru. Nejčastěji používané pneumatické motory jsou **pístové** motory, **lamelové** motory a **turbínové** motory.

**Pneumatický válec** mění energii stlačeného vzduchu na posuvný pohyb a dělí se na **jednočinné** válce s **pohonem v jednom směru** a **dvočinné** válce s pneumatickým **pohonem v obou směrech**.

Lineární pohony pomocí pneumatických válců se používají k přemístování, zvedání nebo podávání polotovarů, výrobků nebo nástrojů (pomocí posuvných válců) nebo k sevření či rozevření upínačů pomocí napínacích či otevíracích válců.

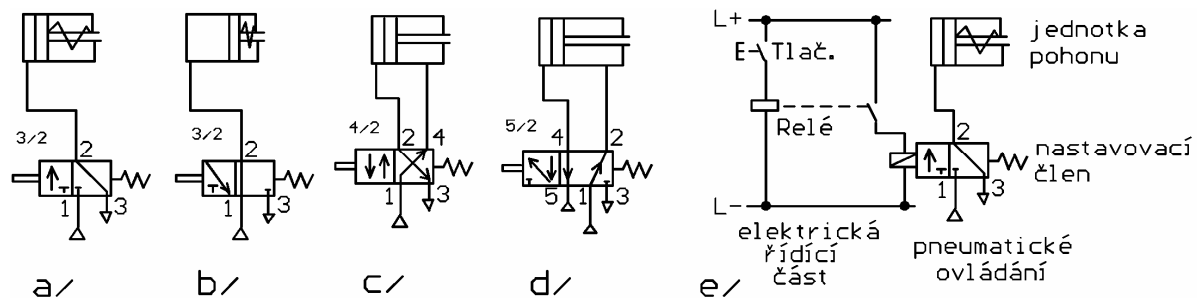
**Jednočinné** pneumatické válce jsou konstruovány buď jako **membránové**, nebo jako **pístové**. Tlak vzduchu může působit jen na jednu stranu membrány nebo pístu, proto může být **práce konána** je při **jednom směru pohybu**, např. při upínání, přisunu, odsunu nebo lisování.

U membránového válce je tlakem vzduchu prohýbána membrána. Průhyb membrány se přenáší na lineární pohyb pístnice. **Zpětný pohyb** zajišťuje buď napružení membrány, vnější síla nebo **vratná pružina**. Výška zdvihu rovných membrán bývá do 40 mm a u vlnitých membrán až 80 mm.

Ve **dvočinném** pneumatickém válci **působí stlačený vzduch střídavě na opačné strany pístu**. Pracovní pohyb je možný v **obou směrech**.

Dvočinné válce mají oproti jednočinným válcům několik podstatných předností: dosahují zdvihu až 2 m, pracovní pohyb není ovlivňován vratnou pružinou a zpětný chod je rychlý a rovnoměrný. Kromě toho je možné nastavit rychlosti pohybu pístu v obou směrech. Rozsah pohybu se většinou vymezuje **zarážkami pístu** ve válci. Škody vznikající opotřebením prudkými nárazy do zarážek je možné omezit např. pomocí pružných podložek tlumících nárazy.

Nastavitelné **tlumení** umožňuje měkké zastavení v koncových polohách.



Obrázek 3.1

a/ 3/2cestný ventil v klidu uzavřený (jednočinný válec)

b/ 3/2cestný ventil v klidu otevřený (jednočinný válec)

c, d/ řízení dvočinného válce

e/ elektropneumatické řízení

### 3.5 Ventily a základní principy řízení

Ventily **řídí rozběh** (start), **zastavení** (stop), **směr proudění** i **tlak** a procházející **množství** tlakového média.

**Cestné ventily** mění cesty tlakového média propojováním dílčích cest a přitom mění rychlost proudění média v těchto cestách.

Ve zkráceném označování ventilů je uváděn počet řízených (propojovaných) přívodů (cest) a počet poloh ventilu např. cestný ventil se 3 ovládanými vývody (pro tlakové médium) a 2 polohami (stavy) se označuje jako 3/2- cestný ventil a nazývá se třícestný dvoupolohový ventil.

Má-li pneumatický cestný ventil více odvzdušňovacích vývodů, mohou být všechny odpovídající vývody označeny jako jediný vývod jediným číslem.

Rozdělení cestných ventilů podle funkce

**2/2-cestné ventily** jsou používány jako **průchozí ventily**, **uzavírací ventily** a jako odvzdušňovací spouštěče impulsu. **3/2-cestné ventily** mohou ve 2 polohách střídavě plnit a odvzdušňovat provozní vedení.

Pomocí **3/2-cestných ventilů** jsou **řízeny jednočinné válce** a zdroje impulsů.

Je-li ventil při činnosti déle ve stavu klidovém než v aktivovaném, používá se 3/2-cestný ventil s aretací v klidové poloze. Je-li doba klidu mnohem kratší než doba aktivovaného stavu, používá se ventil, který je v klidovém stavu průchozí.

Pomocí **4/2**-cestných ventilů a **5/2**-cestných ventilů jsou **řízeny dvojčinné válce**.

Při použití **5/2**-cestných ventilů má každý z obou pracovních vývodů vlastní odvodušňovací vývod. Pomocí **4/3**-cestného, případně **5/2**-cestného ventilu je možné udržovat dvojčinný válec pod tlakem nebo bez tlaku v libovolné mezipoloze mezi krajními polohami, ve které je možné válec pneumaticky aretovat nebo jej udržovat v plovoucí poloze bez aretace. Ve stavu plovoucí polohy může být válec např. při seřizovacích pracích ručně přestavován.

Pomocí **šoupátkového ventilu** je možné řídit malou silou velké průtoky tlakového média.

### **Průtokové ventily**

Průtokové ventily **změnami průtočného průřezu řídí** (mění) **průtok vzduchu** (nebo kapaliny) pro pohon válců nebo motoru (redukce pracovního tlaku) nebo při řízeném odvodušňování (omezení rychlosti poklesu tlaku). tím je možné řídit rychlosti válců nebo otáčky motorů.

Průtokové ventily se dělí na **škrticí ventily** (s dlouhým zúženým vedením) a **clonové ventily** (s velmi krátkým zúžením). Zúžení může být neměnné nebo s nastavitelným průřezem.

### **Blokovací ventily**

Blokovací ventily jsou jednosměrně uzavírající ventily, propouštějící tlakové médium jen v jednom směru a blokují (uzavírající průtok v opačném směru). Patří k nim zpětné ventily, ventily pro rychlé odvodušňování, přepínací ventily a dvoutlakové ventily.

## **3. 6 Elektropneumatické řízení**

Elektropneumatické řízení se používá k **elektrickému řízení strojů** a zařízení s **pneumatickými pohony**. Elektropneumatická jednotka spojuje např. elektrickou řídicí jednotku s pneumatickou výkonovou jednotkou.

Elektrická řídicí jednotka přijímá **elektrické signály** signálních jednotek (tlačítek, spínačů a snímačů). Signály jsou **zpracovány** (logicky, časově, výkonově) pomocí logických jednotek, časových relé a stykačů a jsou vedeny na **elektromagneticky ovládané 2/2, 3/2, 4/2 nebo 5/2-cestné ventily**, pneumatické válce a motory pohánějící mechanismy strojů a zařízení. Elektromagnetické ventily jsou ovládány buďto elektromagnetem a zpětnou pružinou nebo v obou směrech elektromagneticky. K přeměně pneumatických signálů na elektrické signály slouží **pneumaticko-elektrické (PE) měniče** nebo **tlakové spínače**. PE měnič obsahuje elektrický přepínač, jehož pohyblivý kontakt je jedním směrem ovládán přes píst stlačeným vzduchem a druhým směrem vratnou pružinou. Větší plochou membrány je možné získat větší přepínací sílu. Je-li možné u PE měniče nastavit přepínací tlak, nazývá se tlakový spínač.

## **4. Hydraulické řízení**

Do oblasti hydrauliky patří pohony, řídicí jednotky a regulační jednotky strojů, které využívají **k přenosu sil tlaků kapalin**.

Hydraulika je používána především v těžkém strojírenství, u lisů, na jeřábech a na mobilních stavebních strojích. Další důležitou oblastí použití jsou obráběcí stroje a linky používající hydraulické upínání a hydraulické mechanismy pro manipulaci s výrobky při transportu.

### **Fyzikální základy**

Přenos síly a energie se uskutečňuje v hydraulice buď **hydrostaticky kapalinou v klidu**, nebo **hydrodynamicky proudící kapalinou**.

Je-li kapalina v klidu v uzavřeném prostoru vystavena tlaku prostřednictvím např. pohyblivého pístu na který působí síla  $F$ , **šíří se tlak rovnoměrně všemi směry** (Pascalův zákon). Působí-li síla  $F_1$  na píst o ploše  $A_1$ , vzniká **hydrostatický tlak**

$$p = F_1/A_1$$

Tento tlak může držet v rovnováze mnohem větší sílu  $F_2$ , je-li zvolena odpovídající plocha pístu  $A_2$ .

Platí totiž

$$p = F_1/A_1 = F_2/A_2 \text{ nebo } F_1/F_2 = A_1/A_2$$

**Při stejném tlaku kapaliny jsou síly úměrné plochám pístů.**

Vlastnosti hydrauliky:

- prostorově malé konstrukční jednotky přenášející velké síly,
- rychle, jemně a stupňovitě přestavitelné rychlosti pohybů válců a motorů,
- jednoduché zabránění přetížení omezením tlaku,
- viskozita hydraulického oleje je závislá na teplotě,
- vznikají ztráty prosakováním,
- náchylnost ke kmitání a hlučnosti.

**Ke zvednutí zátěže** reprezentované silou  $F_2$  musí být **kapalina** pod pístem **uvedena** pod tlakem **do pohybu**. K vyvolání pohybu pístu zvedáku vytlačí píst čerpadla kapalinu objemu  $V$  potrubím do válce zvedáku a kapalina zvedne jeho píst. Stlačená kapalina vytváří ve válci zvedáku sloupec průřezu  $A$  a výšky  $l$ . Objem tohoto sloupce  $V$  prochází po dobu  $t$  potrubím s objemovým průtokem  $Q$ .

$$Q = \nabla V / \nabla t = A \cdot \nabla l / \nabla t = A \cdot v$$

Objemový průtok je  $v$  uzavřeném systému ve všech místech stejný, proto je rychlost proudění v větší v místech menších průřezů  $A$  a menší v místech většího průřezu (např. ve válci zvedáku). Platí tedy:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \text{ nebo } v_1 / v_2 = A_2 / A_1.$$

**Rychlosti pohybů válců jsou tedy v opačném poměru než jejich průřezy.**

Proudící hydraulická kapalina musí být tlačena ve směru působení síly  $F_2$  a proti odporu proudění kapaliny ve vedení a ostatních částech zařízení silou, působící na píst čerpadla. K síle překovávající hydrostatický tlak  $p_{\text{start}} = F_2 / A_2$  je třeba přidat ještě sílu překovávající hydrodynamický odpor (tření a dynamické síly uvádějící kapalinu do pohybu). Aby kapalina proudila, musí být v čerpadle stlačována tlakem  $p$ .

Tlaková diference  $p$  mezi válci vznikající jen při proudění kapaliny narůstá s druhou mocninou rychlosti proudění. Část energie potřebné pro proudění, která není využita jako pohybová energie kapaliny se mění v teplo, které ohřívá kapalinu a celé zařízení.

**Čím rychleji proudí kapalina potrubím, nebo čím menší jsou průřezy potrubí, tím větší jsou ztráty (ztrátová energie) a tím více se systém zahřívá.**

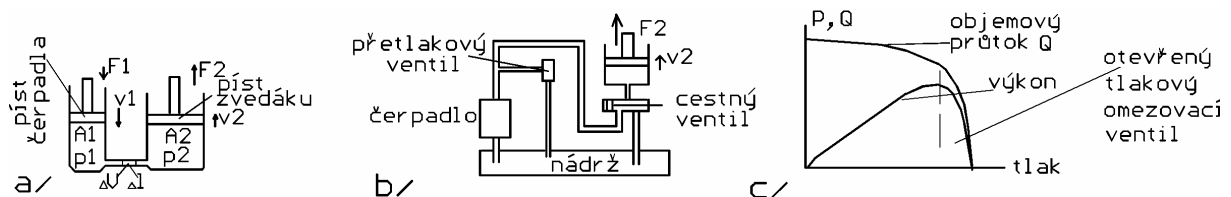
**Energie** předaná hydraulickým zařízením pístu zvedáku **je rovna součinu síly a délky pohybu** (zdvihu pístu) a odpovídá součin tlaku a zdvihového objemu.

$$W = F_2 \cdot s_2 = p_2 A_2 s_2$$

Pro výkon zvedáku pak platí:

$$P = W/t = p V/t = p Q$$

**tlak a objemový průtok určují výkon hydraulického zařízení.**



Obrázek 40 a/ šíření tlaku v kapalině

b/ vytváření a omezování tlaku kapaliny

c/ charakteristika čerpadla

### Hydraulické kapaliny

Hydraulická kapalina **přenáší síly**, zlepšuje **mazáním** vzájemný **skluz** mechanických částí, chrání kovy před **korozí**, **odvádí ztrátové teplo a odplavuje nečistoty**. Používají se většinou **minerální oleje** vyhovující svými vlastnostmi pro požadovanou aplikaci.

Požadujeme minimální stlačitelnost a rozpínavost

### Skladba hydraulických řídicích systémů

Přenos energie (spojený s přenosem signálů) začíná u **čerpadla**, které přenáší elektrickou, resp. mechanickou energii na tlakovou kapalinu stálým vytlačováním tlakové kapaliny ze sacího potrubí do tlakových rozvodů.

Tlakové **ventily**, cestné ventily a průtokové ventily **ovlivňují objemový průtok**. Energie hydraulického média je v závěru opět přeměněna v mechanickou energii v hydraulických **válcích** nebo v **hydraulických motorech**.

V různých oblastech hydraulického přenosu energie mohou přenos ovlivňovat (řídit) mechanické, elektrické, pneumatické nebo hydraulické **signály**, které mohou např. **měnit** výstupní objemový **průtok** (objemový výkon) **čerpadla** a tím **řídit rychlosti válců**. Pomocí cestných ventilů mohou být měněny cesty proudění hydraulické kapaliny nebo pomocí redukčních ventilů mohou být omezovány síly válců.

### **Hydraulické zásobníky**

Energie hydraulické kapaliny může být dočasně přeměněna na energii napnuté pružiny nebo energii zvednutého břemene a v případě potřeby předána zpět kapalině. Tímto způsobem může být energie uchována. Ve většině případů je však uchování energie dosaženo stlačením určitého objemu plynu. Jedná se o **expanzní nádobu**, která **obsahuje kapalinu i plyn**, které jsou od sebe **odděleny nepropustnou pružnou membránou**. Kapalina je prakticky nestlačitelná. I malé změny objemu způsobené kolísáním teploty by vyvolaly velké změny tlaku, které by potrubí roztrhly. Plyn je dobře stlačitelný, tyto změny objemu převede na malé změny tlaku. Expanzní nádoby se používají také v systémech ústředního topení a rozvodu pitné vody k **udržování stálého tlaku**

Hydraulické zásobníky mají tyto funkce:

- uchování energie,
- tlumení kmitů (výkyvů tlaku),
- vyrovnávání nerovnoměrného odběratelského objemového průtoku,
- doplňování ztrát únikem hydraulické kapaliny,
- uchování rezervy energie pro případ nouze.
- 

### **Jednotky hydraulických pohonů**

K hydraulickým pohonným jednotkám patří **válce, kyvné motory a hydraulické motory**. Jejich úlohou je převádět energii hydraulické kapaliny na mechanickou energii lineárních, kývavých nebo rotačních pohybů.

### **Hydraulické ventily**

Ventily přestavují cesty hydraulické kapaliny, mění objemové průtoky a tlaky kapaliny v tlakových rozvodech a tím mění směry pohonů, rychlosti i síly a moment hydraulicky poháněných válců a motorů.

**Tlakové ventily** slouží k omezení tlaku, k připojování a odpojování akčních členů, např. hydraulických válců a k udržování konstantního pracovního tlaku.

Pomocí **cestných ventilů** jsou měněny cesty a tím i směry proudění kapaliny, směry pohybů pístů ve válcích a pomocí signálů start a stop jsou nastavovány velikosti pracovních zdvihů (viz předchozí kapitola Pneumatické řízení).

**Blokovací ventily** se přestavuje tlakem proudící kapaliny a nejsou řízeny vnějšími signály. Jejich úlohou je uzavírat průtok v jednom směru. Nejdůležitějším blokovacím ventilem je **zpětný ventil**, jeho funkce je podobná funkci diody v elektrotechnice.

**Průtokové ventily** zmenšují objemový průtok tlakové kapaliny zmenšením průtočného průřezu. Tímto způsobem je možné zmenšit rychlost pohybu akčních členů. Podle konstrukce rozlišujeme škrťací ventily a clonové ventily, podobně jako u pneumatických ventilů.

**Spojité ventily** odstraňují rozjezdové a dojezdové rázy a nastavit libovolnou rychlost řízeného válce nebo motoru. Spínací hydraulika (binární hydraulické řízení) přepíná totiž skokově rychlosti pohonů a způsobuje tím rázy, které působí nepříznivě na zařízení.

Pomocí **proporcionálních ventilů** je možné ovládat **řídícím elektrickým proudem** I intenzity několika miliampérů hydraulické nebo pneumatické veličiny.

Proporcionální ventily patří ke spojitým ventilům (společně s servoventily). Pro možnost plynulého nastavování jsou proporcionální ventily používány stále častěji a **řídící elektronika** je díky integraci a miniaturizaci **montována** stále častěji přímo **na ventil**.

**Proporcionální elektromagnety** jsou ovládané stejnosměrným proudem. Mění vstupní elektrický proud na proporcionální sílu přenášenou z kotvy (pohyblivého jádra) na tyčku zdvihátka elektromagnetu.

## **5. Digitální řízení**

Při binárním řízení jsou **snímány z řízeného** procesu binární signály (zapnutí a vypnutí spotřebičů, překročení mezních hodnot), jsou **uloženy do paměti** řídicího systému, jsou **zpracovány** a na základě výsledků zpracování **vysílá** řídicí systém řídicí binární **signály**.

Zpracování binárních signálů je možné popsat pomocí **Booleovy algebry**.

Při číslicovém (digitálním) řízení mají snímané signály podobu binárně kódovaných čísel. Mezi řídicím systémem a řízeným procesem dochází k výměnám skupin binárních impulsů.

Zpracování číselných údajů je založeno na aritmetických výpočtech skládajících se z aritmetických operací, jako např. sčítání a násobení, které probíhají v aritmetických jednotkách mikroprocesorů.

### **5.1 Binární logické operace, kombinační obvody**

U **kombinačních obvodů** jsou **stavy výstupů funkcí okamžitých hodnot vstupních proměnných**.

Řídicí binární systém realizuje **logické operace mezi snímanými binárními signály**, a to **přímo** nebo **nepřímo** po **převedení signálů** na **jinou úroveň** nebo jiný typ binárních logických proměnných. Při zpracování několika málo signálů je možné vystačit s jednoduchým přímým řízením. **Při složitějším řízení** s mnoha vstupními a výstupními signály probíhá logické zpracování na úrovni logických proměnných pomocí počítačového **programu** zpracovávaného **mikroprocesorem**, programovatelným automatem nebo počítačem.

Nezávisle na tom, jaké jsou **prvotní signály** (mechanické, pneumatické, elektrické), jsou při binárním řízení zpracovávány jako **logické proměnné** pomocí **logických operací** logického součinu **AND**, logického součtu **OR**, **negace** (invertování), případně dalších operací (NAND, XOR, ...). Výpočet výstupních logických proměnných ze vstupních logických proměnných je popisován pomocí logických rovnic, které jsou upravovány s využitím pravidel Booleovy algebry.

Na výstupu dvouvstupového logického členu **AND** je logická **1** (signál odpovídající logické jedničce) tehdy a jen tehdy, jsou-li **na obou vstupech** logické **1**. Forma signálů může být **elektrická, mechanická** nebo **pneumatická**.

Vztah mezi výstupní proměnnou  $x$  a vstupními proměnnými  $a$ ,  $b$  je označován operátorem logické **konjunkce**  $x = a \wedge b$  a říkáme, že  $x$  je rovno konjunkci  $a$ ,  $b$ . Funkci můžeme realizovat např. **sériovým zapojením spínačů  $a$  a  $b$**  Pokud jsou oba sepnuty, obvodem teče proud.

Na výstupu dvouvstupového logického členu **OR** je logická **1** (signál odpovídající logické 1) tehdy, je-li **alespoň ne jednom vstupu** logická **1**. Na výstupu je logická **0** tehdy a jen tehdy, jsou-li **na obou vstupech** logické **0**. Forma signálů může být různá.

Vztah mezi výstupní proměnnou  $x$  a vstupními proměnnými  $a$ ,  $b$  je označován operátorem logické **disjunkce**  $x = a \vee b$  a říkáme, že  $x$  je rovno disjunkci  $a$ ,  $b$ . Funkci můžeme realizovat např. **paralelním zapojením spínačů  $a$  a  $b$**  Pokud je alespoň jeden (nebo oba) sepnut, obvodem teče proud.

Člen logické **negace** způsobuje **invertování** signálu. **Negací** logické **1** je logická **0** a **negací** logické **0** je logická **1**. Negace funkce jedné logické proměnné  $a$  označuje se pruhem nad proměnnou. Zápis  $x = \bar{a}$  čteme:  $x$  je negací  $a$ . Označení negovaných logických funkcí jsou tvořena písmenem  $N$ , např.  $AND = NAND$ ,  $OR = NOR$ , tj.  $a \wedge b = a \text{ NAND } b$ ,  $a \vee b = a \text{ NOR } b$ .

Realizace těchto funkcí pomocí diod a tranzistorů (DTL – diodo – tranzistorová logika) je uvedeno v kapitole Číslicová technika.

Následující tabulka udává pravdivostní tabulku funkcí OR, AND, NOR a NAND pro dvě vstupní proměnné **a** a **b**. Napište tuto tabulku také pro 3 proměnné.

a	b	OR	NOR	AND	NAND
0	0	0	1	0	1
0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	1	0

### Spojování logických funkcí

Hradla realizující logické funkce AND, OR (i jiné) mohou být vícevstupová a jednotlivé vstupy nebo výstupy mohou být opatřeny invertorem. Negace (inverze) signálu je na schématické značce označena malým kroužkem. Hradlo NAND je tedy na rozdíl od hradla AND označeno kroužkem na výstupu.

**Booleova algebra** je soubor definic a pravidel týkajících se logických proměnných a početních pravidel pro logické operace s logickými proměnnými. Smysl některých pravidel lze ilustrovat a vysvětlovat pomocí interpretací v oblasti kontaktových nebo logických obvodů, resp. jejich schémat. K nejdůležitějším pravidlům Booleovy algebry patří

**Komutativní zákony**  $a \vee b = b \vee a$   $a \wedge b = b \wedge a$ . Při operacích AND a OR můžeme zaměnit pořadí jednotlivých členů.

**Asociativní zákony**  $a \wedge b \wedge c = (a \wedge b) \wedge c$   $a \vee b \vee c = (a \vee b) \vee c$ . Operandů spojené stejným typem operace je možné sdružovat pomocí závorek.

**Distributivní zákony**  $a \wedge (b \vee c) = (a \wedge b) \vee (a \wedge c)$   $a \vee (b \wedge c) = (a \vee b) \wedge (a \vee c)$  Operaci před závorkou je možné aplikovat postupně na operandů v závorce.

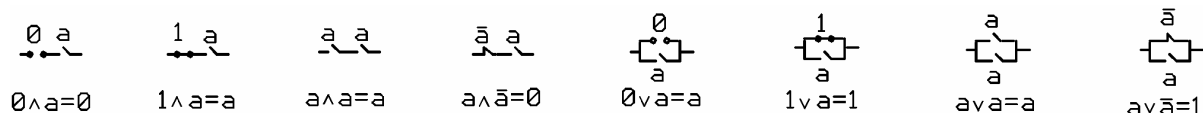
### De Morganovy zákony

Negace logického součinu (konjunkce) je rovna logickému součtu (disjunkci) negací.

$$\overline{a \cdot b} = \overline{a} + \overline{b}$$

Negace logického součtu (disjunkce) je rovna logickému součinu (konjunkci) negací.

$$\overline{a + b} = \overline{a} \cdot \overline{b}$$



Obrázek č. 50 Pravidla Booleovy algebry znázorněná pomocí spínačů

### Příklady:

V následujících úlohách sestavte logické funkce výstupu a navrhnete odpovídající logické zapojení

#### Úloha 1:

Motor pohonu vřetena má být zapnut signálem  $x = 1$ , je-li současně stisknuto spínací tlačítko (signál  $a = 1$ ), běží mazací čerpadlo ( $b = 1$ ) a pohon upínače stojí ( $c = 0$ ).

Řešení: logická funkce:  $x = a \wedge b \wedge \overline{c}$

#### Úloha 2:

Výstražné světlo má svítit ( $x = 1$ ), sepne-li přetlakový spínač tlaku oleje ( $a = 1$ ), sepne-li spínač překročení otáček vřetena ( $b = 1$ ), nebo je-li v činnosti pohon upínače ( $c = 1$ ) aniž by byla současně zapnuta spojka brzdy ( $d = 0$ ).

Řešení: logická funkce :  $x = a \vee b \vee (c \wedge \overline{d})$

#### Úloha 3

Převeďte logickou funkci  $x = (a \cdot b) \vee (c \cdot d)$  na funkci, která používá jen operaci NAND.

$\bar{x} = \overline{ab + cd} = \overline{ab} \cdot \overline{cd}$  (podle De Morganova zákona, místo znaku pro konjunci můžeme psát znak pro násobení, místo znaku pro disjunci můžeme psát +)

$$x = \bar{\bar{x}} = \text{neg}(\overline{ab} \cdot \overline{cd})$$

Řešení: viz obr. 5.1a, k realizaci vystačíme s jedním typem integrovaného obvodu (hradla NAND)

Úloha 4 :

Převeďte logickou funkci  $x = (a \cdot \bar{b}) + c$  na funkci složenou z negovaných výrazů.

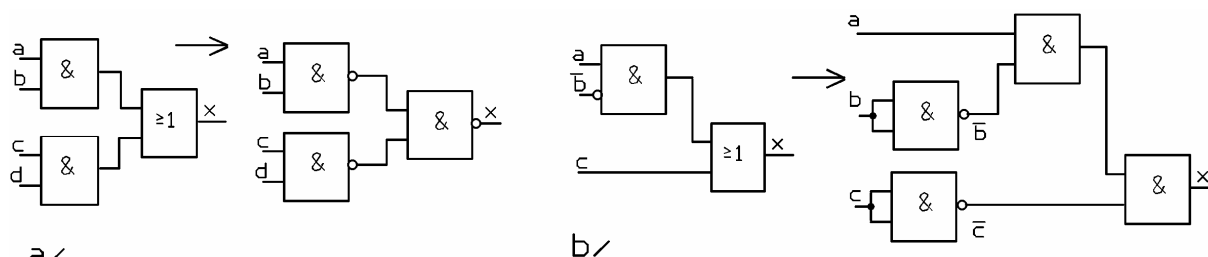
$$\bar{x} = \text{neg}((a \cdot \bar{b}) + c) = \text{neg}(a \cdot \bar{b}) \cdot \bar{c}$$

$$x = \bar{\bar{x}} = \text{neg}(\text{neg}(a \cdot \bar{b}) \cdot \bar{c})$$

Řešení: viz obr. 51b

Negace proměnných lze realizovat obvody NAND s propojenými vstupy, protože platí

$$\bar{b} = \overline{b \cdot b} \quad \bar{c} = \overline{c \cdot c}$$



a/  
Obrázek č. 5.1a, b Řešení úloh 3 a 4

Úplná **pravdivostní tabulka** obsahuje **stavy výstupů** odpovídající všem **2<sup>n</sup> variacím s opakováním n vstupních binárních proměnných**.

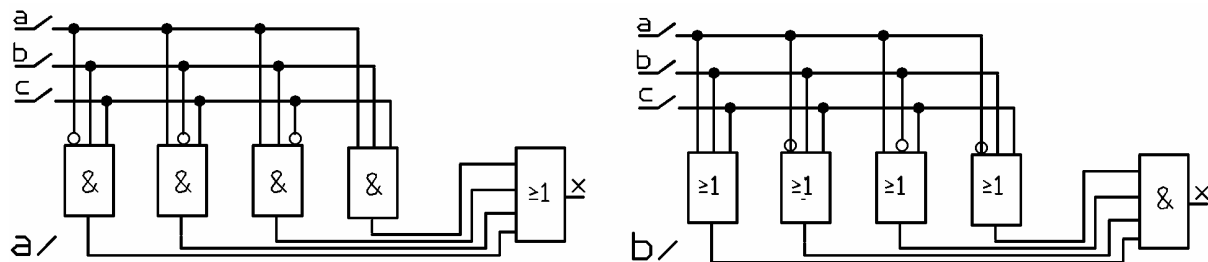
Úloha 5: Kovací lis vyžaduje obsluhu 3 lidí, minimálně však obsluhu 2 lidí. Jsou zde 3 rovnocenná obslužná místa a, b, c, obsluhovaná pomocí klíčového spínače. Aby se stroj zapnul signálem  $x = 1$ , musí být zapnuta obsluha nejméně 2 klíči nebo všemi 3 klíči. Vytvořte úplnou pravdivostní tabulku pro funkci výstupu x.

Řešení: Při třech binárních vstupních proměnných a, b, c může mít uspořádaná trojice vstupů  $2^3 = 8$  různých variací stavů. Požadovanou výstupní funkci lze realizovat pomocí 3 invertorů, čtyř 3vstupových hradel OR a jednoho 4vstupového hradla AND

**Disjunktivní** (součtová) normální forma uvádí všechny logické funkce, které mohou být řešením úlohy. Obsahuje logické součiny všech vstupních proměnných z těch řádků pravdivostní tabulky, ve kterých je výstupní proměnná  $x = 1$ .

**Konjunktivní** (součinová) normální forma je sestavena z logických funkcí, které úlohu neřeší. Negací takové funkce vznikne funkce, která úlohu řeší. Negací vznikne disjunkce výrazů, ve kterých jsou konjunktce všech vstupních funkcí nebo jejich negací.

Konjunktivní normální formě dáváme přednost před disjunktivní normální formou v případech, má-li výstupní proměnná x v pravdivostní tabulce častěji hodnotu 1 než hodnotu 0. Výstupní funkce pak obsahuje méně výrazů.



Obrázek č. 5.2 Řešení úlohy 5

a/ *disjunktivní formou (součet součinů)*

b/ *konjunktivní formou (součin součtů)*

(Pozn. Úlohu 5 by bylo možné řešit i analogově. K signálům a, b, a c by stačilo připojit stejné rezistory a spojit jejich vývody do jednoho uzlu. Při současném stisknutí 2 tlačítek by v tomto uzlu byly 2/3 napájecího napětí, při stisknutí 3 tlačítek plné napájecí napětí. Při stisknutí jednoho tlačítka bude na výstupu třetina. Nakreslete schéma obvodu, aby toto platilo – pro a, b, c = 0 musí být jejich vodiče spojeny se zemí. Navrhněte způsob vyhodnocení – s tranzistorem, s operačním zesilovačem, se Schmittovým obvodem.)

### Zjednodušování (minimalizace) logických funkcí

Logické výrazy je možné upravovat a zjednodušovat pomocí pravidel a zákonů Booleovy algebry. Při těchto úpravách však nelze zjistit, zda je upravovaný logický výraz minimalizován. K minimalizaci logických výrazů lze použít **Karnaughovy mapy** (čti Karnafovy), nebo též Karnaugh-Veitchovy diagramy.

## 5.2 Sekvenční obvody

Stav výstupů závisí nejen na stavu vstupů, ale i na vnitřním stavu obvodu. Ten obsahuje paměť, závisí tedy na sekvenci všech vstupních stavů od výchozího stavu obvodu. Např. ohýbačka začne pracovat až po vsunutí a upnutí materiálu. Signály o průchodu materiálu a o sevření spínače si musí řídicí systém zapamatovat – uložit do paměti, aby se jimi mohl dále řídit. Nejjednodušší **paměť je klopný obvod RS** (flip – flop). Tyto členy se mohou překlopit do stavu 1 nebo 0 a tento stav si zapamatovat tím, že v něm setrvají. Existují v **mechanickém, pneumatickém i elektronické** formě.

**Mechanický** klopný člen může mít podobu kolébkového dvoupólového přepínače. Signály R (reset a S(set) jsou tlaky na protilehlé konce kolébky.

**Pneumatický** klopný člen může být realizován 4/2cestným impulsovým ventilem.

**Elektrický** obvod mohou tvořit **dvě relé** se samopřidrznými kontakty obdobně jako u obr.2.4 d, e, f. Častěji se samozřejmě používají **integrovane obvody RS**.

Klopne členy **řízené taktovacími** (hodinovými) **impulsy** se nazývají **synchronní klopne členy**. Jsou-li vstupy **J** a **K** obvodu **různé**, jsou **taktovacím impulsem přeneseny na výstupy Q** a **neg. Q**.

Nezapojený vstup je většinou vyhodnocován jako vstup s úrovní 1. Jsou-li **na obou vstupech 1, mění se výstupní hodnoty s každým taktovacím impulsem**.

Z klopných obvodů můžeme sestavit **čítač**. Další informace viz kapitola Číslicová technika.

Jednodušší řídicí obvody realizujeme pomocí **pevné logiky** – propojením hradel, klopných obvodů, čítačů, posuvných registrů, atd. Při složitějším obvodu tvoří největší náklady výroba plošného spoje (dvouvrstvý nebo i čtyřvrstvý, prokovené otvory, nepájivá maska)

Složitější řídicí obvody realizujeme nejčastěji pomocí **mikroprocesoru**. Obvodové zapojení je výrazně jednodušší, řídicí funkce je uložena v **programu**, podle kterého mikroprocesor pracuje.

Mikroprocesory se podobně jako jiné integrovane obvody vyrábějí ve velkých sériích. Uživatelé si je naprogramují podle svých potřeb. Změny v programu se dělají snadněji, než úpravy na desce s plošnými spoji při použití pevné logiky. Některé mikroprocesory (s pamětí EEPROM) je možné vícekrát přeprogramovat. Při tomto typu paměti je možné uchovat data i po vypnutí napájecího napětí. Další možností je použití **programovaného hradlového pole**, u kterého vytvoří výrobce základní strukturu integrovane obvodu, který se skládá z hradel. Uživatel si navrhne jejich propojení tak, aby obvod vytvořil požadovanou funkci. Oproti mikroprocesorům, které jsou řízeny hodinovým kmitočtem (jednotky až stovky MHz) je zde **větší rychlost** zpracování informací. Zpoždění jednoho hradla je řádu nanosekund.

Použití **zákaznického integrovane obvodu** má význam při velkých výrobních sériích (např. hračky) od 100 000 kusů výše. Celý řídicí obvod je vytvořen na jedné křemíkové destičce. To umožní miniaturizaci řídicího obvodu, ušetří se náklady na velký plošný spoj.

## 5.3 Programovatelné automaty (PA)

Programovatelné automaty (PA) mají podobnou strukturu jako mikropočítače, jsou však orientované na interaktivní binární řízení v reálném čase. PA obsahuje **centrální jednotku s procesorem a operační paměť, programovou paměť, jednotky vstupů a výstupů**, napájecí zdroj a další jednotky. Na rozdíl od pevně natenených řídicích systémů (s pevně propojenými relé, hydraulickými ventily nebo elektronickými logickými obvody), jejichž řídicí algoritmus (program) je dán zapojením, je **řídicí algoritmus** PA uložen v **programové paměti** (např. EPROM), kterou je možné vyměnit za paměť s jiným programem.

PA tvoří v řídicím systému většinou část pro zpracování informací. Pro řízení malého rozsahu, tj. pro řízení s maximálně 100 DI/DO, tedy pro řízení s maximálně 100 digitálními vstupy nebo výstupy (DI, Digital Input = digitální vstup; DO, Digital Output = digitální výstup) se používají kompaktní PA. K binárnímu řízení větších výrobních zařízení, např. automatických linek se používají PA s **modulární rozšiřitelnou výstavbou**.

Často bývají jednotlivými PA řízena jednotlivá automatizovaná pracoviště a tyto PA jsou připojeny na **sběrnici** (bus), např. PROFIBUS-DP, přes kterou jsou centrálně řízeny a synchronizovány řídicím PA, označovaným jako Master PA. Podřízené PA jsou pak označovány jako Slave PA. Na sběrnici jsou pak připojeny další komponenty řídicího systému, jako např. programovací přístroj (např. PC) a ovládací panel. Na sběrnici může být také připojena jednotka rozhraní pro decentralizované zpracování dat.

Logické řízení v reálném čase může být realizováno kompaktním PA, modulárním PA, sítí PA, integrovaným PLC nebo řídicím počítačem typu PC.

Nejpoužívanějším systémem pro řízení procesů je **modulární PA**. Centrální jednotka modulárního PA obsahuje procesorovou jednotku, nejméně jednu vstupní a jednu výstupní jednotku a síťovou napájecí jednotku (síťový zdroj). Jednotky PA bývají většinou napájené stejnosměrným napětím 24 V. K zachování dat v operační paměti při výpadku napájení slouží záložní baterie (nebo akumulátor). Pomocí sběrnice PROFIBUS-DP mohou být připojeny podřízené PA jako jednotky decentralizovaného řízení.

Na panelu PA bývají většinou **indikátory LED stavů vstupů a výstupů** a stavu CPU. Při indikaci chyby nebo je možné zjistit druh chyby podle obsahu registru diagnostiky. CPU obsahuje procesor a paměti rozdělené do několika oblastí, jako programová paměť (pro program), operační (pracovní) paměť a systémová paměť procesoru. Paměti jsou s procesorem spojeny systémovou sběrnici.

V programové paměti centrální jednotky je uložen uživatelský řídicí program. **Programová paměť** bývá typu **EPROM** nebo typu RAM se záložní baterií. Je paměť s programem vyjímatelná, může být naprogramovaná po vyjmutí z PA v programovacím přístroji. **Operační paměť** je tvořena **rychlou pamětí RAM**. Do operační paměti je po spuštění PA zaveden program a důležitá data. Systémová paměť obsahuje registry pro uložení proměnných (operandů) a její velikost závisí na použitém procesoru.

**Vstupní jednotka** je rozdělena na skupiny po 8 nebo 16 binárních vstupech. Vstupní jednotka obsahuje obvody pro přizpůsobení vstupních signálů, např. děliče pro snížení napětí a RC filtry pro potlačení rušení. Na stejnosměrných vstupech bývá dioda jako ochrana proti přepólování a na střídavých vstupech diodový usměrňovací můstek. Kvůli potenciálovému oddělení jsou signály dále vedeny přes optočleny. Stav vstupů jsou signalizovány na čelní panelu jednotky diodami LED. rozsvícená LED indikuje stav logické 1. V případě vstupu dat po sériové datové sběrnici jsou data rozdělena v multiplexoru řízeném dekodérem adresy na paralelní zpracování.

**Výstupní jednotka** je rovněž rozdělena na skupiny po 8 nebo 16 binárních výstupech (jednobitových pamětí). Výstupní jednotka obsahuje obvody budičů sběrnice, např. tranzistory pro binární stejnosměrné signály (24 V, 240 mA) nebo triaky (obousměrné elektronické spínače) k přímému řízení střídavého proudu zátěží, např. při 230 V, 50 Hz.

Zpozdí-li se vlivem nějaké poruchy pravidelný programový cyklus, vynulují se po uplynutí času pro programový cyklus výstupní paměti a nastavovací členy v řízeném procesu se uvedou do výchozího stavu. To zabraňuje vzniku nebezpečných provozních stavů.

Jednotlivé výstupy jsou procesorem nastavovány na základě svých adres. Demultiplexor řízený dekodérem adres vytvoří výstupní signál vysílaný na datovou sběrnici.

## 5.4 Elektromagnetická kompatibilita (EMC)

Elektrická zařízení jsou **vzájemně kompatibilní**, tj. slučitelná nebo též snášlivá, pokud se vzájemně **neovlivňují** v tak velké míře, že by tím byla rušena jejich správná funkce. Elektromagnetická kompatibilita se týká ovlivňování elektromagnetickými poli, která zařízení vytvářejí.

**Elektrická napětí** v elektrických zařízeních vytvářejí **elektrická pole** a **elektrické proudy** vytvářejí **magnetická pole**. Souhrnně pak mluvíme o elektromagnetických polích. Při výměně energie mezi měnicím se elektrickým polem a měnicím se magnetickým polem dochází k vyzařování a šíření elektromagnetického vlnění. Elektrické **jiskrové výboje** jsou také zdrojem elektromagnetického vyzařování, které může vyvolat mechanické, tepelné i chemické účinky. Zdrojem rušivých polí jsou i rozvodné elektrické sítě, a to hlavně při **spínání velkých proudů**.

K dosažení EMC je nutné **omezit vlastní vyzařování** zařízení i vlivy vyzařování, cizích zdrojů na vlastní funkci.

### Omezení rušivého elektromagnetického vyzařování

K velmi silným zdrojům rušivého vyzařování patří:

- všechny elektrické přístroje, motory a zařízení, ve kterých dochází k jiskření, např. spínač, stykače, komutátorové motory, obloukové svářečky,
- přírodní blesky, umělé výboje a nechtěné elektrostatické výboje,
- vysílače, radary,
- mikrovlnné trouby,
- vysokonapěťová vedení,
- elektronicky spínané zdroje.

Tvoření jisker je třeba zabránit **omezením napětí**, které vzniká mezi **rozpínanými** nebo odskakujícími **kontakty**. Nadměrné napětí může být zkratováno diodou, varistorem nebo transilem, nebo může být energie pohlcena RC členem. Elektrostatickým výbojům je možné zabránit používáním **elektricky vodivých povrchů** předmětů na pracovišti a jejich **uzemněním**. Šíření **elektromagnetického záření** lze **odstínit krytem z magneticky dobře vodivých materiálů**, ke kterým patří **železo**, ocel. Kable síťových rozvodů mohou být uloženy v ocelových trubkách nebo mohou mít plášť s ocelovým opletením. Spínací přístroje bývají umístěny v ocelových skříňkách. **Sdělovací vedení bývají kroucená po párech**, čímž se **vyruší účinky** elektromagnetického pole.

### Rušení spínanými měniči proudu a napětí

Rychlé spínání výkonových polovodičových spínacích prvků (tyristorů, tranzistorů) je zdrojem **vysokofrekvenčních** (vyšších harmonických složek obdélníkových impulsů) **signálů**, které pronikají ven přes parazitní kapacity součástek a spoj vůči uzemněným částem, např. kapacity vývodů tranzistoru vůči kovové kostře. Mohou tak vznikat vysokofrekvenční elektromagnetická pole s kmitočty do 1 GHz. K omezení vyzařování z proudových vedení je třeba vedení **stínit** a **stínění uzemnit** na obou koncích vedení (jinak by mohlo stínění uzemněné jen na jednom konci vedení působit naopak jako anténa). **Stínění vedení musí vést až ke zdroji rušení**, např. spínanému měniči a **být spojeno s jeho stíněným krytem**.

### Ochrana před rušením

Elektrické (elektrostatické) pole lze **odstínit kovovým krytem**, kterému se říká Faradayova klec, protože stačí skutečně drátěná klec z **elektricky vodivých, i nemagnetických**, např. hliníkových drátů. K odstínění elektromagnetických polí se používá i olovnatého skla, např. u mikrovlnné trouby nebo u rentgenového přístroje.

Střídavé magnetické pole indukuje střídavé elektrické napětí. **Vyzařování magnetického pole** lze u sdělovacích vedení **eliminovat zkroucením dvojice vodičů** sdělovacího vedení. Protisměrná indukovaná napětí se pak vyruší. Kroucenou dvojlinku (twisted pair) je možno ještě **odstínit kovovým opletením nebo kovovou fólií**. Střídavá magnetická pole indukují ve stínících krytech vířivé proudy, které vytvářejí magnetické pole protisměrné poli, které tyto proudy indukuje. Proti stejnosměrnému magnetickému poli je možné chránit přístroj krytem z feromagnetického materiálu, např. z oceli.

**Kapacitnímu přenosu** rušivého signálu lze zabránit tím, že citlivé vedení neklademe souběžně a **blízko vyzařujících vedení**.

**Rušení přicházející po napájecí síti** se zachycují **sítovými filtry** (cívky zachycují vf signály).

**Ochrany proti přepětí**, např. při úderu blesku jsou **několikastupňové**. Za výkonným jiskřištěm nebo svodiči přepětí následují varistory a rychlé transily.

**Transily** mají podobnou charakteristiku jako varistory nebo jako Zenerovy diody. Jsou schopny velmi **rychle ( $\mu\text{s}$ ) se otevřít v případě přepětového impulsu a zkratovat** jej. V tento okamžik je na nich krátkodobě ztrátový výkon stovek wattů. Otvírají se dle typu při napětí desítek až stovek voltů.

Vyrábějí se buď **unipolární** – unidirekt (otvírají se pro jednu polaritu napájecího napětí, jako jedna Zenerova dioda) nebo **bipolární** – bidirekt (otvírají se pro obě polarity napájecího napětí obdobně jako antisériově zapojená dvojice Zenerových diod).

**Galvanického oddělení** rušivých signálů a odstranění **zemních smyček** je možné dosáhnout pomocí **optočlenů** nebo **oddělovacích transformátorů**. Optočlen se skládá z LED (nebo infračervené infraLED) a fototranzistoru, mezi nimiž se přenáší signál světleným nebo infračerveným zářením. Zemní smyčky jsou nepříjemné např. u elektroakustických zařízení. Vznikají, pokud je zvuková aparatura zemněna vícekrát než jednou. Pokud každý přístroj musí mít svoje zemnění (ochrana neživých částí nulováním), je nutné v signálovém propojení mezi nimi použít oddělovací transformátor.

## Automatizace 3

Ing. Jiří Vlček

Soubory At1 až At4 budou od příštího vydání (podzim 2008) součástí publikace Moderní elektronika. Slouží pro výuku předmětu automatizace na SPŠE.

### 6. Snímače, čidla

Následující kapitola je zpracována s ohledem na využití snímačů v moderních automobilech. Ty jsou příkladem úspěšného využití elektroniky v původně čistě strojírenském výrobku. Využití níže uvedených snímačů je samozřejmé i v celé řadě dalších výrobků.

Snímače jsou smyslovými orgány vozidla pro dráhu, úhel, otáčky, rychlost, zrychlení, vibrace, tlak, průtok, koncentraci plynů a další veličiny. Jejich signály jsou nezbytné pro řízení různých systémů pro řízení motoru, podvozku, bezpečnosti a komfortu. Snímače převádí neelektrické vstupní veličiny na elektrické signály, které jsou dále upraveny přizpůsobovacím obvodem.

Tyto signály potom zpracovává podle programu **řídící jednotka**. Jedná se o malý počítač obsahující mikroprocesor, paměť programu (PROM, EPROM, EEPROM) a paměť dat (RAM) s dalšími podpůrnými obvody.

K řídicí jednotce jsou potom připojeny **akční členy**, které **zajišťují regulaci dané veličiny**.

Řídící jednotka má **výstupy na indikaci** (palubní deska, displej, monitor) a **diagnostiku**. K jejímu nastavení používáme PC (notebook, v autoservisech diagnostický počítač, což je PC v průmyslovém provedení).

V jednom zařízení (v automobilu) může být **větší počet řídicích jednotek** (pro ABS, automatickou převodovku), které spolu komunikují nejčastěji po **sériové sběrnici** (CAN-BUS).

Na **snímače** mohou působit rušivé veličiny, které nesouvisí s měřenou veličinou a které snižují přesnost měření (např. teplota okolí, kolísání napájecího napětí).

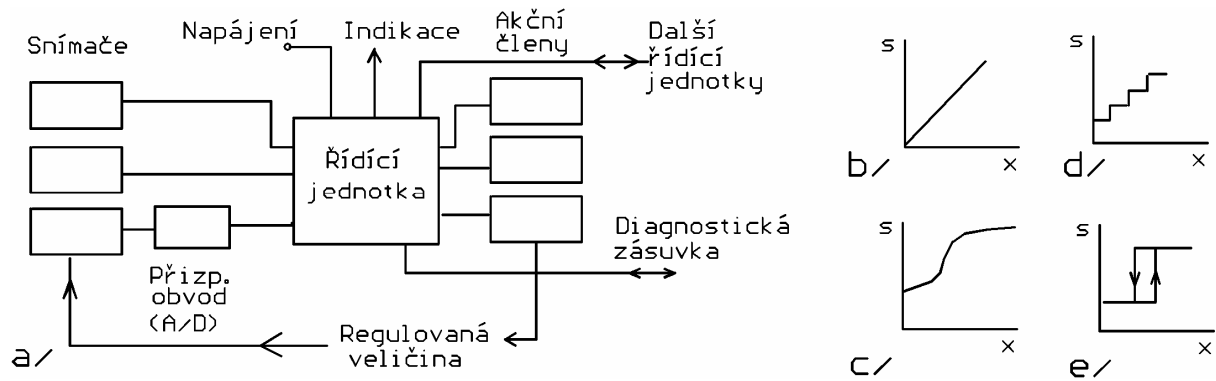
**Přizpůsobovací obvod** upravuje signál snímače do normovaného tvaru (analogové napětí 0-5 V, proudová smyčka 4-20 mA, digitální signál), aby jej bylo možné bez zarušení přivést do řídicí jednotky. Tento obvod je často integrován do snímače a tvoří s ním jeden mechanický celek.

Hlavní požadavky na snímače: **spolehlivost** (robustní provedení, minimum rozebíratelných spojů), **nízká cena** (daná velkými výrobními sériemi), **malé rozměry** (miniaturizace elektrických obvodů), vysoká **přesnost** (snížení výrobních tolerancí). V současnosti se ke snímači s přizpůsobovacím obvodem přidává i **A/D převodník**. Vzniká tak tzv. **inteligentní snímač**.

**Zdigitalizovaný signál je odolný proti zarušení**, nejsou problémy s jeho přenosem. Na rozdíl od analogového signálu nedochází při přenosu k jeho rušení.

Takový snímač je možné navíc doplnit jednočipovým mikroprocesorem, který automaticky provádí korekci naměřené hodnoty (nastaví se při výrobě a uloží se do paměti PROM). Mikroprocesor může provádět výpočty měřené veličiny (např. určit minimální, střední nebo maximální hodnotu) a je schopen provádět jejich korekci s ohledem na stárnutí snímače. Pomocí výpočtů se dá zlepšit přesnost měření. Elektroniku integrovanou v místě měření vyžadují také vícesnímačové struktury.

Digitální signál se většinou přenáší v **sériovém** tvaru. **Paralelní přenos** dat (např. 8 bitů) by vyžadoval **velký počet vodičů a konektorů**, snížila by se spolehlivost.



Obr.60

a/ zapojení snímačů, řídicí jednotky a akčních členů ve vozidle

Převodní charakteristika snímače ( $X$  je měřená veličina,  $S$  je výstupní signál)

b/ spojitá lineární (vhodná pro měření v širokém rozsahu)

c/ spojitá nelineární (pro měření v úzkém rozsahu)

d nespojitá víceúrovňová

e/ nespojitá dvouúrovňová (s hystezí)

## 6.1. Potenciometrické snímače polohy (dráha, úhel)

Nejjednodušší nejlevnější je **potenciometrický snímač**. Pohyb plynového pedálu (akcelerace), , snímače úhlu škrtky nebo plováku v palivové nádrži se převádí na pohyb jezdce potenciometru na odporové dráze. Ta je připojena přes další odpory k napájecímu napětí. Na jezdcu potenciometru je napětí úměrné k jeho poloze.

**Odporová dráha** musí být zatěžována pouze **malým proudem** (1 mA), aby se **neohřívala**.

Nevýhodou je **mechanické opotřebení** a **nadzvednutí běžce** při velikém zrychlení a **vibracích**. Často má potenciometr 2 odporové dráhy, jednu měřicí s velkým odporem a jednu snímací z vodivého materiálu.

U potenciometrických snímačů musíme ve vypnutém stavu a při rozpojeném obvodu ohmetrem naměřit odpor (nejčastěji v řádu jednotek nebo desítek k $\Omega$ ). Jeho hodnota se změnou měřené veličiny (sešlápnutí pedálu) musí měnit. Při provozu musí být na výstupu potenciometrického snímače stejnosměrné napětí (nejčastěji 0 až 5 V)

**Potenciometrické snímače bez jezdce** mají místo odporových drah **magnetorezistory** (viz dále) v diferenciálním zapojení ( $R_1$ ,  $R_2$ , viz obr 6.1 b). Jsou to polovodičové součástky, jejichž **odpor roste s rostoucí magnetickou indukci  $B$** . Místo jezdce zde máme permanentní magnet. Ten se při pohybu vždy k jednomu magnetorezistoru přibližuje a od druhého se vzdaluje. Mění se tedy poměr jejich odporů. Vzhledem k tomu, že tyto rezistory jsou zapojeny jako dělič napětí, mění se i jeho výstupní napětí  $U_x$ . Výhodou je, že **proud neteče přes pohyblivé části**, což znamená větší **spolehlivost** a odolnost proti prachu a otřesům..

## 6.2 Magnetické indukční snímače

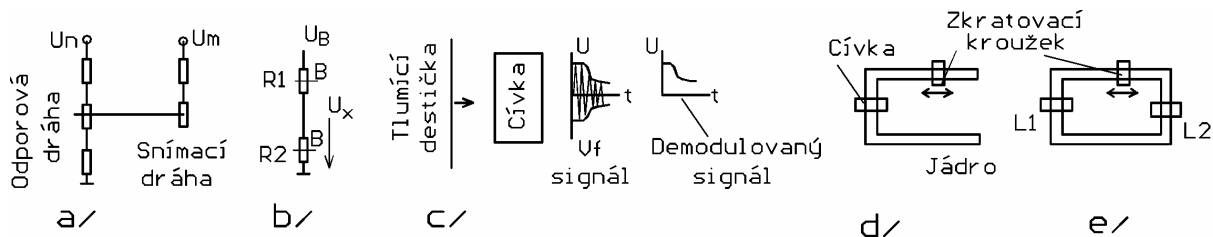
Ze všech bezkontaktních a bezdotykových principů měření polohy jsou magnetické snímače obzvláště robustní a necitlivé vůči rušení. To platí zvláště pro principy měření založené na střídavém proudu, tedy principy magnetické indukce. Potřebná provedení cívek však v porovnání s mikromechanickými snímači zabírají více místa. Z mnoha známých principů tohoto druhu nacházejí v motorových vozidlech použití především dva, jejichž způsob činnosti je velmi podobný:

### Snímače využívající vířivé proudy.

Blíží li se elektricky **vodivá**, rovná nebo zakřivená **destička** (např. z hliníku nebo mědi) **k cívice** (většinou bez železného jádra), kterou protéká **vysokofrekvenční střídavý proud**, mění se její odpor a **indukčnost**. Příčinou jsou vířivé proudy vznikající v tlumící destičce na základě rostoucí vazby. Poloha této tlumící destičky reprezentuje měřenou dráhu  $s$ .

Ačkoliv princip dobře funguje již v oblasti kilohertzů, doporučuje se ke snímání rychlých pohybů spíše vyšší pracovní frekvence v oblasti **megahertzů**. Obecně to zase vyžaduje, aby elektronika byla

umístěna přímo u snímače. (Vysokofrekvenční signál je obtížné vést na větší vzdálenosti.) K převodu měřicího efektu na elektrické výstupní napětí je možné použít jak činný odpor, tak indukčnost.



Obrázek č. 6.1

a/ Potenciometrický snímač ( $U_0$  – napájecí napětí,  $U_m$  – výstupní napětí)

b/ Potenciometrický snímač s magnetorezistory

c/ Magnetický induktivní snímač (změna polohy tlumící destičky vyvolá změnu amplitudy vf napětí v cívkě, které je dále demodulováno)

d/ jednoduchý snímač se zkratovacím kroužkem

e/ diferenciální snímač se zkratovacím kroužkem

**Snímače polohy se zkratovacím kroužkem.** Na rozdíl od snímače využívajícího vířivé proudy má cívka snímače se zkratovacím kroužkem vždy **magneticky měkké jádro** obvykle z plechů rovného nebo zakřiveného tvaru U nebo E. Pohyblivý tlumící díl je zde v podobě „zkratovacího kroužku“ z dobře vodivého materiálu (např. měď nebo hliník), který je pohyblivě umístěn na jednom nebo na všech sloupcích jádra. Kvůli železnému jádru mají tyto snímače mnohem větší indukčnost než snímače využívající vířivé proudy. Mohou proto dobře pracovat i na **nižším kmitočtu** (5 až 50 kHz) a elektronika pro zpracování signálu nemusí být přímo umístěna v místě snímače. Poloha zkratovacího kroužku ovlivňuje indukčnost téměř lineárně.

Diferenciální nebo polodiferenciální zapojení zlepšuje linearitu měření a zvětšuje odolnost proti rušení.

Indukčnost většinou tvoří prvek oscilačního obvodu. Změna indukčnosti způsobí změnu kmitočtu, kterou může vyhodnotit čítač nebo mikroprocesor v řídicí jednotce. Signál přenášený do řídicí jednotky je odolný proti rušení.

**Snímač úhlu natočení** (vypadá podobně jako motor) obsahuje **dvě statorové vinutí** natočená vzájemně o  $90^\circ$ , která jsou napájena **sinusovými napětími** stejného kmitočtu, která jsou rovněž fázově posunutá o  $90^\circ$ . V pasivním vinutí **rotoru se indukuje signál** složený z obou sinusových signálů. Jeho **fázový posuv odpovídá úhlu natočení rotoru**. Snímač úhlu natočení převádí tento úhel na fázový posuv signálů, který je potom elektronicky vyhodnocen.

Na stejném principu pracuje **induktosyn** – indukční snímač dráhy posunutí. Místo dvou cívek je zde jedna cívka tvořena plošným meandrovým vodičem, který je na obou koncích napájen signály posunutými fázově o  $90^\circ$ . Místo rotoru je zde posuvný jezdec s cívkou, ve které se indukuje napětí.

### 6.3 Induktivní snímače otáček

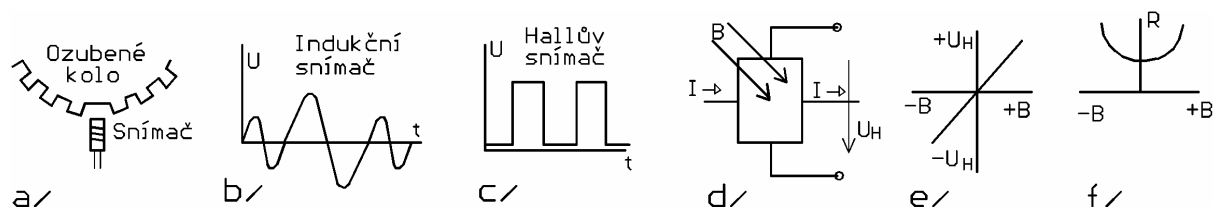
se skládají obecně ze tří hlavních magnetických součástí: nehybná cívka, část magneticky měkkého železa, trvale magnetická část. **Změna magnetického toku potřebná k vytváření výstupního napětí je způsobována otáčením ozubeného kola.** V cívkě, která je pevně spojená s permanentním magnetem, se indukuje změnou magnetického toku střídavé napětí přibližně sinusového průběhu.

Indukované napětí v cívkě je úměrné změně (derivaci) magnetického toku  $\Phi$ . Velikost signálu je přímo úměrná otáčkám ozubeného kola. Proto se prahové hodnoty vstupních obvodů v řídicí jednotce dynamicky přizpůsobují otáčkám. Výstupní napětí snímače **tvaruje Schmittův obvod na pravouhlý průběh.** (Tento obvod se používá pro digitalizaci pomalých nebo zarušených signálů. Má hysterezi, kterou vytváří kladná zpětná vazba z výstupu na vstup. Odstraňuje nejednoznačné úrovně napětí, na jeho výstupu je vždy pravouhlý průběh napětí, 0 nebo 1.)

**Amplituda signálu závisí výrazně na vzduchové mezeře a velikosti zubů.**

Chceme-li měřit pouze rychlost otáček (např. snímače otáček kol pro ABS), měříme kmitočet výstupního signálu.

Pro určení polohy klikového hřídele (určení okamžiku vstříknutí paliva) musí být na ozubeném kole značka (mezera mezi zuby), které zvětší amplitudu signálu (obr. 6.2 a). Elektronika musí tuto změnu správně vyhodnotit.



Obrázek 6.2

a/ Měření otáček induktivním snímačem (induktivní snímač v blízkosti točícího se ozubeného kola)

b/ průběh napětí na cívkce snímače, je-li mezi zuby mezera (značka)

c/ průběh napětí na výstupu Hallova snímače

d/ princip Hallova snímače (vektor  $B$  měřeného magnetického pole je kolmý na destičku)

e/ závislost Hallova napětí na intenzitě magnetického pole

f/ závislost odporu magnetorezistoru na intenzitě magnetického pole

Výhodou induktivních snímačů jsou **nízké výrobní náklady, odolnost proti rušení, žádná elektronika ve snímači**, žádné problémy s driftem stejnosměrného napětí a **velký teplotní rozsah**. Nevýhodou je **závislost výstupního napětí na otáčkách a citlivost na výkyvy vzduchové mezery**. Induktivní snímač otáček má dva vývody. Při podezření na závadu změříme cívkce snímače ohmetrem, je-li v pořádku, musíme naměřit velmi malý odpor. Výstup induktivního snímače měříme za provozu osciloskopem. Při zvýšení otáček motoru roste amplituda i kmitočet signálu.

## 6.4 Magnetostatické snímače

Magnetostatické snímače měří stejnosměrné magnetické pole. Na rozdíl od magnetických induktivních (cívkových) snímačů se daleko lépe hodí pro miniaturizaci a lze je levně vyrábět metodami mikrosystémové techniky. Používají se především galvanomagnetické jevy (Hallův jev a Gaussův jev).

**Hallův jev** se vyhodnocuje pomocí tenkých polovodičových destiček, kterými protéká elektrický proud a zároveň prochází magnetické pole. Jsou-li proud a magnetická indukce na sebe kolmé, lze příčně ke směru proudu naměřit napětí Hallovo napětí  $U_H$ , úměrné velikosti magnetického pole. Zároveň se zvyšuje odpor destičky podle parabolické charakteristiky (Gaussův jev, magnetorezistor). Příčinou těchto jevů je působení magnetického pole na elektrony, které jsou nositeli elektrického proudu.

Při použití křemíku je možné tento snímač zkombinovat s integrovaným obvodem, který Hallovo napětí zesiluje a vyhodnocuje. V nejjednodušším případě detekujeme překročení prahové hodnoty elektromagnetické indukce pomocí Schmittova obvodu. Výstupem je dvoustavový logický signál, vzniká tak **Hallův spínač**.

Nevýhodou jednoduchého snímače je značná teplotní závislost, způsobená mechanickým pnutím materiálu. Díky **principu rotujících proudů** (spinning current) se jí podařilo odstranit. Proud a měřicí obvod jsou elektronicky přepínány. Změřené napětí je elektronicky průměrováno. Vzniká tak **integrovaný Hallův obvod**, který je vhodný např. pro snímače zrychlení.

### Diferenciální Hallovy snímače

Již několik let existují také dvojité Hallovy snímače (diferenciální uspořádání Hallova snímače) v plně integrovaném provedení. U těchto snímačů jsou dva kompletní Hallovy systémy umístěné v definované vzdálenosti na jednom čipu a příslušná elektronika (operační zesilovač) vyhodnocuje rozdíl obou Hallovy napětí. Tyto snímače mají výhodu, že jejich výstupní signál je značně nezávislý na absolutní hodnotě intenzity magnetického pole a jeho diferenciální snímače snímají pouze prostorovou změnu magnetické indukce.

**Tyto snímače se většinou používají k měření otáček. Rotorem je ozubené kolo z kovového materiálu.** Přiblížení a oddálení jednotlivých zubů způsobuje změny magnetického pole v blízkosti permanentního magnetu. **Velikost jejich výstupního signálu do značné míry nezávisí na vzduchové mezeře mezi rotorem a snímačem. K dosažení maximálního výstupního signálu odpovídá vzdálenost obou Hallovy snímačů (umístěných většinou na okrajích podélného čipu) přibližně polovině rozestupu zubů.**

Oproti induktivním snímačům má Hallův snímač otáček výhodu v tom, že **jeho výstupní napětí není závislé na rychlosti otáček** a dá se tak snadno elektronicky zpracovat. Má malé rozměry a vyžaduje elektronické předzpracování signálu. Rozsah provozních teplot je ale omezen křemíkovou vyhodnocovací elektronikou (155 °C max). Nevýhodou ale je, že ke své činnosti potřebuje značný stejnosměrný proud, jehož odběrem zatěžuje palubní síť vozidla.

Hallův snímač má **3 vývody** (napájení, výstup, kostra). Výstupní signál měříme osciloskopem. **Při zvýšení otáček roste kmitočet, amplituda se nemění.**

**Magnetorezistory** se mohou podobně jako Hallovy snímače používat ke snímání otáček ozubeného kola. Jsou značně teplotně závislé, musíme je proto používat v diferenciálním provedení. Dvojice magnetorezistorů je zapojena jako dělič napětí. Jeho výstupní napětí se s teplotou mění minimálně.

**Odpor magnetorezistorů se mění v závislosti na intenzitě magnetického pole.** Vhodného pracovního bodu dosáhneme pomocí permanentního magnetu, který vytváří magnetické předpětí.

Magnetorezistory jsou pasivní součástky odolné proti rušení. Jejich výstupní napětí je v řádu **jednotek voltů** a není za potřebí jej dále zesilovat.

## 6.5. Snímače zrychlení, vibrací, tlaku, síly a kroutícího momentu

Používají se k regulaci klepání u spalovacích motorů, pro airbag, předepínače bezpečnostních pásů, detekce převrácení (vypnutí zapalování, uzavření přívodu paliva), ke snímání zrychlení v zatáčkách, v protiblokovacím systému (ABS) nebo při elektronickém řízení stability (ESP) a regulaci podvozků. Zrychlení se často udává jako násobek gravitačního zrychlení  $g$  ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

Všechny snímače měří sílu  $F$ , která působí na setrvačnou hmotnost  $m$ .

$$F = m \cdot a$$

Setrvačná hmota je pružně spojena s tělesem, jehož zrychlení máme měřit.

Používají se **piezoelektrické snímače**, které **působením síly vytváří na svém povrchu elektrický náboj**. Některé materiály (křemenný krystal) vykazují tuto vlastnost přirozeně, jiné (např. piezokeramika) musí být nejdříve polarizovány vysokým napětím.

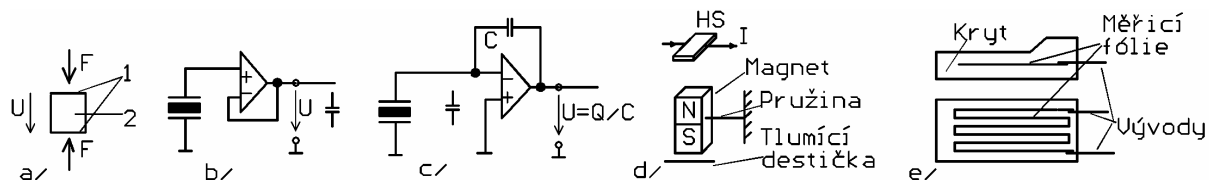
Elektrické vyhodnocení signálu:

**Snímání napětí:** Protože piezoelektrické snímače mají vysoký vnitřní odpor, doporučuje se při snímání výstupního napětí  $U$  umístit první oddělovací zesilovač co nejbližší ke snímači (pokud možno, do společného, hermeticky těsného pouzdra). Delší přívodní vodiče zkreslují signál jako svou parazitní kapacitou (dělič napětí), tak i svým parazitním činným odporem.

**Snímání náboje:** Výhodnější je použít u piezoelektrického snímače zesilovač náboje, který ukládá snímačem vytvářený náboj v kvalitním měřicím kondenzátoru  $C$  a tím udržuje samotný snímač bez náboje a napětí. Při tomto typu vyhodnocení je možné škodlivé parazitní vlivy vedení téměř potlačit, takže zesilovač nemusí být bezpodmínečně integrován se snímačem.

### Hallovy snímače zrychlení

V Hallovy snímači zrychlení se používá „elastický“ upevnění systém pružina – hmota (viz obr.6.3d). Skládá se z páskové pružiny umístěné nastojato, která je na jednom konci pevně upnuta. Na jejím volném konci je nasazen trvalý magnet jako seizmická hmota. Nad trvalým magnetem se nachází vlastní Hallův snímač s vyhodnocovací elektronikou. Pod magnetem je malá tlumící destička z mědi. Působí-li na snímač příčně k jeho pružině zrychlení, mění systém pružina – hmota svou klidovou polohu. Vychýlení je měřítkem pro zrychlení. Magnetický tok vycházející z pohybující se magnetu vytváří v Hallovy snímači Hallovo napětí.



Obrázek 6.3

a/ piezoelektrický jev 1 – elektrody, 2 – piezoelektrický materiál

b/ piezokrystal s oddělovačem napětí (sledovač signálu)

c/ piezokrystal se snímačem náboje

d/ Hallův snímač zrychlení

e/ tenzometrický pásek

### Mikromechanické křemíkové snímače zrychlení

Mikromechanické křemíkové snímače zrychlení pro zádržné systémy snímají hodnoty při čelním nebo bočním nárazu a řídí iniciaci přepínačů bezpečnostních pásů a airbagů.

Nezbytný systém **pružina - hmota** je vyroben technikou leptání z plného křemíkového plátku.

K obzvláště přesnému měření vychýlení této hmotnosti se osvědčilo **kapacitní snímání**. To vyžaduje nad a pod hmotností upevněné na pružině přidat další křemíkovou nebo skleněnou destičku. Destičky s protielektrodami současně slouží jako ochrana proti přetížení. Toto uspořádání destiček odpovídá sériovému zapojení dvou diferenciálních kondenzátorů (cca 10 až 20 pF).

Při působení zrychlení a ve směru snímání se křemíkové střední destička jako seizmická hmotnost vychyluje. To způsobuje změnu vzdálenosti k horní příp. dolní destičce a tím také změnu kapacity kondenzátorů. Ta vede ke změně elektrického signálu, která se ve vyhodnocovací elektronice (CMOS) zesiluje, filtruje a digitalizuje pro další zpracování v řídicí jednotce airbagu.

### Piezoelektrické snímače klepání KS

Snímače klepání jsou svým funkčním principem snímače vibrací a hodnotí se ke snímání kmitů šířících se tělesy. Snímače je převádí na elektrické signály, které převádí do řídicí jednotky.

Hmotnost působí na základě své setrvačnosti tlačnými silami v rytmu budících kmitů na kruhový piezokekamický prvek.

### Přímé měření tlaku

Zvláště k měření velmi vysokých tlaků ( $>10^4$  bar) by stačilo jednoduše vystavit rezistor tlakovému médiu, neboť všechny známé rezistory vykazují menší nebo větší závislost na tlaku (objemový efekt). Obtížněji se však přitom realizuje potlačení jejich současné závislosti na teplotě a tlakotěsné vyvedení jejich vývodů z tlakového média.

Příznivější vlastnosti zde mají závislosti na použití lehce vyrobitelné kapacitní měřicí členy (kapsle).

### Membránové snímače tlaku

Nejvíce rozšířená (i v automobilech) metoda snímání tlaku používá k získání signálu nejprve jako mechanický mezistupeň tenkou membránu, která jednou stranou vystavena měřenému tlaku a jeho působením se méně nebo více prohýbá. Její tloušťka a průměr může být v širokém rozmezí přizpůsobována danému rozsahu tlaku. Nízké rozsahy měřeného tlaku vedou k relativně velikým membránám s průhyby, které se mohou pohybovat v oblasti 1 až 0,1 mm. Vysoké taky vyžadují silnější membrány menšího průměru, které se prohýbají jen o několik  $\mu\text{m}$ .

### Piezorezistivní princip měření síly a točivého momentu

Použití roztažných rezistorů k měření síly je nejrozšířenější a současně nejspolehlivější a nejpřesnější metodou měření síly a točivého momentu. Je založena na tom, že **mezi mechanickými napětími  $\sigma$  v roztaženém tělese** (způsobenými zavedením síly) a **protažením  $\epsilon$**  existuje přinejmenším v „Hookově oblasti“ **přímo úměrná závislost**. Podle Hookova zákona platí v tomto případě:

$$\epsilon = \Delta l / l = \sigma / E$$

kde konstanta úměrnosti  $E$  je známa jako „modul pružnosti“. Tato metoda je proto nepřímá metoda měření, protože neměří přímo napětí podmíněná silami, ale roztažení jimi způsobené. Roztažení

měřicí pásky (kovové fólie) z jsou s povrchem zvoleného roztaženého tělesa spojeny tak těsně, že sledují bez zkreslení jeho povrchové roztahování. To má hodnoty řádu jednotek až desítek mikrometrů. Délku natahovaného měřicího pásku můžeme zvětšit klikatým meandrovým uspořádáním (obr. 6.3 e), při kterém se celkové prodloužení  $n$ -krát zvětší;  $n$  je počet úseků meandru rovnoběžných se směrem prodloužení.

Při natahování kovového vodiče narůstá jeho odpor. Změna odporu způsobená roztažením rezistoru je určena vztahem:

$$\Delta R/R = K \cdot \epsilon$$

Většinou jsou vyrobeny z **konstantanu** (60 % Cu, 40 % Ni), aby jejich odpor měl **minimální závislost na teplotě**.

Kromě kovových tenzometrických pásků se používají i **polovodičové tenzometrické pásky**. Ty jsou vytvořené difuzí nečistot do čistého křemíku. Jejich **deformací se výrazně mění pohyblivost nábojů** a tím i **elektrický odpor**. Tento jev se nazývá **piezo-odporový jev**. Polovodičové tenzometrické rezistory jsou malé a citlivé, jsou ale silně teplotně závislé.

Přetrvávající **zbytky teplotní závislosti jsou eliminovány** tím, že rezistory jsou na roztažném tělese zapojeny jako **poloviční nebo úplný můstek** (podobně jako na obr. 6.5 e). Můstky mohou být napájeny **stejnoseměrným i střídavým proudem**.

Při **střídavém** napájení měřený signál moduluje střídavé napájecí napětí. Výstupní napětí z můstku zesiluje **selektivní střídavý zesilovač**, který potlačí rušení a stejnosměrný drift. Střídavé zapojení je proto **citlivější a přesnější**.

Hodnoty těchto rezistorů jsou řádově ve stovkách ohmů.

## 6.6 Měření průtoku a kvality vzduchu

Snímače měřící množství vzduchu nebo obecně proudění plynů se nazývají také **anemometry**.

### Anemometr s vyhříváním drátem

Prochází-li tenkým drátem nebo tenkou destičkou proud, drát nebo destička se ohřívá. Proudí-li okolo něj současně vzduch, který teplo odvádí, nastaví se **rovnováha** mezi **přiváděným a odváděným výkonem tepla**.

Tento drát ( $R_m$ ) nebo destičku zapojíme **do můstku** společně s druhým drátkem nebo destičkou,. Tím potlačíme vliv kolísání teploty vzduchu na přesnost měření.

**Regulační obvod řídí vyhřívací proud** tak, aby vyhřívání drát (nejčastěji z platiny) **byl** vždy o 130 až 160 °C **teplejší** než okolní vzduch. Řídící jednotka měří **vyhřívací proud**, který je **úměrný hmotnosti vzduchu**.

**Tato metoda zajišťuje měření hmotnosti vzduchu nezávisle na jeho tlaku, který se mění s nadmořskou výškou.**

### Snímače kvality vzduchu

Snímají trvale kvalitu vzduchu ve vstupní oblasti větrání. Reagují především na škodlivé součásti výfukových plynů CO (hlavně u zážehových motorů) a NO<sub>x</sub> (primárně u vznětových motorů). Další úkol spočívá v tom, aby se zabránilo rosení skel. K tomu snímá snímač vlhkosti obsah vodní páry ve vzduchu.

Tyto snímače zabudované do řídicích jednotek kvality vzduchu se skládají z tlustovrstvých rezistorů, které obsahují oxid cínu. Když se zde usazují měřené látky, mění rezistory v širokém rozsahu prudce svůj odpor (např. 1 až 100 kΩ). Rezistory sondy jsou umístěny na společném keramickém substrátu, který je vyhřívacím vodičem na zadní straně ohříván na provozní teplotu 330 °C. Substrát je kvůli vysoké teplotě upevněn samostatně.

**Sonda CO** měří koncentrace v rozsahu 10 až 100 ppm (parts per million, resp. 10<sup>-6</sup>) a **sonda NO<sub>x</sub>** v rozsahu 0,5 až 5 ppm. Jakmile je koncentrace škodlivých plynů příliš vysoká (někdy téměř 100krát větší než v čerstvém vzduchu), uzavře řídicí jednotka kvality vzduchu klapky pro přívod čerstvého vzduchu. Tím zabrání tomu, aby řidič tyto plyny vdechoval a předčasně se unavil. Ochranou před těmito škodlivými látkami se prodlužuje životnost použitého filtru s aktivním uhlím.

Kyslíčník uhelnatý CO je velmi škodlivý pro lidský organismus. Vzniká při nedokonalém spalování. V lidské krvi reaguje s hemoglobinem. Při vyšších koncentracích může způsobit i udušení.

**Novější řídicí jednotky kvality vzduchu mají také snímač vlhkosti vzduchu.** Jeho signál slouží společně se signálem teploty prostoru kabiny, měřené snímačem teploty NTC, k **výpočtu rosného bodu**, který má vliv na rosení skel vozidla.

### Dvoubodová lambda sonda

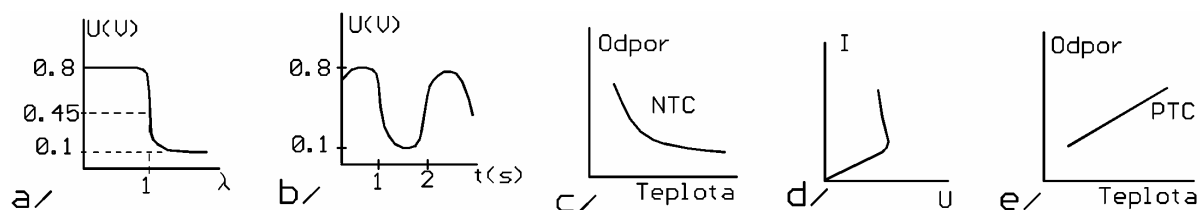
„Dvoubodové sondy“ dávají signál, zda se ve spalinách vyskytuje **bohatá** ( $\lambda < 1$ ) nebo **chudá** směs ( $\lambda > 1$ ). Skoková charakteristika těchto sond umožňuje regulaci směsi kolem  $\lambda = 1$  ( $\pm 3\%$ ), kdy dojde k úplnému spálení palivové směsi a ve výfukových plynech nezůstane žádný kyslík (stechiometrická směs 1 kg benzínu : 14,8 kg vzduchu).

Pevný elektrolyt se skládá z jednostranně uzavřeného, pro plyn neprostupného keramického tělesa z oxidu zirkoničitého, který je stabilizován oxidem yttritým. Povrch je oboustranně opatřen elektrodami z porézní tenké vrstvy platiny.

Vyhřívaná tyčová sonda obsahuje navíc vyhřívací prvek. U této sondy je teplota keramického tělesa při nízkém zatížení motoru ( tzn. při nízké teplotě spalin) určovaná elektrickým vyhříváním, při vysokém zatížení, teplotou spalin.

**Napětí dodávané sondou, které je tedy závislé na obsahu kyslíku ve výfukových plynech,** dosahuje při bohaté směsi ( $\lambda < 1$ ) 800 až 900 mV, při chudé směsi ( $\lambda > 1$ ) pouze 100 mV. Při přechodu z bohaté k chudé směsi je napětí přibližně 450...500 mV. Také teplota keramického tělíska ovlivňuje vodivost iontů kyslíku a tím průběh napětí sondy v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu  $\lambda$ .

**Řídicí jednotka na základě signálu z lambda sondy ovládá vstřikovací ventily.** Jedná se o příklad nespojitě skokové regulace. Výstupní signál lambda sondy při ní kmitá s kmitočtem zhruba 0,4 Hz (za 10 s 4 kmity), střída signálu má být přibližně 1:1. Řídicí jednotka při ní stále hledá rovnovážný stav.



Obrázek č. 6.4/

a/ závislost výstupního napětí na koeficientu  $\lambda$

b/ průběh výstupního napětí v závislosti na čase v zaregulovaném stavu

c/ závislost odporu na teplotě u termistoru s negativním teplotním součinitelem (čidlo NTC)

d/ VA charakteristika NTC čidla

e/ závislost odporu na teplotě u čidla PTC

## 6.7 Snímače teploty

### Odporové snímače

Elektrické rezistory, jejichž odpor je závislý na teplotě, jsou jako dvoupólové součástky obzvlášť vhodné k měření teploty ať už ve formě vinutých drátových rezistorů, spékané keramiky, fóliových rezistorů, tenkovrstvých nebo tlustovrstvých rezistorů nebo rezistorů monokrystalické formě. Obvykle jsou pro převod na napětíový analogový signál doplněny pevnými rezistory ( např. měřící můstek – obr.6.5 e). Jsou napájeny buď konstantním proudem a měří se na nich úbytek napětí nebo jsou napájeny ze zdroje stabilizovaného napětí přes rezistor, na kterém se měří úbytek napětí (viz obr 6.5 d). Tento způsob je nejrozšířenější, čidlo se připojí k řídicí jednotce (dvěma vodiči), která obsahuje vše potřebné.

## Rezistory NTC

Vyrábějí se z oxidů těžkých kovů. Nazývají se termistory, jejich odpor klesá nelineárně s teplotou, viz obr. 6.4c. Zvýšení teploty o každých 20 °C sníží jeho odpor přibližně na polovinu. Aby nedocházelo k velkým chybám měření, nesmí měřicí proud termistor příliš zahřívát.

**Pro větší napětí a proudy není VA charakteristika termistoru lineární**, viz obr. 6.4d. Někdy se používají jako ochrana před proudovou špičkou při zapínání (např. u filtračního kondenzátoru ve spínaném zdroji). Po zahřátí je na termistoru minimální úbytek napětí a výkonová ztráta.

## Rezistory PTC

Oproti rezistorům NTC vykazují **menší závislost změny odporu na teplotě**. Jejich výhodou je ale téměř lineární závislost odporu na teplotě a vysoká přesnost odporu (tolerance řádově 1 %), což zjednodušuje a usnadňuje vyhodnocování měření (viz obr. 6.4e). Často se používají platinové odpory. (Označení PT 100 znamená platinový odpor 100 Ω).

Polovodičové rezistory PTC mají dvakrát větší citlivost než platinové. Na čipu je možné integrovat další součástky. Tyto snímače jsou velmi dobře reprodukovatelné. Mohou ale pracovat pouze do teploty 150 °C, ve zvláštním provedení až do 300 °C.

Při podezření na závadu odpojíme snímač a změříme ohmetrem jeho odpor. Naměřená hodnota musí přibližně souhlasit s údajem výrobce. Pokud není uvedeno jinak, udává se tato hodnota při teplotě 20 °C. Dále se obvykle udává odpor při teplotě 80 °C. Ověříme platnost těchto hodnot. Zkrat nebo nekonečný odpor vždy znamená vadné čidlo.

## Termočlánky

**Využívají toho, že na konci kovového vodiče vzniká elektrické napětí, pokud mají tyto konce odlišné teploty.** Toto termoelektrické napětí výhradně závisí na rozdílu těchto teplot, **nemá žádné výrobní tolerance. Má hodnotu řádově jednotek mV. Závislost tohoto napětí na teplotě je lineární.**

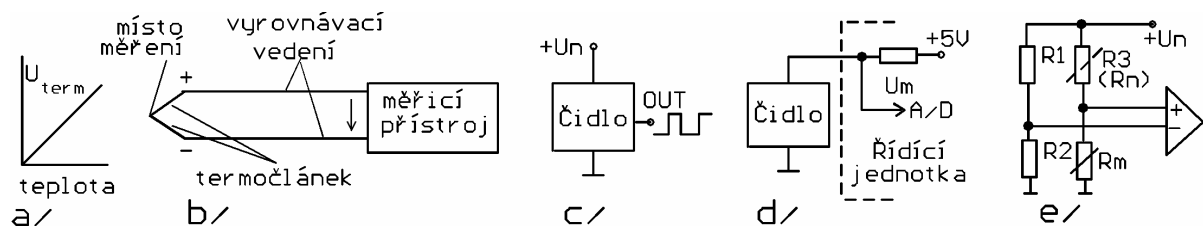
Používají se pro měření teplot až do 1000 °C. Ke zvětšení výstupního napětí se často zapojují do série.

## Polovodičové přechody.

Napětí na diodě nebo na přechodu báze-emitor u tranzistoru má typickou hodnotu 0,6 V. Toto napětí klesá celkem přesně o **2 mV/°C**, což se dá využít pro měření.

## Snímače teploty s číslicovým výstupem

Tyto snímače mají v sobě integrován **převodník odpor – kmitočet** (kmitočet astabilního multivibrátoru je dán odporem termistoru). Výstupem je signál odolný proti rušení. Kmitočet multivibrátoru měří a zpracovává řídicí jednotka. Chceme-li, aby takový snímač bylo možné připojit pomocí dvou drátů, musí výstup snímače modulovat napájecí proud. Řídicí jednotka měří změny napájecího proudu (podobně jako u obr. 6.5 d) změní kmitočet změn a vypočítá teplotu.



Obrázek č. 6.5

a/ Závislost termoelektrického napětí na teplotě

b/ připojení termočlánek k měřicímu obvodu

c/ čidlo měření teploty s digitálním výstupem (3 vývody)

d/ připojení čidla k řídicí jednotce (inteligentní čidlo se dvěma vývody, skokově se mění odběr proudu, kmitočet je úměrný teplotě)

e/ měřicí můstek

## 6.8. Další typy snímačů

### Kapacitní snímače

Ke snímání polohy ve větším rozpětí asi do 2 m se používají **trubkové snímače**. Při zasouvání kovového pístu do izolačního válce **se mění kapacita** takto sestaveného snímače (viz obr. 6.6 a). Její změny převádí střídavý můstek **na změny střídavého napětí**, které jsou dále elektronicky zpracovány.

### Optické snímače

**Snímač deště** rozpozná vodní kapky na čelním skle a umožňuje automatické spínání stěračů. Řidič je tak osvobozen od mnoha pohybů rukou, které byly u konvenčních řízení stěračů potřebné.

**Snímač deště se skládá z** optické dráhy mezi vysílačem a přijímačem. Svítivá dioda **emituje světlo**. Toto světlo dopadající na čelní sklo pod určitým úhlem se **odráží od suché vnější plochy** (totální odraz) a dopadá do **přijímače** (fotodiody), který je rovněž natočen pod určitým úhlem. Jsou-li na vnější ploše kapky vody, odráží se značná část světla směrem ven a zeslabuje tím přijímaný signál. Od určitého stupně se stěrač automaticky zapne i při znečištění. Často se místo viditelného světla používá světlo **infračervené**.

**Snímač znečištění** rozpozná stupeň znečištění rozptylových skel světlometů a umožní jejich automatické čištění. Skládá se z LED a fototranzistoru. Při čistém nebo dešťovými kapkami pokrytém skle je světlo LED vyzařováno do volného prostoru. Nečistoty světlo rozptýlí, to se pak vrací k fototranzistoru.

**Optické poziční čidlo** se používá k **bezdotykovému měření vzdáleností**, k přesnému navádění pohybů podle laserového paprsku a k vyhodnocování změn pohybu (obr.6.6.c).

Je tvořeno řadou fotodiód nebo fototranzistorů. Pokud na ně dopadne světelný paprsek od měřeného předmětu, pozice ozářeného prvku čidla určuje úhel dopadu světla odraženého od předmětu na objektiv čidla.

### Akustické snímače (ultrazvuk)

Obdobně jako u ozvěnového hloubkoměru (echolot) **vysílají snímače ultrazvukové impulsy** o frekvenci cca 40 kHz a **detekují čas**, který uplyne **do návratu impulsu odraženého od překážky**. Vzdálenost  $a$  k nejbližší překážce se vypočítá z doby uplynulé do příchodu odraženého impulsu  $t_e$  a z rychlosti šíření zvuku  $c$  ve vzduchu, cca **340 m/s**.

$$a = 0,5 \cdot t_e \cdot c$$

Ultrazvukové snímače, které jsou integrovány do nárazníku vozidla, slouží k určování odstupu od překážek a ke sledování okolního prostoru při parkování a popojíždění. Rozsah detekce takového systému sahá od cca 0,25 do 1,5 m.

Ultrazvukový snímač používá metodu odrazu ultrazvukového impulsu ve spojení s triangulací. Když řídicí jednotka vyšle digitální impuls zahajující vysílání, elektronický obvod prostřednictvím obdélníkových impulsů o rezonančním kmitočtu s dobou trvání typicky cca 300  $\mu$ s vybudí hliníkovou membránu ke kmitání, to znamená k vysílání ultrazvukových vln. Zvuk odražený od překážky znovu rozkmitá, v té době již uklidněnou, membránu (během doby doznívání, dlouhé cca 900  $\mu$ s, není žádný příjem možný). Tyto kmity převádí piezokeramický prvek na analogový elektrický signál, který je dále převáděn na digitální signál (obr 6.6 b).

**Ultrazvukový snímač rychlosti proudění** (obr.6.6e) se skládá z **vysílače (V)** a **přijímače (P)**. Mezi nimi se **rychlost ultrazvuku přičítá k rychlosti proudění**. Doba mezi vysláním a přijetím ultrazvukového impulsu je závislá na rychlosti proudění.

### Elektromagnetické snímače (radar)

Systémy ACC (Adaptive Cruise Control) s takovýmto radarem dlouhého dosahu představují **regulátory rychlosti jízdy s automatickým rozpoznáním vozidel**, jedoucích v jízdní stopě před daným vozidlem, a případně požadují přibrzdění. Pracovní frekvence 76 GHz (vlnová délka cca 3,8 mm) umožňuje kompaktní konstrukci potřebnou pro montáž ve vozidlech. Gunnův oscilátor (Gunnova dioda v dutinovém rezonátoru) napájí paralelně tři vedle sebe umístěné antény, které současně slouží k příjmu odražených signálů. Předsazená plastová čočka (Fresnelova) tvaruje vysílaný paprsek. Kromě vzdálenosti vozidel jedoucích vpředu a jejich rychlosti může být zjišťován i směr, v němž jsou detekována.

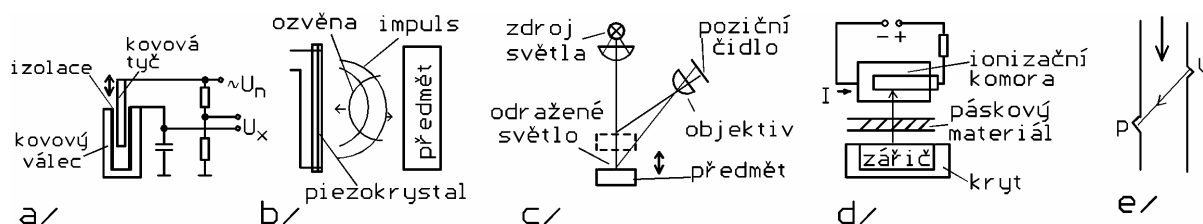
Vysílaný signál je **kmitočtově modulován**. Než se signál **odrazí** od překážky a **vrátí se, změní se trochu vysílaný kmitočet** (Dopplerův jev). Měří se kmitočet přijímaného signálu. Rozdíl frekvence vysílaného a přijímaného signálu je přímo úměrný vzdálenosti od překážky.

### Měření tloušťky radioaktivními snímači

V **ionizační komoře** (Geiger-Müllerův počítač) je na elektrody přivedeno přes velký odpor stejnosměrné napětí. Radioaktivní záření **ionizuje částice plynu** (nejčastěji argonu). Tím vzniká malý, ale měřitelný **elektrický proud**. Ve výrobě tato komora používá při **kontrolě tloušťky páskového materiálu**. Princip měření vychází z částečné pohltivosti (absorpce) a odrazivosti (reflexe) radioaktivního záření různými látkami.

Používáme zdroje záření  $\beta$  (beta) a  $\gamma$  (gamma – více pronikavé), které jsou uloženy v bezpečnostních schránkách (olovo) a které vyzařují odkrytým otvorem.

Ionizační komora se skládá z válcové komory a sběrné elektrody, které jsou vzájemně izolovány (obr. 6.6 d)



Obrázek 6.6

a/ kapacitní snímač

b/ ultrazvukový snímač vzdálenosti

c/ optické poziční čidlo

d/ měření tloušťky materiálu radioaktivním snímačem

e/ měření rychlosti průtoku ultrazvukem

**Snímače rychlosti** jsou ve své podstatě **tachodynamy**. V silném magnetickém poli statoru s permanentními magnety se otáčí vinutý rotor s komutátorem. Z něj se odvádí **usměrněné napětí**. Jeho **velikost je úměrná rychlosti otáčení, polarita udává směr otáčení**.

**Binární snímače** mají **dvoustavový výstupní signál** (sepnuté nebo rozpojené kontakty, napětí 0 V/10 V, proud 0 mA/20 mA). Většinou obsahují některý z výše uvedených **analogových snímačů doplněný vyhodnocovací elektronikou**, která rozhoduje, zda byla překročena **prahová úroveň měřené veličiny**.

Diference mezi přepínací úrovní snímané veličiny pro přepnutí z 0 do 1 a přepínací úrovně pro přepnutí z 1 do 0 se nazývá **přepínací diference – hystereze**. Vyhodnocovací elektronika proto obsahuje **Schmittův obvod** – komparátor s hysterezí.

Snímače pohybu osob – čidlo PIR, snímače kouře, rozbití skla .viz kapitola Zabezpečovací technika.

## Automatizace 4

Ing. Jiří Vlček

Soubory At1 až At4 budou od příštího vydání (podzim 2008) součástí publikace Moderní elektronika. Slouží pro výuku předmětu automatizace na SPŠE.

### 7. Regulace

Úkolem regulace je přibližování nějaké veličiny k pevně zadané hodnotě, udržování nějaké veličiny na zadané hodnotě nebo přibližování regulované veličiny k postupně zadávaným odlišným hodnotám. Regulace je proces, který **udržuje (stabilizuje) nějakou fyzikální veličinu v blízkosti požadované hodnoty**, tj. stabilizuje regulovanou veličinu průběžně na hodnotě blízké hodnotě řídicí veličiny.

Při sprchování je např. požadována stálá teplota vytékající vody. Teplota vody musí být regulována (stabilizována) a je zde regulovanou veličinou, která je průběžně snímána a na základě její hodnoty je nastavována např. páka mísící sprchové baterie nastavující poměr studené a horké vody. Výchylka této páky je zde nastavovanou veličinou. Cílem regulace je stav, kdy skutečná hodnota teploty odpovídá požadované hodnotě teploty, tj. hodnotě řídicí veličiny. **Prvky zajišťující regulaci** vytvářejí svým vzájemným působením tzv. regulační okruh, nebo též **regulační smyčku**.

Regulace probíhá v uzavřené smyčce tvořené nastavovacím řetězem a **zpětnou vazbou regulované veličiny**.

**Rušení** stability nastavené regulační smyčky je v tomto případě způsobené např. změnou přítoku studené a teplé vody do mísící baterii. Ta je ovlivněna odběrem vody ve vedlejší místnosti, tj. **rušivou veličinou**. Potom dochází k **odchýlení skutečné hodnoty** teploty **od požadované** hodnoty teploty o tzv. **regulační diferenci**. Výchylka páky mísící baterie musí být nastavena na novou hodnotu. Je-li změna výchylny prováděna regulačním mechanismem příliš rychle, může prováděná změna vychýlit regulovanou veličinu opačným směrem a regulovaná soustava **kmitá**.

Optimalizaci regulační smyčky z hlediska rychlosti lze provádět nastavováním činitele zpětné vazby a rychlosti změny nastavované veličiny.

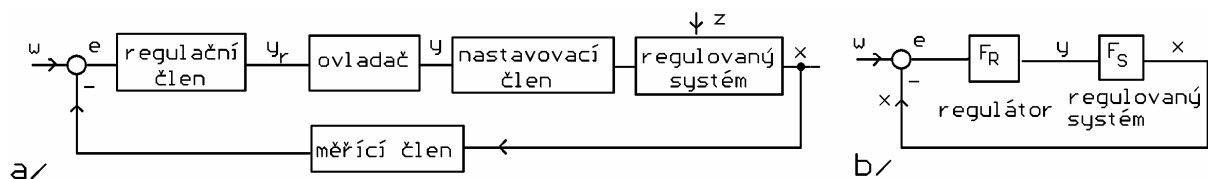
V regulační smyčce je **regulovaná veličina snímána a srovnávána v komparátoru s požadovanou hodnotou**. **Rozdíl požadované hodnoty  $w$  a skutečné hodnoty  $x$  je regulační diference  $e = w - x$** , která je regulačním členem **transformována na výstup regulátoru  $y_R$**  a tato veličina je vstupní veličinou **ovladače**, jehož výstupem je **nastavovací veličina  $y$** , která nastavuje pomocí **nastavovacího členu regulovanou veličinu  $x$** .

Ve výše uvedeném příkladu je regulovanou veličinou teplota vody, snímačem je lidská kůže, řídicí veličina je vůle člověka, nastavovací veličina  $y$ , je pohyb ruky, ovladačem je lidská ruka, nastavovacím členem je páková baterie. Rušivou veličinou je odběr vody ve vedlejší místnosti.

**Ve stabilizovaném stavu** regulační smyčky je **regulační diference velmi malá** nebo nulová. Při poruchách nebo změnách nastavení požadované hodnoty řídicí veličiny  $w$  roste regulační diference, která je změnou nastavovací veličiny  $y$  minimalizována. Aby nedocházelo ke kmitání v regulační smyčce, musí být zajištěno, aby změna nastavovací veličiny neprobíhala příliš rychle.

**Zjednodušené schéma** regulace obsahuje **regulátor a regulovaný systém**. Regulátor zde přímo řídí nastavování regulovaného systému nastavovacím signálem  $y$ .

Regulační smyčka se skládá z regulátoru a regulovaného systému.



Obrázek č. 7.0

a/ regulační smyčka s regulátorem, ovladačem, regulovaným systémem a měřicím členem

b/ zjednodušené schéma regulace

## Druhy regulace

Podle účasti člověka je možné regulace dělit na:

- **ruční regulace**, při kterých přebírá některé z funkcí v regulační smyčce člověk a
- **automatické regulace**, které pobíhají bez vlivu člověka, s výjimkou zadávání hodnoty řídicí veličiny, tj. požadované hodnoty regulované veličiny.

**Při regulaci na konstantní hodnotu** se regulátor stále pokouší **uvést skutečnou hodnotu** regulované veličiny **do souladu s požadovanou (řídicí) hodnotou**.

Rušivé vlivy v regulovaném systému způsobují jen malé nebo přechodné odchylky skutečné hodnoty od požadované hodnoty regulované veličiny.

Při **vlečné regulaci** regulátor způsobuje, že **regulovaná veličina sleduje s časovým zpožděním zadávanou řídicí veličinu** (je za ní vlečena).

Při změnách řídicí veličiny dochází přechodně k odchylkám regulované veličiny od řídicí veličiny.

Úlohou seřízení regulátoru je optimální nastavení parametrů regulátoru, které určují jeho **dynamické chování**, tj. časové zpoždění a zesílení, resp. celou časovou charakteristiku zpětné vazby. Dynamická charakteristika regulátoru, tj. schopnost reagovat na řízení i poruchy je **tím lepší, čím menší jsou časové konstanty regulačních mechanismů**, tj. čím vyšší je jmenovitý kmitočet regulační smyčky. **Zesílení zpětnovazebních signálů** je dané konstantou úměrnosti  $K$ , resp. strmostí charakteristiky zesilovače zpětnovazebního signálu.

Ke konstrukci a nastavení regulační smyčky je třeba znát vlastnosti jednotlivých členů regulační smyčky.

U níže uvedených regulačních obvodů nás zajímá především **odezva výstupu na vstupní skokovou funkci**. Ta odpovídá zadání nového požadavku na regulovanou veličinu (např. nové nastavení regulátoru teploty).

Dále nás zajímá výstupní **odezva na vstupní sinusovou funkci**.

## 7.1 Proporcionální člen bez zpoždění (P-člen)

výstupní signál  $S_2$  P-členu je proporcionální (přímo úměrný) vstupnímu signálu  $S_1$  (viz obr.7.1 a).

Funkční **závislost výstupu na vstupu** je dána násobením konstantním zesilovacím činitelem, tj.

**konstantou úměrnosti** (proporcionality)  $K_p$ .

Konstanta  $K_p$  se nazývá zesilovací činitel, i když je v některých případech menší než 1 a představuje zeslabení.

Příklady použití P-členu: převody zvyšující otáčky nebo převody zvyšující krouticí moment, elektronické zesilovače signálu a většina snímačů, např. tachodynamo pro snímání otáček.

Přesně vzato, reagují všechny reálné členy pro přenos signálu s nějakým zpožděním. Jsou-li však tato zpoždění vzhledem k požadované dynamice regulace velmi malá, např. zpoždění signálu ve snímači otáček ve srovnání se setrvačnými dobami změn otáček motoru, jsou tyto členy označovány jako členy bez zpoždění.

P-členy reagují **na vstupní skokový signál** opět **skokovou funkcí na výstupu**. Ve funkčních schématech je tento regulační člen označován grafem skokové odezvy.

Chceme-li zjistit zesilovací činitel P-členu, je třeba znát matematický vztah mezi velikostí výstupního signálu  $S_2$  a velikostí vstupního signálu  $S_1$ . Není-li vztah známý, je třeba zjistit  $K_p$  z charakteristiky nebo z výsledků měření.

## 7.2 Proporcionální člen se zpožděním 1. řádu (PT<sub>1</sub>-člen)

PT<sub>1</sub>-člen má výstupní odezvu proporcionální s určitým zpožděním vstupnímu signálu.

Charakteristikami PT<sub>1</sub>-členu jsou **konstanta úměrnosti (zesilovací činitel)  $K_p$**  a **konstanta časového zpoždění  $\tau$** .

**Odezvou  $S_2$  na skokovou vstupní funkci  $S_1$  je exponenciální funkce odpovídající přechodnému jevu při nabíjení kondenzátoru ve stejnosměrném obvodu, tedy**

$S_2 = K_p [1 - e^{-(t/\tau)}]$ , kde  $e = 2, 71828\dots$ ). Po době  $t = 3 \tau$  má mocnina  $e^{-(t/\tau)}$  hodnotu 0,05. Výstupní funkce tak nabývá 95 % své konečné hodnoty a přechodný jev považujeme za ukončený. V ustáleném stavu má výstupní funkce má hodnotu  $K_p$  krát větší než vstupní funkce.

Příklady **PT<sub>1</sub>-členů** jsou zařízení absorbující část energie vstupního signálu, např. obvody s nezanedbatelnou vstupní kapacitou - **dolní propusti RC** nebo **části zařízení absorbující jiný typ energie**. Příkladem může být stejnosměrný motor s určitým setrvačným momentem rotoru, který reaguje na změnu napětí změnou otáček postupně a ne okamžitě při změně napětí na rotoru. Proporcionální člen se zpožděním prvního řádu je charakterizován **zásobníkem energie a časovou konstantou**.

Příklad: Při zapnutí rotačního pohonu (motoru) s velkým momentem setrvačnosti je náběh otáček nejprve rychlý a pak se otáčky pomalu přibližují ustálené hodnotě. Pohon se chová jako proporcionální člen se zpožděním 1. řádu. Časová konstanta je tím větší, čím větší je moment setrvačnosti  $J$  (ovlivněný rozložením hmoty kolem osy rotace), resp. čím menší je tuhost otáček  $M/n$  (tj. čím větší je rozpětí otáček při určitém rozpětí krouticího momentu). Zvýšené napětí na kotvě zvětší strmost (rychlost) náběhu otáček i ustálené otáčky při nezměněné časové konstantě  $\tau$ .

Odezvou PT<sub>1</sub>-členů na sinusový signál je rovněž sinusový výstupní signál. Při rostoucím kmitočtu klesá výstupní amplituda, protože nabíjení a vybíjení zásobníku energie nestačí sledovat rychlé změny.

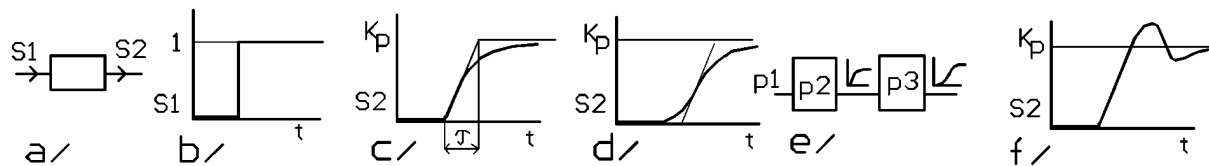
PT<sub>1</sub>-člen vyhlazuje průběh střídavých signálů vysokých kmitočtů.

PT<sub>1</sub>-člen se proto také nazývá **dolní kmitočtová propust 1. řádu**, protože propouští nízké kmitočty a potlačuje vysoké kmitočty. PT<sub>1</sub>-člen je charakterizován úhlovým kmitočtem

$$\omega_m = 2\pi f_m, \quad \omega_m = 1/\tau \dots \quad \text{viz známý vzorec } f_m = 1/2\pi RC \dots$$

Člen PT<sub>1</sub> zpožďuje časově vstupní signál a dochází k fázovému posunu výstupního signálu oproti vstupnímu signálu. Fázový úhly je v rozsahu od  $\varphi = 0^\circ$  při úhlovém kmitočtu  $\omega = 0$  do  $\varphi = -90^\circ$  při úhlovém kmitočtu  $\omega \rightarrow \infty$ . Při kmitočtu  $\omega_m$  je fázový posun  $\varphi = -45^\circ$ .

PT<sub>1</sub>-členy způsobují **fázový posun mezi vstupním a výstupním signálem**.



Obrázek 7.1

a/ značka regulačního členu, S1 vstupní veličina, S2 výstupní veličina

b/ skoková funkce

c/ proporcionální člen se zpožděním 1. řádu (odezva na skokovou funkci)

d/ proporcionální člen se zpožděním 2. řádu (odezva na skokovou funkci)

e/ soustava se zpožděním 2. řádu – 2 tlakové zásobníky

f/ kmitavý člen

### 7.3. Proporcionální člen se zpožděním 2. řádu (PT<sub>2</sub>-člen) a kmitavý člen

PT<sub>2</sub>-člen se skládá ze dvou za sebou zapojených PT<sub>1</sub>-členů. Signál zpoždění prvním PT<sub>1</sub>-členem je znovu zpožděn druhým PT<sub>1</sub>-členem absorbujícím (a pak uvolňujícím) energii. Na skokový vstupní signál reaguje PT<sub>2</sub>-člen přenosovou funkcí tvaru protaženého S. Průběh signálu má v počátku vodorovnou směrnicí, vzniká tzn. **dopravní zpoždění**.

Příklad (obr. 7.1 e): Tlakový zásobník 1 je na vstupu plněn plynem pod tlakem  $p_1$  a z jeho výstupu je veden plyn pod tlakem  $p_2$  do tlakového zásobníku 2, na jehož výstupu má tlak  $p_3$ . Tlak  $p_3$  však stoupá pomaleji než tlak  $p_2$ . Graf průběhu skokové odezvy této soustavy má v počátku (v čase  $t = 0$ ) vodorovnou směrnicí, jeho strmost se zvětšuje do inflexního bodu (ve kterém přechází tečna z jedné strany křivky na druhou) a pak zase klesá k nule. Pomocí tečny v inflexním bodě a jejich průsečíků s vodorovnými tečnami křivky jsou získány časové úseky  $T_u$  (čas zpoždění) a  $T_g$  (čas vyrovnání).

**Proporcionální člen se zpožděním druhého řádu má nejméně dva zásobníky energie zařazené za sebou.**

**Kmitavý člen** obsahuje rovněž dva zásobníky energie, které se střídavě nabíjejí (plní) a vybíjejí (vyprazdňují). Protože se však přitom část energie mění v teplo, má odezva členu na skokovou funkci tvar průběhu tlumených kmitů.

Kmitavý člen je charakterizován (určen) jmenovitým **úhlovým kmitočtem**  $\omega_0 = 2\pi f_0$  a **činitelem tlumení D**.

Při **D = 0** dochází k **netlumenému kmitání** (sinusový průběh, amplituda se nezmenšuje).

Při hodnotách **D = 0 až 1** je **průběh kmitů tlumený**. (viz obr 7.0 f)

Při **D > 1** má kmitavý člen vlastnosti členu  $PT_2$ , **aperiodický přetlumený průběh** (viz obr.7.1 d)

Při **D = 1** dosáhne regulovaná soustava bez překmitů a v nejkratší době ustáleného stavu. Toto nazýváme **kritické tlumení**. V mnoha případech se považuje za optimální mírně podkritické tlumení (např. u ručkových měřicích přístrojů).

**Fázový posuv** mezi vstupním a výstupním signálem se mění od  $0^\circ$  pro  $f = 0$  do  $-180^\circ$  pro  $f \rightarrow \infty$ . Pro  $f_0$  je úhel posunutí  $-90^\circ$ .

Kmitavé členy případně  $PT_2$ -členy se používají také jako **dolní kmitočtové propusti** (druhého řádu). Ořezávají (silně utlumují) ostře kmitočty vyšší než  $f_0$ , a to strměji než pásmové propusti prvního řádu.

Kmitavé členy s malým tlumením se používají jako **oscilátory**, např. při měření času. V hodinách jsou takové oscilátory řízené křemenným krystalem s vlastním kmitočtem několika MHz.

V kmitavém členu dochází k výměně energie mezi dvěma zásobníky.

Příkladem **mechanického oscilátoru** je kulička zavěšená na pružině nebo kyvadlo. Dochází zde k opakované přeměně mezi **kinetickou** (pohybovou) a **polohovou energií**.

Vedle mechanických kmitavých členů existují také **elektrické kmitavé členy**, ve kterých dochází k **výměně energie mezi cívkou** (magnetickým polem) a **kondenzátorem** (elektrickým polem).

Mechanické i elektrické oscilátory se řídí stejnými zákonitostmi, jsou popsány stejnými rovnicemi (diferenciální rovnice 2. řádu).

## 7.4 Integrační člen (I-člen)

Výstupem integračního členu je signál odpovídající průběhem **integrálu funkce vstupního signálu**.

**Integrovaní** spočívá v **průběžném přičítání vstupních hodnot** (integrace podle času). Integrační časová konstanta  $T_1$  udává čas, ve kterém (od  $t = 0$ ) dosáhne výstupní funkce hodnoty 1 při konstantní vstupní funkci se hodnotou 1. Převrácená hodnota integrační konstanty  $T_1$  se nazývá integrační činitel  $K_I$ . Platí  $K_I = 1/T_1$ .

Odezvou integračního členu na sinusový vstupní signál je rovněž sinusový výstupní signál. Při malých kmitočtech sinusového signálu, tj. při  $\omega \ll \omega_0 = 1/T_1$  má výstupní signál mnohem větší amplitudu než při velkých kmitočtech. Při  $\omega = \omega_0$  jsou amplitudy vstupního i výstupního signálu stejné. S rostoucím kmitočtem amplituda výstupního signálu klesá, pro  $f \rightarrow \infty$  je nulová. Fázový posuv na integračním členu je stále  $-90^\circ$ , tzn. že výstupní signál je zpožděn za vstupním signálem.

Integrační členy vznikají při časovém převodu těchto veličin:

- rychlosti na dráhu,
- zrychlení na rychlost,
- otáček na úhle otáčení,
- průtoku na objem látky,
- elektrického proudu na elektrický náboj,
- kmitočtu impulsů na napětí.

Integrační zesilovač můžeme realizovat pomocí OZ. V obvodu zpětné vazby zapojíme kondenzátor, který omezuje přenos vyšších kmitočtů.

Přibližně platí

$$A_u = -X_c / R_1, \text{ kde } X_c = 1 / 2\pi f C \qquad f_m = 1 / 2\pi R_1 C$$

**Pro stejnosměrné napětí** by zesílení bylo **nekonečně velké**, což by nebylo vhodné. Paralelně ke kondenzátoru proto zapojíme rezistor  $R_2$ , (který je větší než  $R_1$ ).

Pro  $f < 1/2\pi R_2 C$  bude potom přenos  $A_u = 20 \log (R_2/R_1)$  (viz obr 7.2 a, c)

## 7.5 Derivační člen (D-člen)

Tvar výstupní funkce (signálu) derivačního členu odpovídá **derivaci vstupní funkce** (vstupního signálu). **Derivace** odpovídá **směrnici tečny**, nebo též strmosti grafu vstupního signálu, tj. stoupání (nebo klesání) funkce. Odezvou D-členu na skokovou změnu (skokovou funkci) je jehlový impuls. Odezvou D-členu na lineárně rostoucí funkci (signál) je konstantní funkce (signál). Matematicky vyjádřeno (derivací):  $y = (k \cdot x)' = k$ , kde  $k$  je konstanta.

D-členy na vstupu operačních zesilovačů mohou sloužit např. k derivování signálu snímače. Je-li tímto signálem údaj dráhy (polohy)  $x$  je derivací toho signálu signál udávající rychlost  $v_x = dx/dt$  (první derivace dráhy podle času).

Derivační členy zesilují vysokofrekvenční signály.

Derivační zesilovač můžeme realizovat pomocí OZ. Do vstupu invertujícího zesilovače zapojíme kondenzátor, který omezuje přenos nízkých kmitočtů.

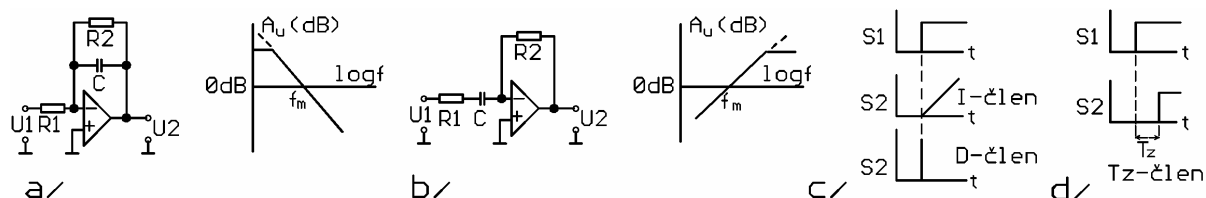
Přibližně platí

$$A_u = -R_2 / X_c, \text{ kde } X_c = 1 / 2\pi f C$$

$$f_m = 1 / 2\pi R_2 C$$

Pro nekonečně **vysoký** vstupní **kmitočet** by **zesílení** bylo **nekonečně velké**, což by nebylo vhodné. Zesilovač by nadměrně zesiloval šum a různé vysokofrekvenční signály. Do série s kondenzátorem proto zapojíme rezistor  $R_1$  (menší než  $R_2$ ).

Pro  $f > 1/2\pi R_1 C$  bude potom přenos  $A_u = 20 \log (R_2/R_1)$  (viz obr 7.2 b, c)



Obrázek 7.2

a / integrační zesilovač a jeho kmitočtová amplitudová charakteristika (čárkovaně bez  $R_2$ )

b derivační zesilovač a jeho kmitočtová amplitudová charakteristika (čárkovaně se zkratovaným  $R_1$ )

c / odezva integračního a derivačního členu na skokovou funkci

d / odezva zpožďovacího členu na skokovou funkci ( $T_z$  – zpoždění)

## 7.6 Zpožďovací člen ( $T_z$ -člen)

Odezvou zpožďovacího členu na skokovou změnu vstupního signálu je **časově zpožděná skoková změna výstupního signálu**. Změna (reakce) na výstupu následuje po určitém (mrtvém) čase  $T_z$ , tj. po určitém zpoždění viz obr. 7.2 d).

Zpožďovací členy jsou používány při počítačovém zpracování signálů.

Dalšími příklady zpožďovacích členů jsou všechny systémy s určitou dobou přenosu signálu ze vstupu na výstup.

Ke zpoždění signálu může docházet tím, že je výstupní veličina měřena s určitým zpožděním za účinkem vstupní veličiny, např. síla válcovaného materiálu může být měřena v určité vzdálenosti za nastavovanou vzdáleností mezi válci, nebo např. koncentrace kyseliny může být měřena v určité vzdálenosti za místem míchání s vodou, čidlo měření teploty nemůže být v těsné blízkosti topného tělesa.

Při vytápění obytných prostor dochází ke zpoždění ohřevem vody v ústředním topení, dobou než se z kotelny dostane do obytných místností a dobou než se od ní ohřeje vzduch, který ovlivní čidlo snímání teploty. Tato skutečnost může být příčinou rozkmitání celé soustavy.

Zjednodušený pohled na problematiku regulace najde čtenář v kapitole Regulace a automatizace, která se zabývá obvodovou realizací různých regulátorů teploty (v místnosti, v akváriu, na hrotu pájecího pera). Je zde použit proporcionální regulátor. Tam, kde dochází k příliš velkému zpoždění, hrozí zátky. V takovém případě je jedním z možných řešení v průběhu regulace měnit zesílení (v daném případě výkon topení). K této změně lze např. použít pulsní šířkovou modulaci (PWM).

## 7.7 Regulátory a regulační obvody

### Součinnost více tvarovacích členů

K dosažení potřebného účinku při tvarování signálů se spojují tvarovací obvody (členy) do řetězce za sebe tak, že výstup z jednoho členu je vstupem pro následující člen a výstup z posledního členu je výstupem celého řetězce.

Při **sériovém** spojení obvodů pro tvarování signálů se jejich **zesílení násobí**.

**Fázová posunutí** signálu způsobená každým členem řetězce **se sčítají** a celkové fázové posunutí se rovná součtu fázových posunutí jednotlivých členů, a to při určitém uvažovaném kmitočtu přenášeného (a tvarovaného) signálu (viz obr.7.3 a).

**Spínací** (přepínací) regulátory mění nastavovací veličinu přepínáním dvou nebo několika hodnot (stupňů). Obsahují spínací kontakty nebo elektronické spínací obvody řízené pomocí klopných obvodů.

**Analogové** regulátory představují stále (plynule) nastavovací člen. Jejich základním prvkem je většinou operační zesilovač.

**Číslicové** regulátory mění nastavovanou veličinu stupňovitě. Při mnohastupňové regulaci může být regulace jemná a plynulá téměř jako analogová regulace. Číslicové regulátory bývají většinou řízené mikrokontrolérem.

### Spínací regulátory (viz obr.7.3 b)

Dvoustavové regulátory mají **dva** rozlišitelné **stavy** nebo též polohy. Používají se např. k regulaci teploty. **Bimetalový** regulátor spojuje v jedné jednotce **snímač, komparátor a spínač**. Překročí-li skutečná teplota požadovanou hodnotu, prohne se bimetalový pásek a odpojí topení. Klesne-li regulovaná teplota pod dolní mezní hodnotu, zapne bimetalový spínač znovu topení. Aby kontakty při malé vzdálenosti nejiskřily, je sepnutí (i odtrh) urychleno trvalým magnetem, který při rozpínání pozdrží rozpojení a kontakty jsou pak odtrženy od sebe při napružení bimetalového pásku, tedy rychleji a do dostatečné vzdálenosti. Vlivem tohoto trvalého magnetu existuje přepínací diference (hystereze) mezi vypínací teplotou a zapínací teplotou.

Spínací regulátory se používají nejen k regulaci teploty, ale také často k regulaci tlaku a výšky náplně zásobníku. Klesne-li tlak v zásobníku stlačeného vzduchu pod přípustnou mez, je pomocí tlakového snímače zapnut motor kompresoru. Dosáhne-li tlak horní přípustné hranice, je motor vypnut.

Čím větší je přepínací diference, tím více kolísá (kmitá) regulovaná veličina kolem požadované hodnoty. Přepínací diference se nazývá **hystereze regulátoru**.

### Analogové regulátory

Analogové regulátory jsou regulátory, které mohou nastavit nastavovací veličinu na kteroukoliv hodnotu mezi oběma krajními hodnotami spojitého rozsahu. Jsou také označovány jako spojitě regulátory. Nejdůležitějšími analogovými regulátory jsou P-regulátor, PI-regulátor a PID-regulátor.

**P-regulátor** (proporcionální regulátor) je **nejjednodušší** regulátor. **Zesiluje regulační diferenci a pak ji používá jako nastavovací veličinu. Čím větší je zesílení regulátoru, tím rychlejší je regulace i náchylnost regulátoru ke kmitání.** P-regulátory pracují **bez zpoždění**. Jsou tvořeny **operačním zesilovačem** (invertující zapojení)

**PI-regulátor** vytváří **nastavovací veličinu součtem dvou složek**. Jedna složka je tvořena proporcionální odezvou na regulační diferenci (**P-složka**) a druhá integrální složka (**I-složka**) je úměrná součinu P-složky a času.

Elektronický PI-regulátor je kombinací P-regulátoru a I-regulátoru. PI-regulátory se často používají k regulaci otáček, protože díky I-členu úplně odstraňují regulační diferenci, neboť I-složka má zpožděnou účinnost.

PI-regulátor zesiluje a integruje regulační diferenci. Díky tomu je nastavovací člen účinně přestavován a odstraní úplně regulační diferenci.

### PID-regulátor

Nejuniverzálnějším regulátorem je PID-regulátor. Nastavovací signál je tvořen **váženým součtem** proporcionální odezvy na regulační diferenci (tj. zesílené regulační diference, tedy **P-složky**),

integrálu P-složky (**I-složky**) a derivace P-složky (**D-složky**). Při vzniku regulační diference vytváří P-složka okamžitě trvalou složku nastavovacího signálu. I-složka vytváří účinnou složku nastavovacího signálu i při nepatrné regulační diferenci, kterou může odstranit v prakticky dosažitelném čase. D-složka se uplatní jen při změnách regulační diference a může předvídavým překmitem nastavovacího signálu urychlit vyrovnání náhle vzniklé regulační diference.

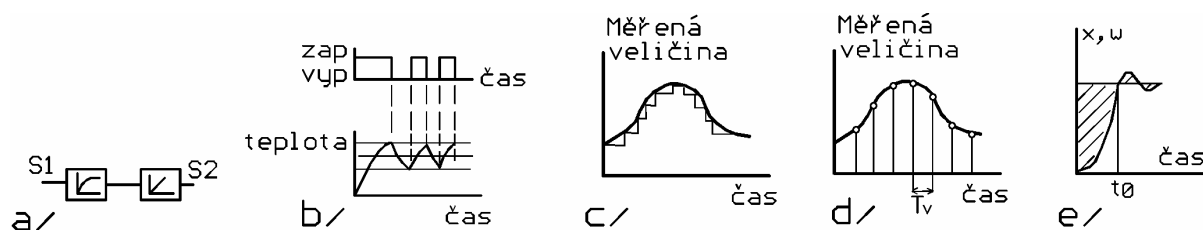
### Číslicová regulace

Úlohou řídicích počítačů v zařízeních je řízení regulace. V jednotlivých případech se jedná o **snímání hodnot veličin**, informujících o stavu procesu, např. teploty, dráhy, tlaku nebo otáček, jejich **porovnávání s mezními hodnotami** vypočtenými z hodnot řídicích veličin a **výpočty hodnot nastavovacích signálů**.

Nastavovací veličiny, např. napětí na motoru, ovlivňují proces a tím opět snímané stavové veličiny. Tím je tvořena uzavřená regulační smyčka mezi regulovaným procesem a regulátorem, který je realizovaný jako počítačový program. Úlohou počítače je tedy počítat regulační diferenci a v souladu s naprogramovanými vlastnostmi regulátoru vypočítávat hodnoty nastavovací veličiny a odpovídající signál předávat akčnímu členu v řízeném či regulovaném procesu. Počítač také zpravidla kontroluje, zda nepřekračuje regulační diference meze bezpečnosti a dohlíží tak na bezpečnost regulovaného procesu.

K číslicové regulaci může být použit mikropočítač nebo desky číslicové regulace (s mikrokontroléry) pro programovatelné automaty.

**Samooptimalizující** nebo též **adaptivní** regulační systém může být **programovou změnou parametrů upravován a přizpůsobován regulovanému procesu tak, aby byla regulace optimální**, tj. rychlá a bezpečná (bez nebezpečného kmitání).



Obrázek 7.3

a/ kaskádní zapojení zpožďovacího a integračního členu

b/ řízení teploty spínacím regulátorem

c/ digitalizace analogového signálu (silně analogová veličina, slabě digitalizovaná veličina)

d/ vzorkování analogového signálu ( $T_v$  perioda vzorkování,  $f_{vzork} = 1 / T_v$ )

e/ odezva optimálně nastavené regulační smyčky (vyšrafovaná plocha musí být co nejmenší)

### Digitalizace a vzorkování signálu

Analogové veličiny sledované jako parametry regulovaného procesu musí být pro účely číslicového zpracování popisovány čísly s určitou přesností, tj. stupni (dílký) určité diskrétní stupnice. Podle počtu rozlišitelných stupňů měřeného rozsahu je třeba volit šířku slova při ukládání číselných hodnot s odpovídající přesností do paměti počítače. **Numerická rozlišitelnost počítače** by měla být výrazně **větší, než rozlišitelnost snímače** v regulované smyčce, aby byla chyba způsobená zpracováním dat co nejmenší. Při malé numerické rozlišitelnosti, tj. při příliš hrubém měřítku digitalizace by se mohlo stát, že by při malých rychlostech posunu docházelo ke změně polohy o jeden dílek ve velkých časových intervalech a s rostoucí dobou mezi odečty změn by nebyl údaj při malé změně v každém snímacím (a výpočetním) cyklu aktualizován, což by mohlo být zdrojem chyb.

Číslicový počítač nemůže zpracovávat kontinuálně analogové signály z procesu jako analogový regulátor, ale může snímat nebo též odečítat či **vzorkovat** periodicky jejich **okamžité hodnoty**, např. s opakovací periodou 10 ms. Mluvíme pak o **časové diskretizaci**.

Číslicová regulace pracuje s hodnotově a časově diskretizovanými proměnnými, tj. přiřazuje v diskrétních časech snímaným hodnotám diskrétní hodnoty (viz obr.7.3 c).

Časově a hodnotově kontinuální signály, tj. signály se spojitým průběhem, jsou **digitalizovány pomocí A/D převodníku**, spínače a paměťového členu (paměti odečtené hodnoty, tj. vzorku signálu). Snímání (přenos do počítače) digitalizovaných hodnot se uskutečňuje periodicky s periodou  $T_A$  v krátkých časových okamžicích (časová diskretizace, viz obr.7.3 d).

Časově a hodnotově diskretizovaný signál schodovitěho průběhu odpovídá původnímu spojitému signálu **tím přesněji, čím větší je vzorkovací kmitočet**  $f_A = 1/T_A$  a **čím větší počet stupňů má A/D převodník**. Maximální možný vzorkovací kmitočet je dán délkou regulačního programu, který může regulovat i více smyček, a rychlostí počítače.

Snímání vzorků signálu a jejich uchovávání ve stupních pamětech způsobuje (vzorkovací) **zpoždění za původním signálem**, odpovídající polovině snímací (vzorkovací) periody. Tento časový posun působí stejně jak fázový posun a ovlivňuje regulační smyčku v souvislosti se sklonem ke kmitání podobně nepříznivě, jako např. zpožďovací člen (který může obrátit fázi zpětné vazby a způsobit oscilace). Fázový posun způsobený ukládáním vzorků do vyrovnávacích (vstupních) pamětí narůstá s rostoucím kmitočtem signálu, tj. s rostoucí rychlostí dějí snímaného a regulovaného procesu.

**Vzorkovací (snímací) kmitočet** regulátoru by měl být při číslicové regulaci s ohledem na přesnost regulace **co největší**.

### Regulace P-systémů

V regulačních smyčkách, obsahujících regulované systémy charakterizované lineárními zpožděnými přenosy, tj. proporcionální systémy, jsou většinou používány PI-regulátory nebo PID-regulátory.

Při rychlých změnách řídicí veličiny (regulaci rychlých dějů) se používají **PI-regulátory**.

Řídicí veličina se rychle mění při vlečné regulaci, kdy je regulovaná veličina e stálém vleku (se stálou regulační diferencí) za řídicí veličinou bez nebezpečí překmitu. PID-regulátor je pro děje se prudkými změnami nevhodný pro jeho překmit při prudké změně způsobené jeho derivačním členem, který zde není výhodou, ale v tomto případě jen možnou příčinou nelinearity.

**PID-regulátor** je efektivní při **regulaci pevné hodnoty**, při které je regulační diference vyvolávaná rušivými vlivy, tj. např. při regulaci pevně nastavené teploty.

### Regulace I-systémů

Při regulaci systémů obsahujících integrující prvky (I-členy) jsou ve vlečných regulačních smyčkách používány většinou P-regulátory.

### Nastavení regulátoru

Dobrá regulace je podmíněna dobrým nastavením regulátoru. Regulátor je většinou nastavován tak, aby **při skokové změně řídicí veličiny w dosáhla regulovaná veličina x co nejdříve nově nastavené požadované hodnoty**  $x_{poz}$  a přitom **jen málo** a krátkodobě tuto požadovanou hodnotu  $x_{poz} = w$  **překmitla**. Rychlost je posuzována podle doby regulační odezvy  $t_0$ , za kterou dosáhne regulovaná veličina poprvé nově nastavené hodnoty. **Doba regulace**  $t_r$  je doba, po které se po skokové změně řídicí veličiny zmenší rozkmit oscilací kolem nově nastavené hodnoty w pod předepsané rozpětí, většinou 10 % w. Regulátor je nastavován pomocí parametrů  $K_{PR}$  (konstanta úměrnosti),  $T_n$  (časové integrační konstanta) a  $T_v$  (časová derivační konstanta). Velká hodnota  $K_{PR}$  při malé hodnoty  $T_n$  vede vždy k silnému kmitání (s velkým rozkmitem) nebo k dlouhému (málo tlumenému) kmitání, vede tedy k nestabilitě regulační smyčky.

Regulační smyčka je většinou **optimálně nastavena**, nabývá-li **regulační plocha** (viz obr 7.3 e) **nejmenší** hodnoty.

**Samooptimalizující regulátory obsahují mikrokontrolér**, který mění parametry a **počítá regulační plochu tak dlouho, až najde její minimum**. Při výpočtech může být regulační smyčka simulována matematickým modelem regulovaného systému a regulačním algoritmem, jehož parametry jsou měněny.

**Dynamika regulační smyčky otáček** závisí především na momentu setrvačnosti pohonu a na maximálním krouticím (točivém) momentu motoru pohonu. Je snahou mít pohon s **malým setrvačným momentem** a s **velkou rezervou výkonu** resp. krouticího momentu, tj. s malou časovou konstantou  $T_A$ .

## **Literatura:**

- 1/ Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku, Dietmar Schmid a kolektiv, Sobotáles, 2005
- 2/ Snímače v motorových vozidlech, Bosch 2001

## Regulace teploty v budovách

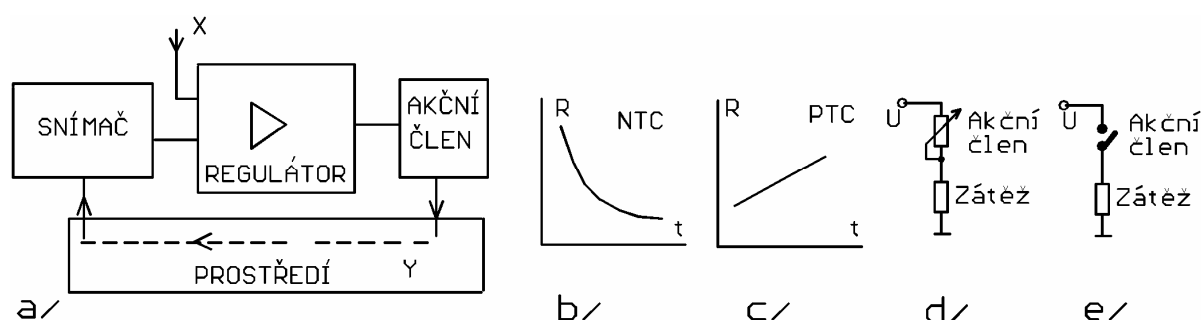
Ing. Vlček

Tento článek se zabývá konkrétní aplikací poznatků z automatizační a regulační techniky. Jeho obsah se z větší části překrývá s texty v publikaci *Moderní elektronika*

K pochopení této problematiky si musíme objasnit základy regulace.

Definujeme **regulovanou soustavu**, ve které se nachází **snímač měřené veličiny**. V našem případě se jedná o termistor (odpor, jehož velikost se mění s teplotou). V jiných aplikacích by jím mohl být fotoodpor, snímač tlaku, snímač vlhkosti, apod. Dále potřebujeme **akční člen**, který zajišťuje úpravu měřené veličiny. V našem případě se jedná o obvod, který spíná elektrické topení (přímotop), plynový kotel, ventily nebo čerpadlo ústředního topení. V jiných aplikacích je akčním členem spínač osvětlení, motor, ventilátor, siréna, apod.

Regulovaná soustava dále obsahuje **řídící obvod** (regulátor), který na základě úrovně měřené veličiny snímané snímačem a na základě požadované hodnoty této veličiny **X** provádí pomocí akčního členu její regulaci (obr. 1a).



Obrázek č. 1

a/ Blokové schéma regulované soustavy

b/ Závislost odporu na teplotě u čidla NTC

c/ Závislost odporu na teplotě u čidla PTC

d/ Princip spojitě regulace

e/ Princip nespojitě regulace

S regulovanými soustavami se setkáváme velmi často. Příkladem hydromechanické soustavy je třeba splachovací zařízení nebo zařízení udržující konstantní tlak vody v potrubí (když voda odtéká, klesne tlak, tlakový spínač sepne čerpadlo, tlak vzroste, expanzní nádoba se naplní vodou, tlakový spínač vypne čerpadlo).

Dá se matematicky odvodit, že **všechny regulované soustavy se řídí stejnými zákonitostmi** a že jejich chování můžeme popsat pomocí stejných matematických rovnic (diferenciální rovnice 2. řádu, řešení pomocí Laplaceovy transformace). Regulovaná soustava se řeší pomocí diferenciálních rovnic. Označíme si jako **řídící veličinu X** například **požadovanou teplotu** v místnosti, kterou nastavujeme (ručně knoflíkem nebo automaticky pomocí programu).

**Řízenou veličinou Y** bude skutečná teplota v místnosti.

**Z odezvy řízené veličiny Y na skokovou změnu řídící veličiny X** (např. když ve studené místnosti nastavíme náhle vyšší teplotu) lze zjistit **vlastnosti regulované soustavy**.

Jinak se bude chovat zděný dům s velkou **tepelnou kapacitou**, jinak dům postavený z dřevotřískových desek, který se dá vytopit na požadovanou teplotu podstatně rychleji.

Jinak se bude chovat dům vytápěný elektrickým přímotopem (topný výkon začne okamžitě ohřívat vzduch), jinak dům s ústředním topením (nejprve se ohřívá voda v otopném systému, teprve později se od ní začne ohřívat vzduch). Tak vzniká **dopravní zpoždění**.

Čidlo snímání teploty musí být umístěno v přiměřené vzdálenosti od topení. Pokud by bylo příliš blízko, často by se topení zapínalo a vypínalo, soustava by měla snahu kmitat. Při jejich velké vzájemné vzdálenosti bude mít soustava velkou **hysterezi**. Dlouho potrvá než se teplo dostane od topení k čidlu, mezitím teplota roste nad nastavenou mez a dochází k jejímu překmitu.

Elektrický řídicí obvod (regulátor) se snažíme navrhnout tak, aby svými vlastnostmi kompenzoval dopravní zpoždění a setrvačnost soustavy (viz dále). Cílem je dosažení **co možná nejrychlejšího zaregulování** (aby skutečná teplota odpovídala nastavené teplotě) **s minimalizací překmitů** teploty.

Nyní se budeme zabývat soustavami, které slouží k regulaci neelektrických veličin pomocí elektrických obvodů. Nejznámějším a nejrozšířenějším případem je regulace teploty, ať už v obytném domě, v nádrži s vodou (akvárium) nebo třeba na hrotu pájecího pera. Proto si na jejím příkladu celou problematiku vysvětlíme. Níže uvedené zákonitosti ale mají obecnou platnost bez ohledu na absolutní velikost regulovaného výkonu. Dají se rovněž aplikovat i na regulaci jiných veličin (otáčky motoru, osvětlení, výška vodní hladiny, tlak, vlhkost, apod).

Regulaci většinou provádíme pomocí **zpětnovazební smyčky**. Snímač (termistor) převádí neelektrickou veličinu (teplotu) na elektrické veličiny – odpor, napětí. Ty se v **zesilovači odchytky** porovnávají s referenčními hodnotami, pomocí kterých si nastavíme požadovanou hodnotu regulované veličiny (teploty). Změna regulované veličiny (ochlazení) vyvolá rozdílové napětí, které zesilovač odchytky zesílí. Toto zesílené napětí napájí **akční člen** (topení), který uvede řízenou veličinu zpátky na správnou hodnotu.

K měření teploty můžeme použít buď termistor s negativním teplotním součinitelem odporu (NTC, odpor klesá s teplotou, viz obr. 1b) nebo termistor s pozitivním teplotním součinitelem odporu (PTC, odpor roste s teplotou, viz obr. 1c.)

K měření teploty někdy využíváme i **termočlánek**, který pracuje na principu **termoelektrického jevu** mezi dvěma kovy. Jeho výstupní napětí je řádově několik milivoltů.

V současnosti jsou na trhu i přesná polovodičová čidla pro měření teploty.

Rozlišujeme dva způsoby regulace, **spojitou** a **nespojitou**.

Při **spojité regulaci** je **akční člen** (tranzistor připojený k výstupu OZ) **řízen plynule se měnícím napětím**, řízení probíhá spojitě. Při regulaci teploty to znamená, že při velkém rozdílu požadované a skutečné teploty pracuje topení na plný výkon. S rostoucí teplotou zahříváního prostoru tento výkon postupně klesá. Při dosažení požadované (nastavené) teploty se topný výkon sníží na hodnotu, která se rovná úniku tepla z vyhříváního prostoru do okolí. Spojitou regulaci si můžeme představit jako proměnný odpor, který plynule reguluje proud tekoucí do zátěže a tím i tepelný výkon zátěže (viz obr. 1.d).

**Nevýhodou spojitě regulace** jsou velké **výkonové ztráty** (až čtvrtina maximálního dosažitelného výkonu) na akčním členu. Ve většině případů (při regulaci větších výkonů) je tento způsob regulace i přes vysokou přesnost nevýhodný a nepoužitelný. Např. v sérii s elektrickým přímotopem by musel být regulátor, na kterém by se ztrácel výkon až jednotek kilowattů. Při regulaci teploty v budovách se tato regulace může uplatnit pouze při použití trojcestných ventilů, jejichž poloha se plynule nastavuje. Při **nespojité regulaci** (viz zapojení na obr. 1e) se **řídicí napětí mění skokově, řídicí člen pracuje jako spínač**. Nespojité regulaci dáme přednost tehdy, není-li nutné trvalé působení akčního členu. Např. topení se může střídavě zapínat a vypínat, aniž by to vadilo jeho funkci. Je-li perioda tohoto spínání výrazně kratší než časová konstanta regulace, uživateli to nemůže vadit. Při regulaci jiných veličin (osvětlení) to často možné není.

Při nespojité regulaci se řízená veličina Y (teplota) stále pohybuje okolo nastavené hodnoty podle toho, jak je akční člen (topení) zapínán a vypínán.

**Výhodou nespojité regulace** jsou **minimální ztráty** na řídicím členu. Regulační obvod pracuje s vyšší účinností, zmenšují se požadavky na jeho chlazení na minimum. Na ideálním sepnutém spínači nejsou žádné tepelné ztráty, ztráty na polovodičových spínačích (tranzistor, tyristor, triak) tvoří řádově 1 % spínáního výkonu.

Jako **výstupní spínací obvody** se dříve používaly **relé** a **stykače** (elektrický proud vytváří v cívice magnetické pole, které sepne spínač). Nyní se stále více dává přednost polovodičovým prvkům (vyšší životnost - bezkontaktní spínání, větší rychlost, menší rozměry, nižší cena). Ke galvanickému oddělení řídicích a výkonových obvodů se stále častěji používají **optotriaky** a **polovodičová relé** (SSR). Pomocí malých řídicích napětí a proudů (jednotky voltů, jednotky miliampér) můžeme spínat i velké výkony.

Při dosažení rovnovážného stavu má regulovaná soustava snahu kmitat. Zařízení se vlivem rušivých indukovaných napětí stále zapíná a vypíná ve velmi krátkých časových intervalech. To působí hluk a nadměrné opotřebení spínacích kontaktů.

Z těchto důvodů musíme při nespojité regulaci zavést do řídicího obvodu **hysterezi**. Hystereze řídicího obvodu ale nemá být zbytečně velká, aby zbytečně nezvyšovala celkovou hysterezi soustavy, viz dále. Pokud např. nastavíme požadovanou teplotu v místnosti 20 °C, topení se zapne, pokud teplota poklesne pod 19,5 °C. Vypne se, až teplota vystoupí na 20,5 °C. Hysterezi většiny regulátorů volíme okolo 0,5 až 1 °C.

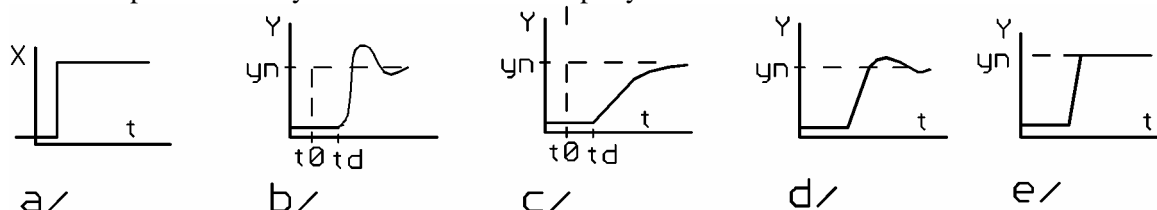
V regulované soustavě (např. dům, jehož ústřední topení řídí termostat) může vznikat poměrně velká **hystereze vlivem dopravního zpoždění** (časové zpoždění způsobené ohřevem vody v ústředním topení a pohybem vody od kotle do radiátorů, vliv velké vzdálenosti mezi snímačem teploty a topením - pohyb teplého vzduchu od radiátoru ke snímači teploty). Regulovaná soustava může mít i velkou **setrvačnost** (např. po vypnutí topení horká voda v radiátorech dále ohřívá vzduch).

**Hystereze, dopravní zpoždění a setrvačnost soustavy způsobují oscilace regulované veličiny.**

Výše popsaný jednoduchý regulátor (čidlo, zesilovač, spínač) potom přestává vyhovovat. Překmitý snižují komfort regulace teploty. Platí, že **čím vyšší výkon** máme k regulaci k dispozici, **tím rychleji se soustavu podaří zaregulovat** (dosáhnout požadované teploty). Tento výkon má ale svá omezení (maximální možný příkon topení). Je dán výkonem kotle a u elektrických přímotopů použitými jističi. Dobu dopravního zpoždění můžeme měnit pouze velmi málo ( $t_d - t_0$ ). **S rostoucím výkonem vzrůstá náchylnost k oscilacím** (viz obr. 2b).

Při malé rezervě výkonu nám bude dlouho trvat, než dosáhneme zaregulovaného stavu, k překmitům ale nedochází (viz obr.2c).

Pochopitelně se snažíme o maximální rychlost zaregulování s minimalizací překmitů (obr.2d). K tomu můžeme např. využít **dvoustupňový regulátor**. Po zapnutí nastane rychloohřev velkým výkonem. Po dosažení teploty např. o 1 až 2 °C menší než teplota nastavená se zmenší dodávaný výkon, aby nedošlo k překmitu a aby se zmenšilo kolísání teploty.



Obrázek č.2

a/ Skoková změna řídicí veličiny (zapnutí regulačního obvodu)

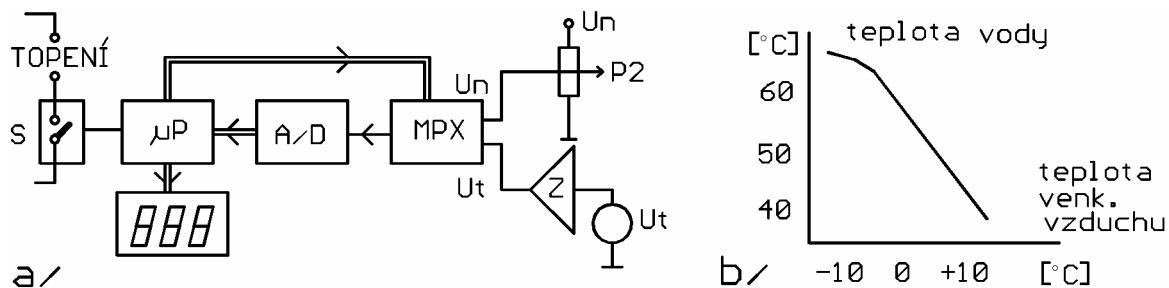
b/ regulovaná soustava s velkým dopravním zpožděním, velkou rezervou výkonu, která má sklon k překmitům

c/ Průběh regulace při malé rezervě výkonu.

d/ Průběh regulace při optimální rezervě výkonu a vhodném způsobu regulace

e/ ideální regulace (obvody s mikroprocesorem)

Dvoustupňový regulátor vytvoříme pomocí dvou topných okruhů, které spínáme dvěma spínači. K dosažení optimálního průběhu regulace můžeme použít i tzn. **pulsní šířkové modulace (PWM)**. Spínací obvod je periodicky zapínán a vypínán. Perioda je mnohonásobně kratší než doba potřebná k zaregulování obvodu. V závislosti na rozdílu nastavené a skutečné teplotě se mění doba zapnutí a vypnutí spínače (střídá řídicího signálu). Pokud tímto způsobem spínáme výkonový elektrický obvod, spínáme jej při průchodu síťového napětí nulou. Předvedeme tak rušivým jevům při spínání. V současné době se k regulaci teploty nejčastěji používají regulátory řízené **mikroprocesory**.



Obrázek č. 3

a/ Regulator teploty s mikroprocesorem

b/ Ekvitermní regulace- typická závislost teploty vody v ústředním topení na teplotě venkovního vzduchu

Zesílené napětí z termočlánku  $U_t$  a napětí odpovídající nastavené hodnotě teploty  $U_n$  se přivedou přes multiplexer do A/D převodníku a do mikroprocesoru. (Multiplexer je polovodičový přepínač, který umožňuje k jednomu A/D převodníku zapojit větší počet vstupů). Jedním řídicím obvodem tak můžeme regulovat teplotu ve více místnostech. Podle programu se spíná řídicí prvek tak, aby byl vykompenzován vliv zpoždění a setrvačnosti. S dobrým programem lze dosáhnout ideálního průběhu regulace (viz obr.2e). Nastavenou a skutečnou teplotu zobrazujeme na displeji. Jedná se o nejdokonalejší typ zapojení. Vývoj programu není snadný.

Kvalitní programy jsou schopné se „učit“, tzn. zjistit vlastnosti prostředí a přizpůsobit mu průběh regulace. Vznikají tak **adaptabilní regulátory**, které si po prvním zapojení změří vlastnost soustavy, kterou regulují. Vypočítají dopravní zpoždění, hysterezi a tepelnou kapacitu. Tyto hodnoty si pak uloží do paměti EEPROM nezávislé na napájecím napětí. Provádějí potom regulaci optimálním způsobem.

Zatím jsme se zabývali soustavou, kde teplota vody v ÚT je řízena pouze podle požadované a skutečné teploty v obytných místnostech. Ve větších budovách nemusí být tento způsob vždy výhodný. Pokud je teplota v místnostech např. řízena pomocí ventilů v ÚT, dojde při náhlém zvýšení venkovní teploty k uzavření většiny ventilů. To naruší činnost celého otopného systému.

Omezení topného výkonu při náhlém zvýšení venkovní teploty nebo naopak jeho zvýšení při náhlém ochlazení lze předvídat. Není třeba čekat, až se začne měnit teplota v místnostech.

Proto se při regulaci teploty v obytných domech za účelem odstranění oscilací používá často princip **ekvitermní regulace**. Vycházíme z předpokladu, že **dané venkovní teplotě odpovídá určitá teplota vody v ústředním topení**. Např. venkovní teplotě  $+10\text{ °C}$  odpovídá teplota vody v ÚT  $40\text{ °C}$ , venkovní teplotě  $0\text{ °C}$  teplota vody v ÚT  $60\text{ °C}$ . Topný výkon je řízen tak, aby tato teplota byla při neměnění se venkovní teplotě přibližně konstantní.

Měří se proto venkovní teplota, teplota vody na výstupu z kotle a teplota v obytných místnostech, na základě těchto měření se řídí výkon kotle.

K dosažení **úspor energie** při zachování teplotní pohody se používají stále dokonalejší řídicí obvody. Spojíme-li např. regulační obvod s digitálními hodinami obsahujícími spínač, získáme termostat, u kterého můžeme nastavit automatické snížení nastavené teploty v nočních hodinách a v době, kdy nebýváme doma. Týdenní hodiny zajistí jiný topný režim v pracovních dnech a o víkendu, roční hodiny mají v paměti i svátky. Topení je možné i zapnout dálkově, např. z mobilního telefonu, pokud se např. vracíme domů neplánovaně dřív. Ve velkých budovách bývá teplota řízena pomocí PC.