

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.*

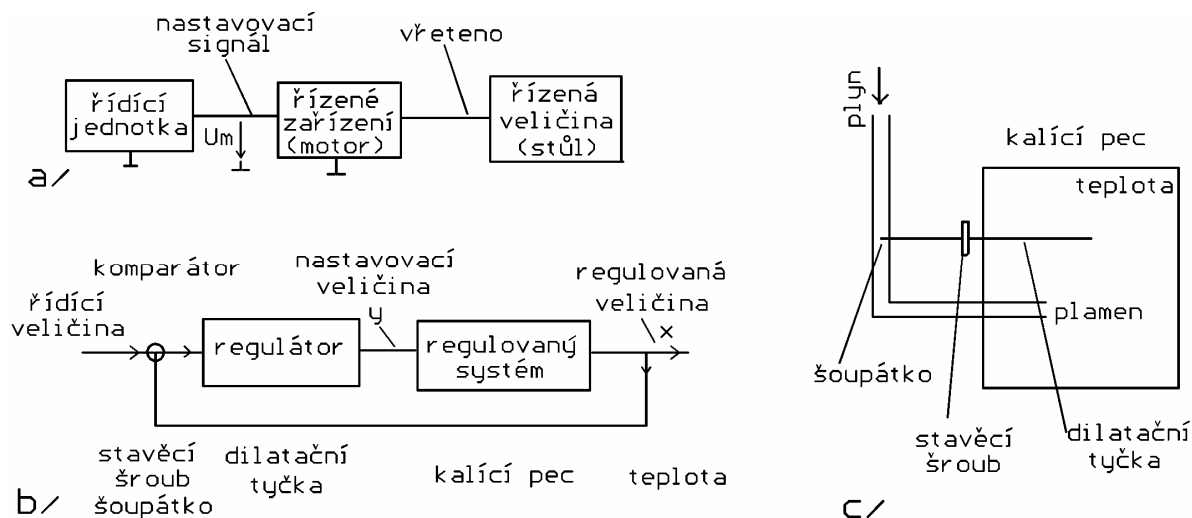
1.1 Řízení a řídicí systémy

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 zarážka 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 zarážka.

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 přenášejí 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 (rozepnutého nebo sepnutého) 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 **sepnuty 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 cívice relé. Tlačítkový spínač, nebo stručně tlačítko, např. zvonkové tlačítko je v aktivním stavu (např. sepnutém) jen po dobu tlaku na ovládací knoflík. Změna stavu (sepnutí, 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.

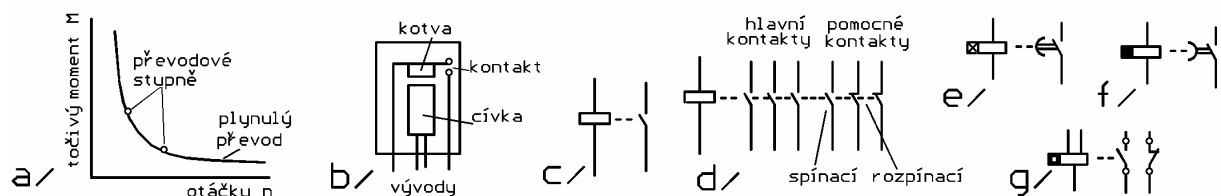
Stykač ovládá **hlavní kontakty** pro spínání hlavního obvodu, např. napájení motoru a **pomocné kontakty**, které např. připojí napájení cívky stykače, aby zůstal stykač sepnut po prvotním budícím impulsu, např. z tlačítka.

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 pouzdech 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.

Volící spínač (vícepolohový spínač)

Volící spínače **setrvávají v nastavené poloze**.

Ruční volící spínač, např. jednoduchý **spínač** nebo **přepínač** je většinou **jednopolový** nebo **dvupolový** s polohami ZAPNUTO a VYPNUTO, nebo vícekontaktní a případně i vícepolohový volící 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 dvupolohový elektromagnetický přepínač (volící 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 ústředn.

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 dvupolehový 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**:

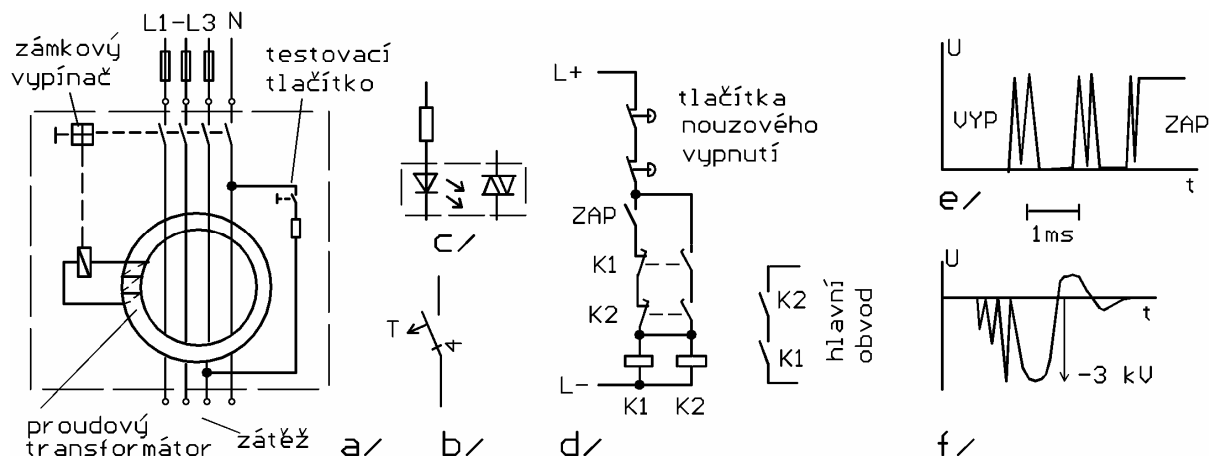
- Tělesný zkrat, při kterém prochází lidským tělem proud, ohrožující zdraví a život;
- Zkrat mezi aktivními vodiči, který může způsobit elektrický oblouk a požár poškozující izolaci a následný zkrat na kostru;
- Zkrat na zem, tj. zkrat mezi aktivním vodičem a zemí nebo uzemněnou částí zařízení.

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 vlhkem 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 redundantní** 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 přerušení 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

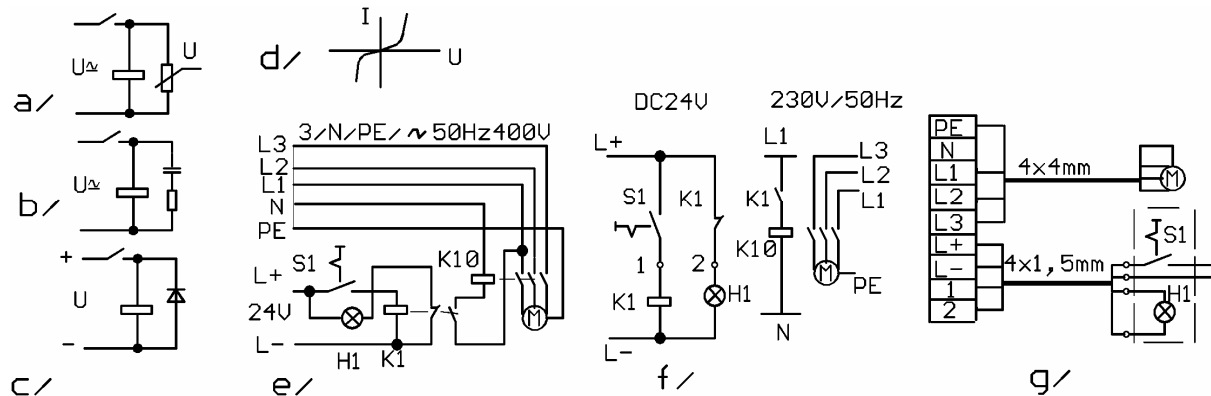
relé nebo stykači. Tato příslušnost je patrná z označení. V níže uvedeném schématu je zvlášť nakreslena řídicí a ovládací část.

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 cívce 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** (dvohodnotovými) 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 $K_1 = S_1 \wedge S_2$.

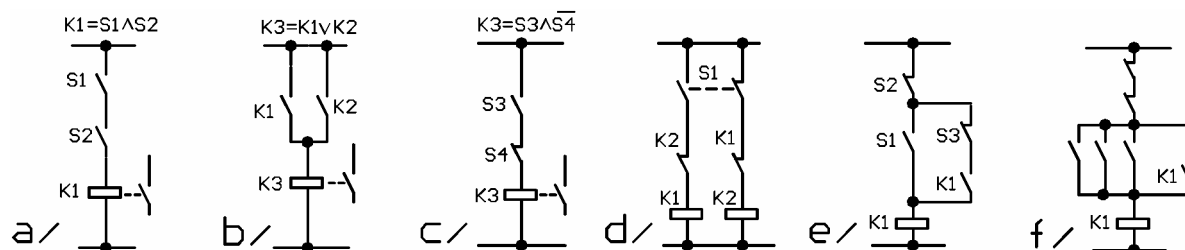
Operaci **logického součtu OR** (logické disjunkce nebo alternativy) je možné realizovat **paralelním zapojením kontaktů**. Relé K_3 na obr.2.4b je napájené tehdy, je-li sepnut alespoň jeden z kontaktů S_1, S_2 tj. je-li sepnut S_1 nebo S_2 nebo oba současně. Analogicky s logickým součinem lze pak psát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

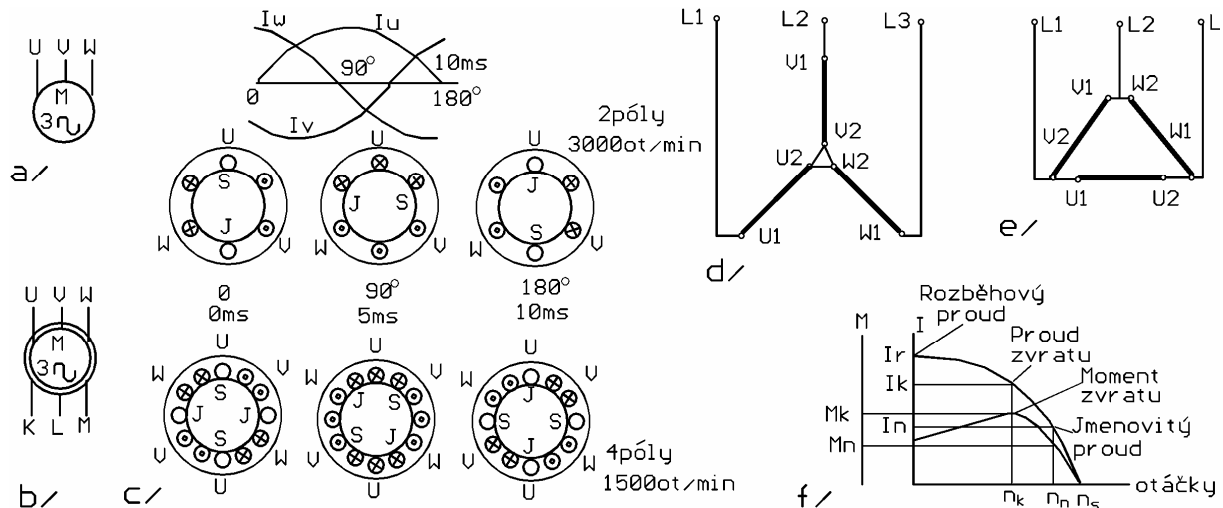
Točivé pole se otáčí při uspořádání vinutí statoru podle obr.2.5 c synchronně s kmitočtem sítě 50 Hz 50krát za sekundu, 3000krát za minutu nebo též jedenkrát za 20 ms. Je-li každé ze tří vinutí uspořádáno na horní polovině obvodu statoru a další tři vinutí na dolní polovině obvodu statoru, jsou vytvářena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

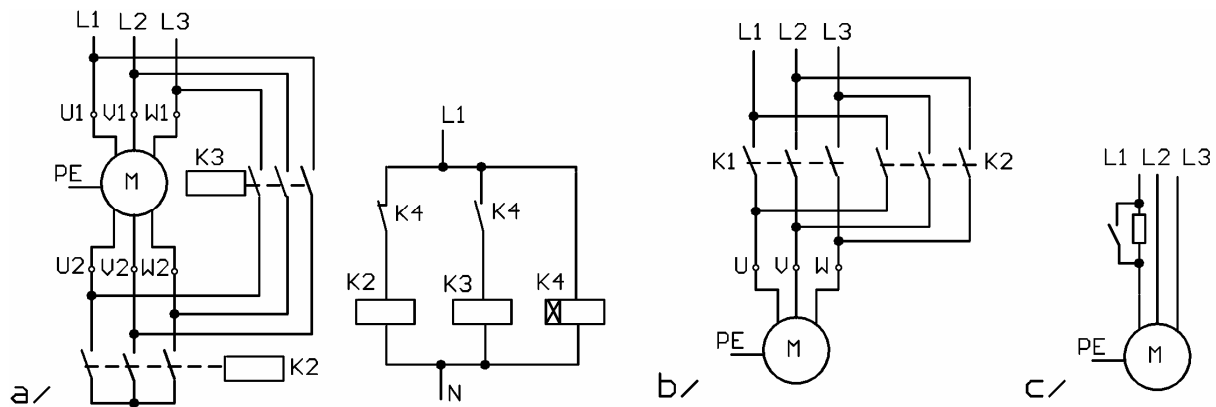
Měkký rozběh je často požadován např. u pohonu hlavního vřetene frézky, aby se šetřily převody.

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.**

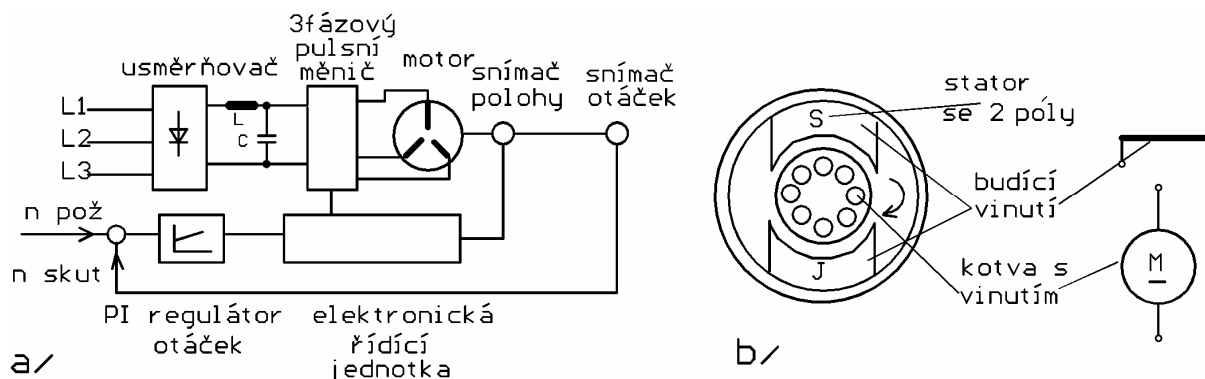
Řízení trojfázového synchronního servomotoru

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 α 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 α). 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 α 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 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 budicí 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 budicího 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. Sériově 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).

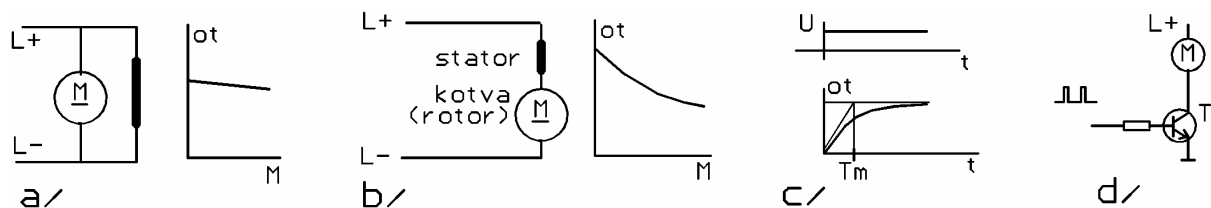
Mechanická časová konstanta T_m (obdoba časové konstanty RC) bývá u rychle reagujících servomotorů s výkony kolem 2 kW v rozpětí od **4 ms do 40 ms**. U zvláště rychle reagujících servomotorů se štíhlým rotorem nebo s diskovým rotorem ovlivní rychlost reakce moment setrvačnosti poháněného stroje. Momentové 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 **obdélíkovým 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, indukuje 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 brzděnou 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

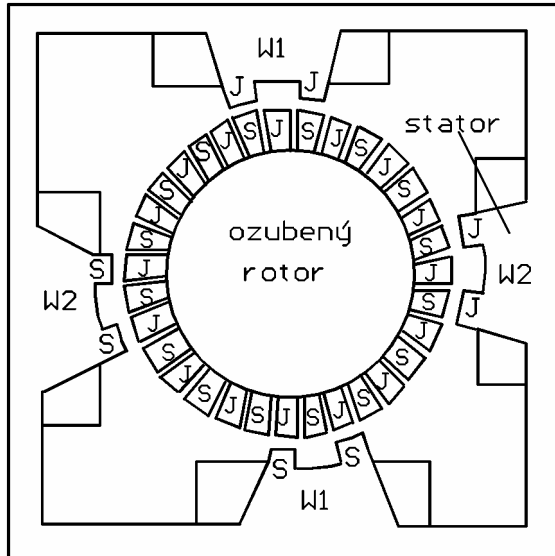
d/ řízení otáček stejnosměrného motoru

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. Impulsy pro řízení krokových vytvářejí speciální integrované obvody.



Obrázek 2.9 Krokový motor.