

# Prostředky automatického řízení

Studijní opora

Ing. Libor Havlíček, Ph.D.



# Prostředky automatického řízení

## Téma 01: Úvod do předmětu, organizace výuky

### Studijní cíl

Seznámit studenty s organizačními záležitostmi předmětu, jsou uvedeny podmínky pro získání zápočtu z předmětu a je provedeno seznámení studentů s požadavky a průběhem vykonání zkoušky z předmětu.

### Doba nutná k nastudování

2 hodiny

### Klíčová slova

Harmonogram, požadavky, přednáška, cvičení, softwarové prostředky, hardware, protokol, technická zpráva

## 1 Úvod do předmětu

### 1.1 Organizace výuky

Výuka předmětu je organizována do jednotlivých výukových týdnů příslušného semestru.

- Výuka je rozdělena na přednášky a cvičení, které se, z důvodu zpracované náplně, příslušně prolínají. Z uvedeného důvodu je vhodná účast studentů na přednáškách, kde se studenti dovědí podrobnější informace k řešení problémových okruhů, následně řešených na cvičeních.
- Počet přednášek a cvičení bude pokrývat výukové období celého semestru.
- Cvičení jsou povinná.
- Zadáání jednotlivých cvičení bude dostupné v elektronické podobě v informačním systému STAG [případně MOODLE], kde budou postupně zveřejňovány.
- Z každého cvičení se odevzdává technická zpráva [TZ]. Technické zprávy [protokoly] s absolvovaným cvičením budou odevzdávány ihned následující týden, při následujícím cvičení z předmětu, v okamžiku zahájení práce na následujícím cvičení.
- Požadavkem k získání zápočtu je odevzdání řádně zpracovaných protokolů ze cvičení, podle stanovených požadavků na jejich zpracování a termínů odevzdání.

## 1.2 Přednášky

Tematické přednášky budou, ve většině případů, úzce navázány na tematické okruhy a následně řešené na cvičeních. Přednášky mohou být kumulovány do tematických bloků, které budou zahrnovat více tematických okruhů, shrnutých do menšího počtu ucelených přednášek. Takto vzniklý časový prostor bude věnován cvičením z předmětu.

## 1.3 Cvičení

Cvičení zpracují studenti v pracovních skupinách, ve dvojicích, které budou určeny na prvním cvičení z předmětu. Náplň jednotlivých cvičení je převážně zaměřena na analýzu, realizaci a testování zapojení elektronických obvodů z okruhu elektroniky automatizační techniky. Každá úloha je částečně zpracována, ve formě návodu ke cvičení. Podrobné informace dostanou studenti v průběhu termínově předcházející přednášky.

## 1.4 Příprava na cvičení

Pro přípravu a zpracování jednotlivých cvičení si studenti tvoří poznámky do sešitu, optimálně čtverečkováného, formátu A4. Jedná se o poznámky k tvorbě programového kódu, vývojové diagramy vytvářených programů, případně schémata zapojení hardware úlohy a zdrojového firmware mikropočítače. Návrhy vývojových diagramů, blokových schémat a schémat zapojení vytvářejí studenti do sešitu „ručně“. Kompletní podklady pro zpracování každého zadání cvičení a jejím úspěšném absolvování, si nechte vaše poznámky v sešitu podepsat od vyučujícího. Bez podepsaného řešení nebude odevzdání úlohy akceptováno. Udělení zápočtu bude podmíněno odevzdáním kompletního souboru protokolů ze všech cvičení, v požadovaných termínech. Protokoly budete odevzdávat podle stanoveného harmonogramu. Termín odevzdání úlohy je zpravidla, pokud není vyučujícím stanoveno jinak, jeden týden od jejího zadání. To znamená, v okamžiku zadání následující úlohy.

## 1.5 Harmonogram a tematické okruhy cvičení z předmětu BPAR

1. Návrh schéma zapojení elektronického obvodu v sw „Eagle“ („Mini reflexní světelná závora“, nebo jiný vybraný elektronický obvod).
2. Návrh PCB v sw „Eagle“ („Mini reflexní světelná závora“, nebo jiný vybraný elektronický obvod)
3. Zdroj referenčního napětí s Operačním Zesilovačem (realizace obvodu a měření statické charakteristiky).
4. Zdroj konstantního proudu s OZ (zapojení s „Howlandovou pumpou“).
5. Generátor tvarových kmitů s OZ.
6. Měřicí zesilovač s OZ (statická charakteristika měřícího zesilovače se dvěma a třemi operačními zesilovači).

7. Komparátory s OZ (komparátor bez a s hysterezí).
8. Okénkový komparátor s OZ.
9. Diferenční a sumační zesilovač s OZ.
10. Napětím řízený generátor PWM signálu, převodník PWM / U.
11. Převodník U / F.
12. Náhradní cvičení.
13. Zápočet z předmětu.

Vzhledem k rozsahu předmětu bude vyžadováno samostudium v průběhu výukového období semestru a samostatná příprava na cvičení.

Poslední 2 týdny výukového období budou věnovány náhradním cvičením a získání zápočtu z předmětu.

Laboratorní úlohy zpracuje každá pracovní skupina samostatně, ve dvojicích, které budou určeny na prvním setkání z předmětu. Úlohy jsou zaměřeny na aplikace elektronických komponent v obvodech automatizační techniky. Jejich absolvování bude tvořit základ pro studium následujících předmětů specializace (BMIPR, BAMR, BAUTL). Tento typ úloh bude dále rozvíjen v navazujících předmětech specializace.

Všechna schémata elektronických obvodů si překreslete „ručně“ do sešitu (optimálně čtverečkovaného, formátu A4). Schémata elektronických obvodů kreslete každý samostatně. Schémata použitá jako podklad pro cvičení, požadované přípravy na cvičení, společně s realizací zapojení obvodů a výsledky měření si nechte podepsat od vyučujícího vždy na konci příslušného cvičení. Bez těchto náležitostí nebude odevzdání úlohy akceptováno (z důvodu možného odevzdání falsifikátu). Udělení zápočtu bude podmíněno odevzdáním kompletního souboru protokolů ze všech cvičení v požadovaném termínu.

## 1.6 Obsah protokolů

- zadání úlohy (ne kopie originálního zadání ve formě obrázku pořízeného metodou „**Print Screen**“, ale srozumitelný výtah z tohoto zadání, **protokol s typem tohoto zadání nebude přijat a úloha nebude považována za splněnou, bez možnosti opravy!**)
- vlastnoručně překreslená schémata (např. ve „Wordu“, nebo návrhovém CAD software pro elektroniku - Eagle v7.x, s vyznačením skutečných typů použitých součástek (těch, které jste použili do vašeho měření, schémata v zadání umožňují určitou modifikaci zapojení)
- vlastní postup měření
- grafy a tabulky zpracované výhradně v prostředí „Excel“
- případné vzorové výpočty použité k řešení zadaného úkolu.

- přehledné tabulky se seznamem použitých součástí
- přehledné tabulky se seznamem měřicích přístrojů
- závěr (věcné zhodnocení výsledků měření úlohy)

## 1.7 Formát protokolů

Protokoly z jednotlivých úloh odevzdáte pouze v elektronické podobě (vlastní text protokolu v \*.pdf, nebo \*.doc formátu), vždy v určeném termínu výuky semestru, v jednom, komprimovaném, „\*.zip“, souboru.

Názvy protokolů uveďte v následujícím, jednotném, formátu pro označení souborů, který je nutné bezpodmínečně dodržet „**BP**AR\_sk\_xx\_cv\_xx\_DD\_MM\_RRRR“.

## 1.8 Získání zápočtu z předmětu a připuštění ke zkoušce

Pro získání zápočtu je nutné odevzdat kompletní soubory protokolů v požadovaných termínech. Soubory protokolů je možné odevzdat ke kontrole vyučujícímu pouze s jednou opravou. Pokud nebude stanoveno jinak, budou termíny odevzdání jednotlivých úloh stanoveny na termín dvou týdnů (14ti dnů) po zadání úlohy. Během semestru bude akceptováno zpožděné odevzdání dvou protokolů. V případě nedodržení termínů odevzdání protokolů nebude zápočet z předmětu udělen.

U zkoušky budou řešeny nejen otázky z teorie prostředků automatického řízení, ale i otázky týkající se zpracování protokolů, vyplývající ze zaměření tematických okruhů cvičení. Typické otázky z jednotlivých okruhů jsou zpravidla uvedeny na konci textu zadání jednotlivých úloh cvičení.

## 1.9 Doplnující informace

Pro úvodní list jednotlivých protokolů použijte obdrženou šablonu formátu první strany, kam doplníte potřebné údaje, včetně čísla a názvu zpracovávané úlohy. Protokoly zpracujte co nejpečlivěji. Neúplné protokoly a protokoly s nedbalým zpracováním nebudou vyučujícím přijaty, bez možnosti udělení zápočtu. Při zjištění drobných nedostatků v protokolech, budou protokoly vráceny autorům, kteří budou vyzváni k jejich odstranění (bude akceptována pouze jedna oprava každého protokolu). Přílohou vlastního textu protokolu budou zdrojové soubory použitých tabulek a grafů ve formátu „\*.xls“, případně zdrojové soubory z návrhového software „Eagle, verze 7.1 - 7.4 (soubory s příponou \*.brd a \*.sch, patřičně pojmenované tak aby název vystihoval název úlohy, nebo jiné vhodné identifikační údaje).

**BPAR**  
**Katedra automatizace a  
matematiky**

Příjmení, Jméno: \_\_\_\_\_

Číslo úlohy: \_\_\_\_\_

Příjmení, Jméno: \_\_\_\_\_

Datum zadání: \_\_\_\_\_

Akademický rok: \_\_\_\_\_

Datum odevzdání: \_\_\_\_\_

Skupina: \_\_\_\_\_

Klasifikace: \_\_\_\_\_

Název úlohy

Počet stran: \_\_\_\_\_

## BPAR cvičení č. 1 a 2

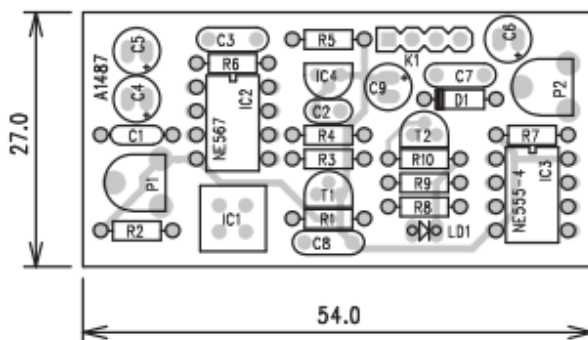
### Název úlohy: Návrh zapojení senzoru polohy s reflexní optickou závorou

#### Zadání úlohy

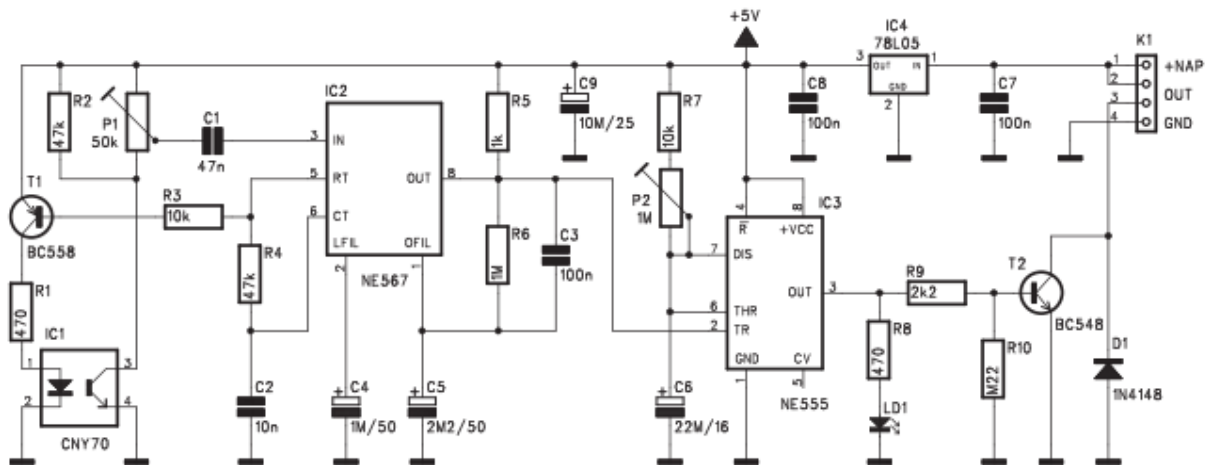
Vytvořte v návrhovém CAD software „Eagle“ podklady pro výrobu senzoru polohy s reflexní optickou závorou. Vycházejte z podkladů publikovaných v časopise Amatérské rádio KE 3/2007 str. 30. **V tomto cvičení zpracujte části práce, které jsou v postupu řešení zobrazeny tučně.**

#### Postupujte následujícím způsobem

- **Prostudujte schéma zapojení optického senzoru polohy.**
- **Identifikujte jednotlivé komponenty zapojení – popište funkci elektroniky zapojení senzoru – nakreslete blokové schéma a uveďte funkci aktivních elektronických prvků (vycházejte z originálních podkladů, případně „datasheetů“ komponent konstrukce).**
- **Seznamte se s vývojovým prostředím pro kreslení elektronických schémat a návrh plošných spojů Eagle (manuál v podobě elektronických skript máte přiložen v zadání úlohy).**
- **Nakreslete schéma zapojení senzoru.**
- Navrhnete plošný spoj pro výrobu senzoru podle pokynů vyučujícího.
- Vytvořte tabulku se seznamem použitých součástek.
- Vytvořte protokol s popisem postupu návrhu senzoru.
- Pro odevzdání vytvořte jeden komprimovaný soubor, který bude obsahovat:
  - Text protokolu v .pdf, nebo .doc formátu.
  - Zdrojové soubory Eagle s návrhem schématu a plošného spoje senzoru.
- Soubor pojmenujte „Sk\_xx\_BPAR\_20xx\_cv01“.



Obr. 1 – Rozložení součástek na desce plošného spoje (Konstrukční elektronika, 2003)



Obr. 2 – Schéma zapojení elektronického obvodu (Konstrukční elektronika, 2003)



## 2 Použité zdroje

*Konstrukční elektronika A Radio*, 2003. Praha: Amaro, 2003. ISSN 1211-3557.

## 3 Studijní literatura

BALÁTĚ, Jaroslav. *Technické prostředky automatického řízení*. Praha, SNTL 1986.

## Seznam zkratk

TZ technická zpráva

OZ operační zesilovač

PWM Pulse Width Modulation

## Rejstřík

Eagle, 5

verze, 5

komparátor, 3

bez hystereze, 3

okénkový, 3

s hysterezí, 3

protokol, 1, 2, 4

převodník, 3

PWM, 3

PWM / U, 3

U / F, 3

soubor, 5

\*.brd, 5

\*.doc, 4

\*.pdf, 4

\*.sch, 5

\*.xls, 5

technická zpráva, 1

úloha

odevzdání, 2

zadání, 1

zveřejnění, 1

zesilovač, 3

diferenční, 3

operační, 3

sumační, 3

# Prostředky automatického řízení

## Téma 02: Analogový a diskrétní regulační obvod

### Studijní cíl

Seznámit studenty se základními pojmy a architekturou analogového a diskrétního regulačního obvodu.

### Doba nutná k nastudování

2 hodiny

### Klíčová slova

Regulační obvod, analogový regulační obvod, diskrétní regulační obvod, regulátor, akční člen, konstanty regulátoru

## 1 Regulační obvody

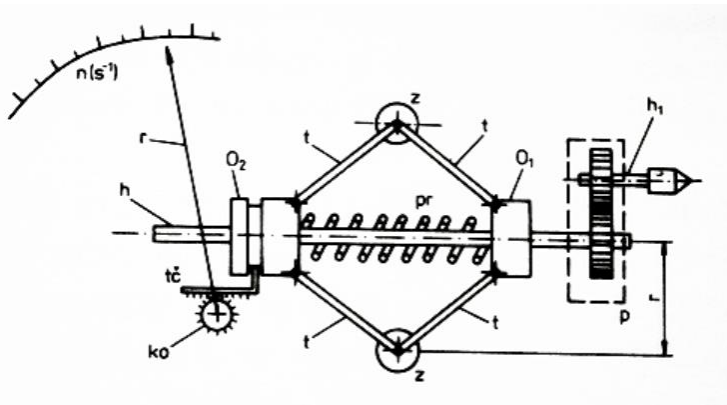
V tomto tematickém okruhu se zaměříme na popis analogového a diskrétního regulačního obvodu.

Pro dosažení cíle regulace, kterým je zpravidla regulace nějaké technologické veličiny, nebo jiného stavu regulované soustavy, je potřeba stanovit:

- Jaký stav soustavy, nebo veličinu regulovat, zkráceně, co regulovat (řídít). Je nutno provést podrobnou analýzu zadání úlohy, jejíž cílem je regulace (řízení) určené technologické (nebo jiné) veličiny. Pokud je to možné je vhodné mít v tomto bodě již matematický, nebo jiný model, regulované soustavy. Model regulované soustavy můžeme získat např. matematicko-fyzikální analýzou, nebo experimentální identifikací.
- Jakým způsobem budeme systém řídit (jak řídit?). To znamená zvolíme hodnotící kritéria požadované kvality regulace pro zvolený typ řízení. V tomto bodě vycházíme ze znalostí vlastností regulovaného systému, které byly stanoveny v předchozím bodě návrhu strategie řízení. Vytýčíme si cíle řízení, které budou dosažitelné s, pro nás, akceptovatelnou složitostí konstrukce řídicího systému.
- Následně stanovíme akční veličinu (čím řídit), kterou můžeme stav regulované veličiny ovlivnit. Vlastnosti akční veličiny potom zásadně ovlivní výběr technických prostředků pro dosažení cíle regulace.

Výše uvedený postup bude rozhodující pro návrh a konstrukci kompletního řídicího systému. Pečlivá analýza vlastností a chování řízené soustavy je klíčovým předpokladem pro úspěšné naplnění cílů řízení stanovených v strategii řízení.

V souvislosti s volbou strategie řízení (regulace) je vhodné přihlédnout k aktuálnímu stavu technických prostředků automatizace. Mezi tyto prostředky můžeme zahrnout všechny prostředky, které nám umožní naplnit vytyčené cíle řízení regulovaných soustav (systémů) vytyčenou strategií řízení. Vývojovým trendem je kontinuální modernizace těchto prostředků, vycházejících z historické vývojové linie, vždy s využitím aktuálních poznatků z oboru vědy a techniky.



Obr. 1 – Odstředivý otáčkoměr s wattovým regulátorem (Vojáček, 2024)

Nyní se stručně dotkneme historických vývojových trendů. Předchůdci současných regulátorů byly sestaveny jako tzv. direktní regulátory (viz. Obr.1), které ke své činnosti nepotřebovaly další, přídavný, zdroj energie. V dnešní době drtivá většina regulátorů je z tohoto pohledu indirektní. Pro jejich činnost je nutný další zdroj energie. Systémy, které se budovaly jako kompaktní, a obsahovaly tedy soustředěné v jednom pouzdře se nyní konstruuji jako stavebnicové systémy, kde jsou jednotlivé moduly řídicích obvodů odděleny od silových částí.

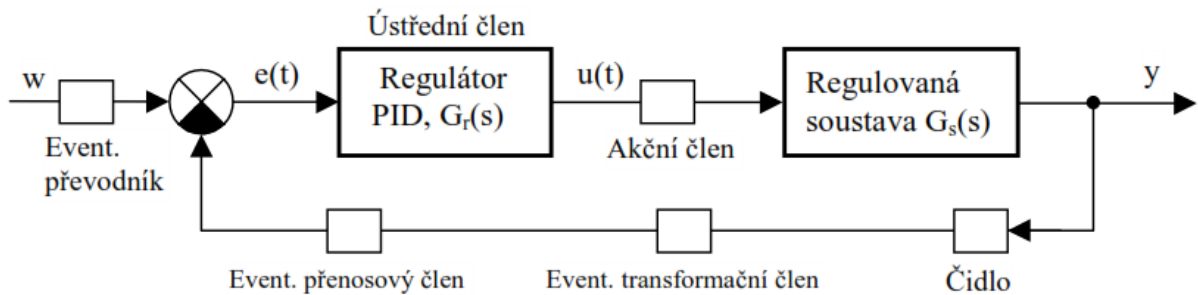
Pokud se ohlédneme za regulačními prvky z hlediska druhu vyžívané energie pro realizaci regulačních (řídicích) zásahů byly v dřívějších dobách využívány systémy které lze nazvat jako mechanické a hydraulicko-mechanické, dnes jsou nejvíce využívány systémy elektrohydraulické, případně elektro-mechanické.

Co se týká konstrukce elektroniky automatizační techniky byly dříve využívány systémy založené na analogových obvodech, dnes jsou to obvody založené na kombinaci analogovo-číslicové techniky (součástkové základny), respektive jako čistě číslicové obvody s využitím mikropočítačové techniky a jejich významné miniaturizace. Tato skutečnost umožňuje zvyšovat efektivitu výroby a současně naplnit i cíle spojené s ochranou přírody, tím, že dochází k efektivnímu využití a nakládání s energií získanou z přírodních zdrojů.

Výše zmiňovaná součástková základna elektronických obvodů automatizační techniky je zaměřena na využití moderních elektronických prvků. Dříve hojně využívané elektromechanické prvky jsou, pokud to zaměření konstrukce dovoluje, nahrazeny jejich polovodičovými prvky. Aktivní prvky jsou integrovány do obvodů se vzrůstající hustotou

integrace. Polovodičové prvky se vyznačují vzrůstající rychlostí a snižující se vlastní spotřebou. Integrované obvody analogové techniky, společně s moderními číslicovými obvody a mikropočítači, s integrovanými periferiemi, umožňují jejich efektivní využití při konstrukci regulátorů automatizační techniky.

### 1.1 Analogový regulační obvod



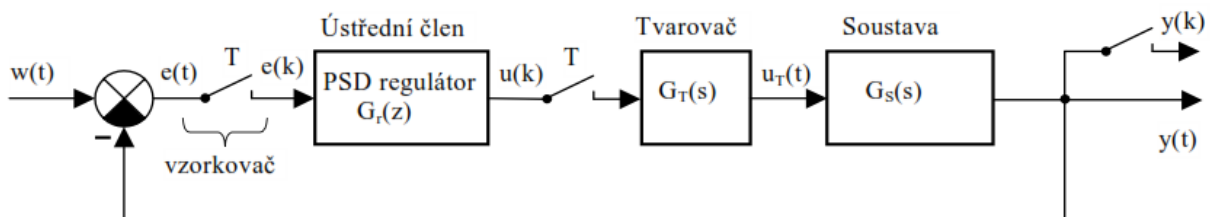
Obr. 2 – Analogový regulační obvod (Němec, 2002)

Pokud budeme analyzovat analogový regulační obvod a regulátor označíme jako „Ústřední člen“ (viz obr. 1), potom ho budeme považovat za analogový v případě, že jeho vstupní – výstupní obvody pracují spojitě. Takovýto regulační obvod budeme označovat jako analogový.

Je obvyklé, že většina členů regulačního obvodu je obsažena v jednom, kompaktním zařízení. Jedná se o měřicí členy, obvody transformace naměřených (regulovaných) veličin, samotný ústřední člen regulátoru a akční člen. Tyto kompaktní zařízení nazýváme kompaktními regulátory. Často se můžeme setkat s kompaktními regulátory určenými pro regulaci jedné veličiny, například teploty, nebo tlaku.

### 1.2 Číslicový regulační obvod

Pokud alespoň jedna veličina ústředního členu pracuje nespojitě, to znamená, v číslicovém režimu, označíme obvod jako číslicový regulační obvod (viz obr. 2).

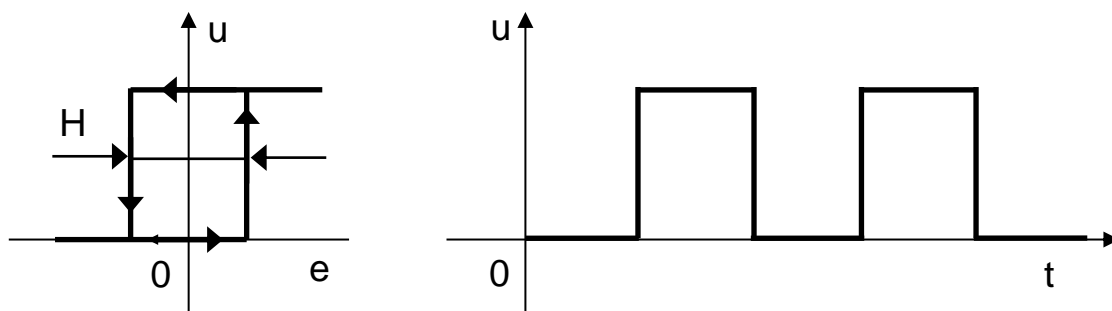


Obr. 3 – Diskrétní regulační obvod (Němec, 2002)

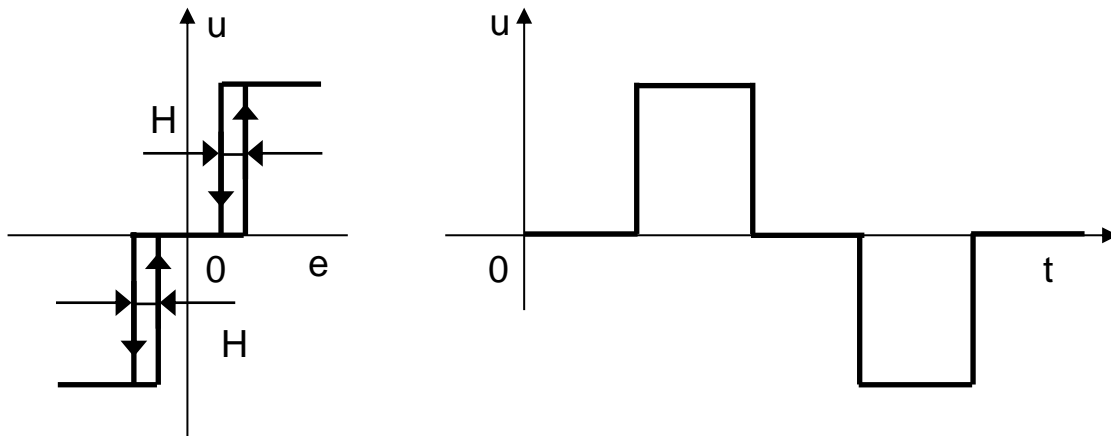
## 2 Výstupní signály ústředních členů

Pokud budeme rozebírat úroveň výstupního signálu ústředních členů, myslíme tím v tomto případě napěťové, nebo proudové hodnoty signálů. Je to proto, že zde rozebíráme elektrické typy těchto členů. Podle typu výstupního signálu Ústředních členů regulátorů můžeme provést jejich rozdělení do tří kategorií na:

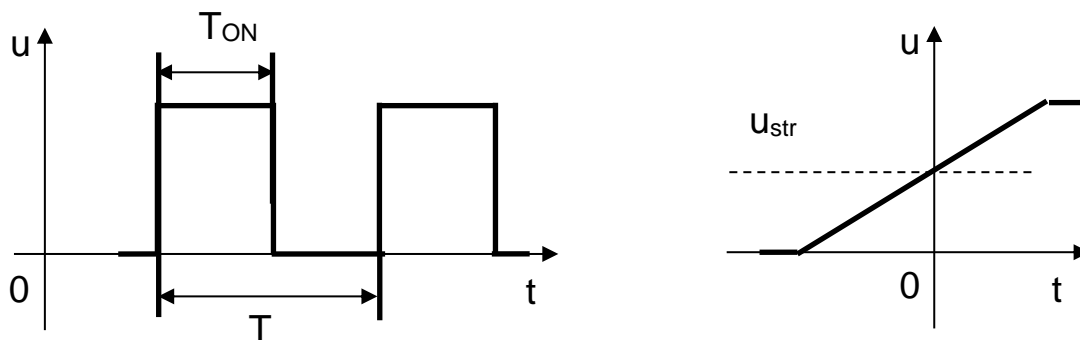
- Spojitý, někdy je též nazýván jako proporcionální, nebo lineární je, jak je již obsaženo v názvu, v každém časovém okamžiku spojitý. Tento typ signálu je na výstupu analogového regulátoru. Analogový regulátor je nejčastěji konstruován s využitím operačních zesilovačů. Struktura těchto regulátorů může být několika typů. Jedná se o typ sériový, paralelní a sérioparalelní. Paralelní strukturu lze označit jako strukturu regulátoru bez interakce jednotlivých PID složek. U ostatních dvou struktur, sériové a sérioparalelní dochází již k vzájemné interakci realizovaných PID složek, což může poněkud komplikovat jejich případný návrh a realizaci.
- Diskrétní, kdy nejčastějším tvarem výstupního signálu je signál odpovídající dvupolohovému a třípolohovému regulátoru. Dvupolohový regulátor nabývá pouze dvou hodnot, nízké a vysoké. Třípolohový regulátor má celkem tři výstupní stavy, nízký, vysoký a střední. Protože se jedná o skokově se měnící signály akčního zásahu, provádí se ovládání regulované veličiny tzv. dvoustavovou, nebo třístavovou změnou napětí, nebo proudu. Jedná se typ regulace způsobem Zap. Vyp. V případě třípolohového regulátoru přibude ještě mezi stavy Zap. Vyp. Ještě jeden stav, který se nachází mezi těmito dvěma krajními stavy. Je nutné podotknout, že stav nízké úrovně nemusí znamenat, že výstupní hodnota napětí, nebo proudu, Ústředního členu je nulová.
- Impulzní, v tomto případě je na výstupu signál nejčastěji v podobě PWM signálu. U PWM signálu je frekvence signálu konstantní, mění se střída signálu, kdy se mění poměr doby zapnutí výstupu, stav vysoké úrovně (někdy se označuje HIGH, ON, Zap., atp.), a stav kdy je signál v nízké úrovni (někdy se označuje LOW, OFF, Vyp., atp.).



Obr. 4 – Statická charakteristika dvupolohového regulátoru (zdroj autor)



Obr. 5 – Statická charakteristika třípolohového regulátoru (zdroj autor)



Obr. 6 – Statická charakteristika impulsního výstupu PWM regulátoru (zdroj autor)

## BPAR cvičení č. 1 a 2

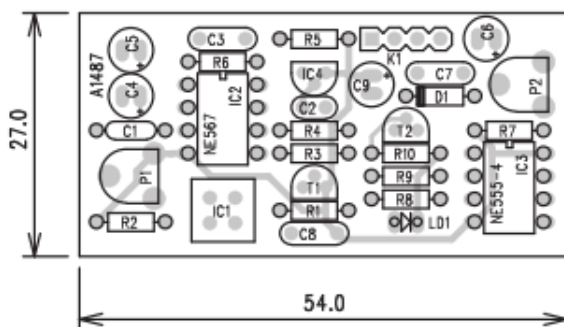
### Název úlohy: Návrh zapojení senzoru polohy s reflexní optickou závorou

#### Zadání úlohy

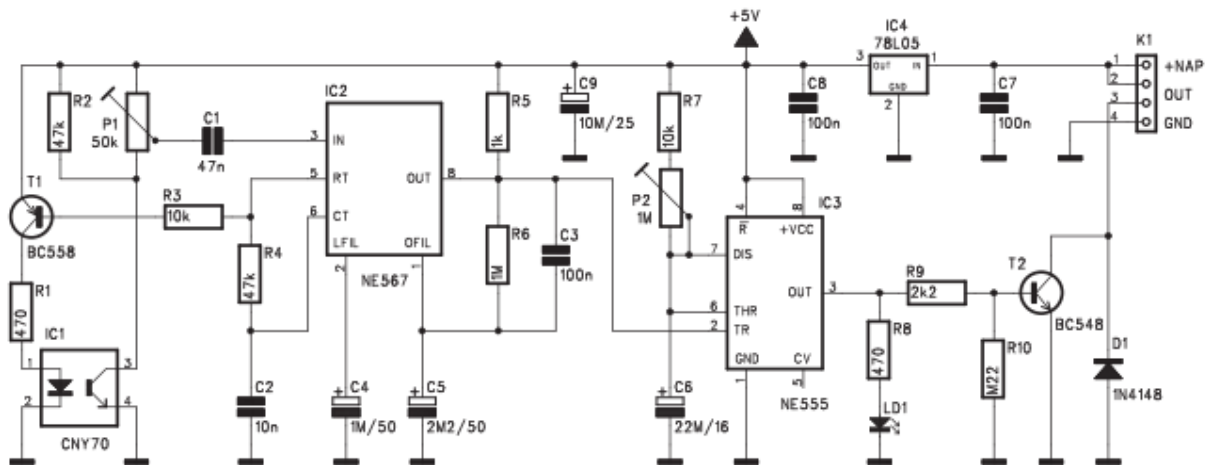
Vytvořte v návrhovém CAD software „Eagle“ podklady pro výrobu senzoru polohy s reflexní optickou závorou. Vycházejte z podkladů publikovaných v časopise Amatérské rádio KE 3/2007 str. 30. **V tomto cvičení zpracujte části práce, které jsou v postupu řešení zobrazeny tučně.**

#### Postupujte následujícím způsobem

- Prostudujte schéma zapojení optického senzoru polohy.
- Identifikujte jednotlivé komponenty zapojení – popište funkci elektroniky zapojení senzoru – nakreslete blokové schéma a uveďte funkci aktivních elektronických prvků (vycházejte z originálních podkladů, případně „datasheetů“ komponent konstrukce.
- Seznamte se s vývojovým prostředím pro kreslení elektronických schémat a návrh plošných spojů Eagle (manuál v podobě elektronických skript máte přiložen v zadání úlohy).
- Nakreslete schéma zapojení senzoru.
- **Navrhněte plošný spoj pro výrobu senzoru podle pokynů vyučujícího.**
- **Vytvořte tabulku se seznamem použitých součástek.**
- **Vytvořte protokol s popisem postupu návrhu senzoru.**
- **Pro odevzdání vytvořte jeden komprimovaný soubor, který bude obsahovat:**
  - **Text protokolu v .pdf, nebo .doc formátu.**
  - **Zdrojové soubory Eagle s návrhem schématu a plošného spoje senzoru.**
- **Soubor pojmenujte „Sk\_xx\_BPAR\_20xx\_cv01“.**



Obr. 7 – Rozložení součástek na desce plošného spoje (Konstrukční elektronika, 2003)



Obr. 8 – Schéma zapojení elektronického obvodu (Konstrukční elektronika, 2003)



### 3 Použité zdroje

*Konstrukční elektronika A Radio*, 2003. Praha: Amaro, 2003. ISSN 1211-3557.

VOJÁČEK, Antonín. *automatizace.hw.cz* [online]. [cit. 18. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://automatizace.hw.cz/historicke-snimace-jde-i-bez-elekriny-a-integrovaných-obvodu>

NĚMEC, Zdeněk. *Prostředky automatického řízení, elektrické*. Studijní opora oboru Aplikovaná informatika a řízení. Brno: VUT, FSI, 2002.

### 4 Studijní literatura

BALÁTĚ, Jaroslav. *Technické prostředky automatického řízení*. Praha, SNTL 1986.

### 5 Otázky k procvičení

- 1 Nakreslete blokové schéma analogového RO.
- 2 Nakreslete blokové schéma číslicového RO.
- 3 Vysvětlete rozdíl mezi analogovým a číslicovým signálem.
- 4 Popište funkci ADC převodníku.
- 5 Popište funkci DAC převodníku.

### Seznam zkratk

ADC	analogově číslicový převodník
ARO	analogový regulační obvod
CRO	číslicový regulační obvod
DAC	číslicově analogový převodník
URO	uzavřený regulační obvod
RO	regulační obvod

### Rejstřík

akční veličina, 2  
analogový, 4  
kvalita regulace, 1  
regulační obvod, 1  
    analogový, 1  
    číslicový, 1

diskrétní, 1  
regulační obvod, 1  
regulátor, 1, 4  
    konstanty, 1  
regulovaná soustava, 1  
signál, 4  
    diskrétní, 4  
    impulzní, 4  
    napěťový, 4  
    proudový, 4  
    spojitý, 4  
Ústřední člen, 3, 4

# Prostředky automatického řízení

## Téma 03: Napájecí zdroje elektronických prostředků automatizace

### Studijní cíl

Seznámit studenty s moderními trendy napájecích zdrojů elektronických obvodů technických prostředků automatizace.

### Doba nutná k nastudování

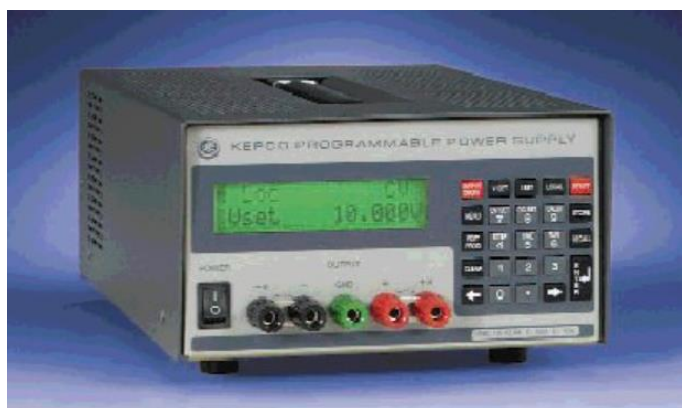
2 hodiny

### Klíčová slova

Analogový zdroj, spínaný zdroj, digitální zdroj, modulární řešení

## 1 Napájecí zdroje

Napájecí zdroje hrají důležitou roli při přeměně vstupního, střídavého napětí, na stejnosměrné napětí, k napájení cílové aplikace. Pokud bychom provedli rozdělení napájecích zdrojů podle způsobu přeměny vstupní energie, můžeme rozdělit zdroje na analogové a spínané. Pokud použijeme dělicí kritérium jejich řídicí obvody, můžeme je rozdělit na analogové a digitální. V tomto případě označujeme slovem digitální jeho dozorové a řídicí obvody. Analogové zdroje patří mezi tradiční napájecí zdroje.



Obr. 1 – Model ABC 10-10DM (Kepco, 2024)

Modernější zdroje jsou označovány jako spínané napájecí zdroje a mají zpravidla digitální dozor a řízení. Konstrukční řešení spínaných zdrojů, va spojení s jejich digitálním ovládáním, sebou přináší jejich větší flexibilitu a tím širší okruh možností jejich využitelnosti.



**Obr. 2 – M Model BHK 1000-40MG (nahore) and BHK 1000-0.2MG (dole) (Kepco, 2024)**

Pokud analyzujeme rozdíl mezi analogovými a spínanými napájecími zdroji, obvykle máme v hledáčku jeden, konkrétní, obvod. Napájecí zdroje je možné popsat, jako každé elektronické zařízení, jejich funkčními bloky, které se sestávají z obvodu přeměny energie a dozorového a řídicího obvodu. Existuje i konstrukční řešení, kdy dozorový obvod pracuje v digitálním režimu a samotný napájecí zdroj je analogové koncepce. Napájecí zdroje mohou dokonce používat současně analogové i digitální řídicí systémy.



**Obr. 3 – Model MST – 200 Watt (Kepco, 2024)**

Pro snadnou modifikovatelnost digitálního řízení, která vychází z použití mikropočítačové techniky, kde je modifikace funkcí zařízení dána například „pouhou“ změnou software mikropočítače, přináší toto řízení celou řadu výzev. Provedeme tedy analýzu napájecích zdrojů s analogovými a digitálními řídicími systémy se zaměřením na jejich výběr pro naše konkrétní aplikace.

### 1.1 Analogový napájecí zdroj

Analogově řízený napájecí zdroj, jak už vyplývá z názvu, používá analogový řídicí obvod. Tento obvod realizuje zpětnou vazbu do analogového řídicího obvodu s obvody snímačů napětí, nebo proudu, se zesilovačem regulační odchylky a optickou indikací aktuálního stavu. Můžeme

tedy monitorovat a řídit výstupní napětí zdroje a provádět korekci účinníku (PFC). Pokud ale potřebujeme změnit parametry, musíte změnit konstrukci obvodu, to znamená provést změnu vlastního hardware.

## 1.2 Digitálně řízený napájecí zdroj

Digitálně řízený napájecí zdroj je řízen digitálním (číslicovým) obvodem, který může plnit stejné funkce jako obvod analogový. Může provádět vzorkování a zapamatování si naměřené hodnoty řízené veličiny, provádět operace s těmito veličinami, komunikovat s hlavním řídicím obvodem a řídit obvod transformace energie. Všechny tyto úlohy mohou být řízeny mikropočítačem, programovatelnými hradlovými poli (FPGA) nebo aplikačně specifickým integrovaným obvodem (ASIC). Ovládací prvky jsou obvykle umístěny na dotykovém displeji napájecího zdroje nebo podpůrného, ovládacího software nadřazeného řídicího systému, osobního počítače (PC).

Realizace dálkového řízení umožňuje provádět zásahy do chodu zdroje a provést patřičnou úpravu, nebo změnu například výkonu v reálném čase, změnou potřebných cílových parametrů, kterým může být hodnota výstupního napětí a frekvenční odezva. Konstrukteři mohou tak pomocí snadné aktualizace firmware modifikovat chování celého zdroje, na rozdíl od nutnosti změny hardware. Tím je spotřebiteli nabízena větší flexibilita tím, že je možné vytvořit obecný systém a naprogramovat jej podle konkrétních potřeb zadavatele. Tento obecný obvod pak představuje širokou škálu produktů pro přeměnu energie s možností jednoduchého přeprogramování. I když tento způsob se může zdát komplikovanější, poskytuje prakticky neomezenou flexibilitu pro vývoj, výrobu, a dokonce i doplňkové služby přímo u konkrétního uživatele. Dohledové funkce mohou také pracovat s analogovými nebo digitálními obvody.

## 1.3 DNC stroj (přímo numericky řízený stroj)

Systém, který integruje několik strojů prostřednictvím přímého připojení k hlavnímu počítači, je známý jako přímé numerické řízení (DNC). Centrální počítač je koncipován tak, aby každému stroji poskytoval podle potřeby pokyny k práci s vloženým nástrojem. Centrální počítač také získává data ze zařízení. Výsledkem je, že každý obráběcí stroj a hlavní počítač si vyměňují informace obousměrně.

## 1.4 Volba typu ovládání napájecího zdroje

Nejvhodnější způsob ovládání zdroje bude záviset na konkrétní aplikaci. Hlavní rozdíl mezi oběma typy ovládání spočívá ve flexibilitě. Pokud předpokládáme provoz napájecího zdroje pouze se specifickými parametry, kterými budou například hodnoty vstupního a výstupního napětí, výkon zdroje a časový průběh výstupního napětí, můžeme snížit ekonomické náklady volbou analogově řízeného napájecího zdroje. Pokud se však naše požadavky změnily, nebo bychom zjistili, že výkon zařízení není optimální, budeme si muset buď pořídit zcela jiný napájecí zdroj, nebo provést náročné konstrukční úpravy.

Pokud bychom předpokládali pravidelné změny v parametrech zdroje, může digitálně řízený napájecí zdroj splnit tyto požadavky na flexibilitu bez časově náročných úprav hardwaru. Další možností je použití tzv. hybridního systému. Tyto systémy používají analogové ovládání, ale parametry lze nastavit a spravovat digitálně. Díky tomu nejlepším z obou světů jsou hybridní systémy optimální volbou, jak zajistit současně flexibilitu a vysoký výkon instalovaného zařízení. (Astrodyne TDI, 2024)

## 1.5 Vybrané typy zdrojů

### 1.5.1 Napájecí zdroj ABC

Jedná se zdroj s výkonem 100 W (viz obr. 1), ovládaným mikrokontrolerem. Svou koncepcí ho lze zařadit mezi stolní napájecí zdroje s integrovanou klávesnicí/řadičem GPIB, s plně duplexní komunikací. Zdroj využívá ke své činnosti tzv. spínání v nule, má malou hmotnost a rozměry. Vyznačují se korekcí účinnosti, univerzálním střídavým vstupem a potlačením EMI. Výzvou v ABC bylo replikovat vlastnosti tradičních lineárních přístrojových napájecích zdrojů v produktu, který využívá technologii spínaného režimu pro svou zlepšenou účinnost a všechny výhody, které z toho plynou.

Přístroj, lze jej snadno integrovat do automatických testovacích systémů. Vestavěné rozhraní umožňuje uživateli ovládat nastavení napětí, proudu, přepětí a omezení výstupního proudu. Odesílá po sběrnici hodnoty napětí, proudu a stavu pomocí příkazů SCPI (IEEE 488.2).

ABC má energeticky nezávislou paměť, do které lze uložit až 40 různých kombinací nastavení napětí, nastavení proudu, nastavení ochrany přepětí, nastavení omezení proudu a časových profilů průběhů výstupního napětí. (Kepco, Inc., 2024)

### 1.5.2 Napájecí zdroje BHK-MG

BHK-MG (viz obr. 2) jsou vhodné pro integraci do testovacích systémů. Série zahrnuje 200 wattové modely s plným rackem a 40 wattové modely s polovičním rackem produkující napětí

0 – 300V, 0 – 500V, 0 – 1000V a 0 – 2000 V. Má lineární koncový stupeň MOSFET, a lze je připevnit pro vysokorychlostní provoz.

Výstupní napětí, nebo výstupní proud BHK-MG lze ovládat programově, buď analogově (jako provozní napájecí zdroj), nebo digitálně pomocí GPIB. Pro využití možností rychlého programování BHK-MG je nutné použít analogové programovací vstupy, protože rychlost řízení z GPIB není dostatečně rychlá.

Stejně jako v ABC mikroprocesor je řízen výstup zdroje, obsluhuje klávesnici, obsluhuje vestavěné řídicí rozhraní IEEE 488.2 a zobrazuje výstup na 2 řádkovém 16 znakovém LCD displeji. (Kepco, Inc., 2024)

### 1.5.3 Napájecí zdroje MST

Kepco zdroj MST (viz obr. 3) kombinuje malé rozměry a účinnost vysokofrekvenčního přepínače se ovládaným zesílením, stabilitou, přesností a ovládním lineárního stabilizátoru. Tento hybridní přístup přináší 200 wattový design. Tyto zdroje umožňují jejich sériové zřetězení (až 9) do skříně racku 4U (7" výška x 19").

MST je 200wattový, programovatelný přístrojový napájecí zdroj, který kombinuje mikroprocesorem řízenou sériovou sběrnici s lineární stabilizací s vysokým zesílením, to vše je řízeno 100kHz přepínačem, který zahrnuje obvody aktivní korekce účinníku.

MST jsou vestavěny v nízké zásuvné skříně. Každý modul je samostatný, s vlastními chladicími ventilátory, vstupním střídavým konektorem, pojistkou a stejnosměrnými svorkami. Montují se do speciálního rackového adaptéru, RA 55. Jeden ze slotů v tomto rackovém adaptéru nebo zásuvce může být vyhrazen pro zásuvnou kartu, která zajišťuje překlad sběrnicevého formátu mezi IEEE 488.2 a jedinou adresou Kepco, sériovou, více přístrojovou) sběrnici. Tato karta má označení MST 488-27. Na každých 27 modulů MST je potřeba pouze jedna tato karta (tři pouzdra po devíti minus jeden slot pro MST 488-27). (Kepco, 2024)

## BPAR cvičení č. 3

### Název úlohy: Zdroj referenčního napětí s OZ

#### Zadání úlohy

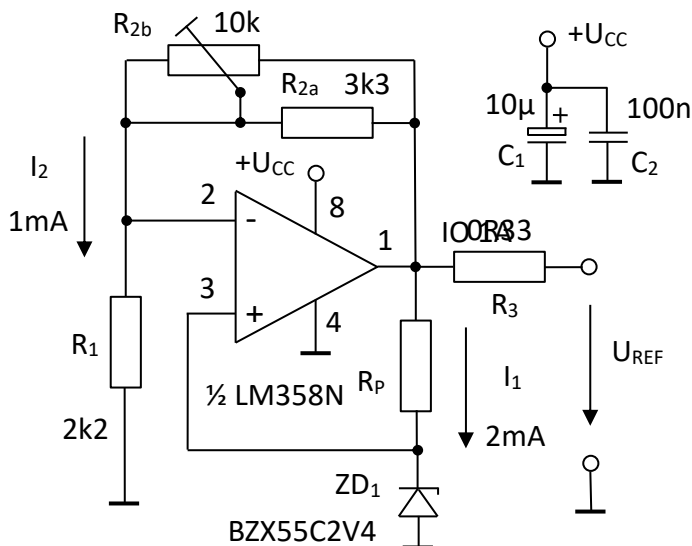
Cílem cvičení je seznámení se s obvodovým návrhem a realizací zdrojů referenčního napětí s operačním zesilovačem.

V rámci cvičení ověřte funkci elektronického obvodu:

- Zdroje referenčního napětí s operačním zesilovačem.

#### Zdroj referenčního napětí s operačním zesilovačem

Schéma zapojení zdroje referenčního napětí pro nesymetrické napájení operačního zesilovače je na obr. 1. V tomto zapojení lze získat pouze kladné napětí referenčního zdroje. V rámci cvičení budete zapojení referenčního zdroje napětí realizovat a testovat jeho elektrické parametry. Hlavním požadavkem na kvalitu zdroje referenčního napětí je jeho stabilita. Zdroje referenčního napětí se nejčastěji používají ve funkci srovnávacího napětí, v zapojení převodníků AD a DA, zdrojů napětí, zdrojů konstantního proudu atd.



Obr. 4 – Regulovatelný zdroj referenčního napětí s OZ (zdroj autor)

Výstupní napětí zdroje referenčního napětí lze určit pomocí rovnice

$$U_{REF} = U_{ZD1} \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (1)$$



Na trhu jsou dostupné integrované obvody, které plní funkci zdroje referenčního napětí s přísnými požadavky na jeho stabilitu. Tyto obvody jsou vyráběny pro standardní řadu referenčních napětí. V případě, že potřebujeme v konstrukci použít zdroj referenčního napětí mimo tuto řadu, lze použít právě toto zapojení podle obr. 1.

---

Vždy se snažte porozumět danému zapojení. V případě, že máte za úkol průběhy příslušných veličin ověřit teoretickým výpočtem, nebo proměřením dané části zapojení, uveďte tento postup s patřičným komentářem, výpočtem a zdůvodněním do protokolu.

---

#### Zadání úkolů cvičení a doporučený postup řešení:

- Realizujte na nepájivém poli obvodové schéma elektronického obvodu z obrázku č. 1, proveďte příslušná měření a výsledky zpracujte přehledně do protokolu ve formě grafů a tabulek.
- Realizaci a testování zapojení elektronických obvodů proveďte ve dvojici, se spolupracujícím studentem. Na úvodním listu protokolu bude uvedeno jméno a příjmení obou spolupracujících osob ve skupině.
- Zapojte a oživte na nepájivém poli obvod zdroje referenčního napětí s operačním zesilovačem. Napájecí napětí obvodu bude nesymetrické, **+12V**. Oživení obvodu proveďte pomocí regulovatelného napájecího zdroje a multimetru.
- Bezchybnou funkci obvodu předvedte vyučujícímu.

#### Upozornění

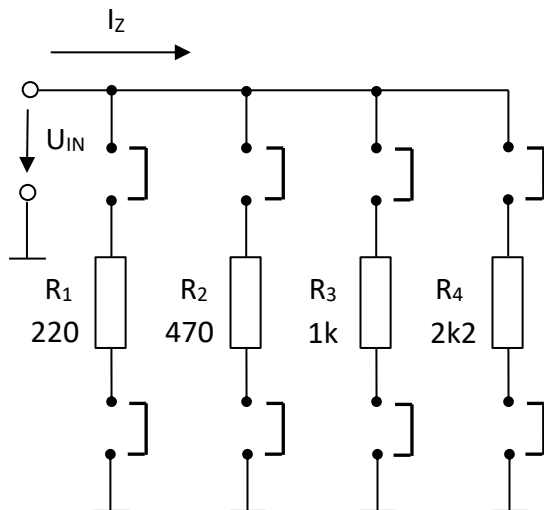
Před připojením obvodu ke zdroji napětí a jeho oživováním, nastavte hodnotu proudového omezení zdroje na nejnižší možnou hodnotu a až následně, po vyloučení zkratu v zapojeném obvodu, proudové omezení napěťového zdroje pomalu zvyšujte. **Uvedený postup připojování napájecího zdroje používejte vždy, při zapojování, oživování a laborování s elektronickými obvody!**

#### Zdroj referenčního napětí s operačním zesilovačem

- U zdroje referenčního napětí stanovte výpočtem velikost odporu rezistoru  $R_P$  pro definované výstupní napětí **+4.096V** (musí být dodrženy proudové poměry  $I_1$  a  $I_2$  v obvodu). Vypočítanou hodnotu použijte do realizace zapojení.
- Změřte zatěžovací charakteristiku zdroje referenčního napětí pro zatížení proudem  $I_{OUT} \approx 0 - 25mA$ , v cca 10 krocích. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky v prostředí tabulkového procesoru „Excel“ (pro měření zatěžovací charakteristiky použijte zapojení zátěže podle obr. 4).
- Stanovte činitel stabilizace pro změnu napájecího napětí v rozmezí 9 – 15V (viz. tab. 4).

- Proveďte návrh hodnot obvodových součástek  $R_1$ ,  $R_2$  a  $R_P$ , pro zapojení zdroje referenčního napětí podle obr. 1, pro výstupní napětí **+7.000V**. Správnost návrhu ověřte realizací obvodu na nepájivém poli a změřením  $U_{R1}$ ,  $I_{R1}$ ,  $U_{ZD}$  a  $I_{RP}$ .
- Výsledky realizace, výpočtů a měření uveďte do protokolu.
- Přílohou protokolu budou soubory v elektronické podobě ve formátu \*.doc a \*.xls.

### Ohmická zátěž pro zdroj referenčního napětí



Obr. 5 – Zátěž pro zdroj napětí (zdroj autor)

Zátěž je realizována sadou rezistorů, složenou z hodnot odporů (řady E12 – 0,6W) zapojených podle obr. 5. Vhodnou kombinací této odporové sítě a jejím zapojením do testovaného obvodu lze získat potřebnou řadu velikostí hodnot zatěžovacích proudů pro testování zdroje napětí. Vhodné kombinace odporové sítě získáte výpočtem v prostředí software „Excel“. **Přípravu vhodných kombinací rezistorů a jejich seřazení do vhodné řady je vhodné provést v rámci samostatné přípravy, před samotnou realizací a měřením obvodů.** Nezapomeňte ověřit výpočtem výkonové zatížení jednotlivých rezistorů a jejich kombinací. Předpřipravené zapojení rezistorové sítě sestavte do přehledné tabulky v prostředí „Excel“.

### Doporučení k přípravě na zpracování úlohy – stanovení kombinací zatěžovacích rezistorů, výpočet velikosti ohmické zátěže:

V prostředí Excel navrhnete tabulku pro výpočet velikostí ohmické zátěže tak, aby vstupními parametry pro výpočet jednotlivých kombinací odporové sítě z Tabulky 1, byly adresy buněk jednotlivých rezistorů  $R_1 - R_4$ . Tento postup vám umožní automatický přepočítání celé tabulky hodnot, v případě potřeby změny vstupních parametrů, bez dalšího, dodatečného, zásahu do tabulky (volby jiné škály hodnot zatěžovacích rezistorů, a tedy výstupního proudu). Do výpočtu

zatěžovacích rezistorů použijte jejich skutečné hodnoty změřené digitálním multimetrem vašeho pracoviště [pro měření použijte měřicí kabely k tomu určené!].

**Tab. 1 – Vzor tabulky výpočtu kombinací odporové sítě – vstupní hodnoty odporu rezistorů (viz. zapojení obvodu na obr. 2)**

Rezistor	
R1 [Ω]	
R2 [Ω]	
R3 [Ω]	
R4 [Ω]	
U <sub>REF</sub> [V]	

**Tab. 2 – Vzor tabulky výpočtu hodnot ohmické zátěže, výpočet výkonového zatížení rezistorové sítě provedte pro výstupní napětí 4,096V**

Paralelní kombinace R1-R4			
Kombinace		R <sub>z</sub> [Ω]	P <sub>z</sub> [mW]
1.	R1		
2.	R2		
3.	R3		
4.	R4		
5.	R1//R2		
6.	R1//R3		
7.	R1//R4		
8.	R2//R3		
9.	R2//R4		
10.	R3//R4		
11.	R1//R2//R3		
12.	R1//R3//R4		
13.	R2//R3//R4		
14.	R1//R2//R3//R4		

Tab. 3 – a (b) Tabulky naměřených a vypočítaných hodnot pro zdroje referenčního napětí +4,096V [zatěžovací charakteristiky] a hodnot obvodových veličin a prvků zdroje +7,000V

„Zatěžovací charakteristika“ $U_{REF} = +4,096V$ ; $U_{REF} = f(I_Z)$		
číslo měření	$I_Z$ [mA]	$U_{REF}$ [mV]
1.		
2.		
3.		
4.		
.		
.		
.		
.		
N		

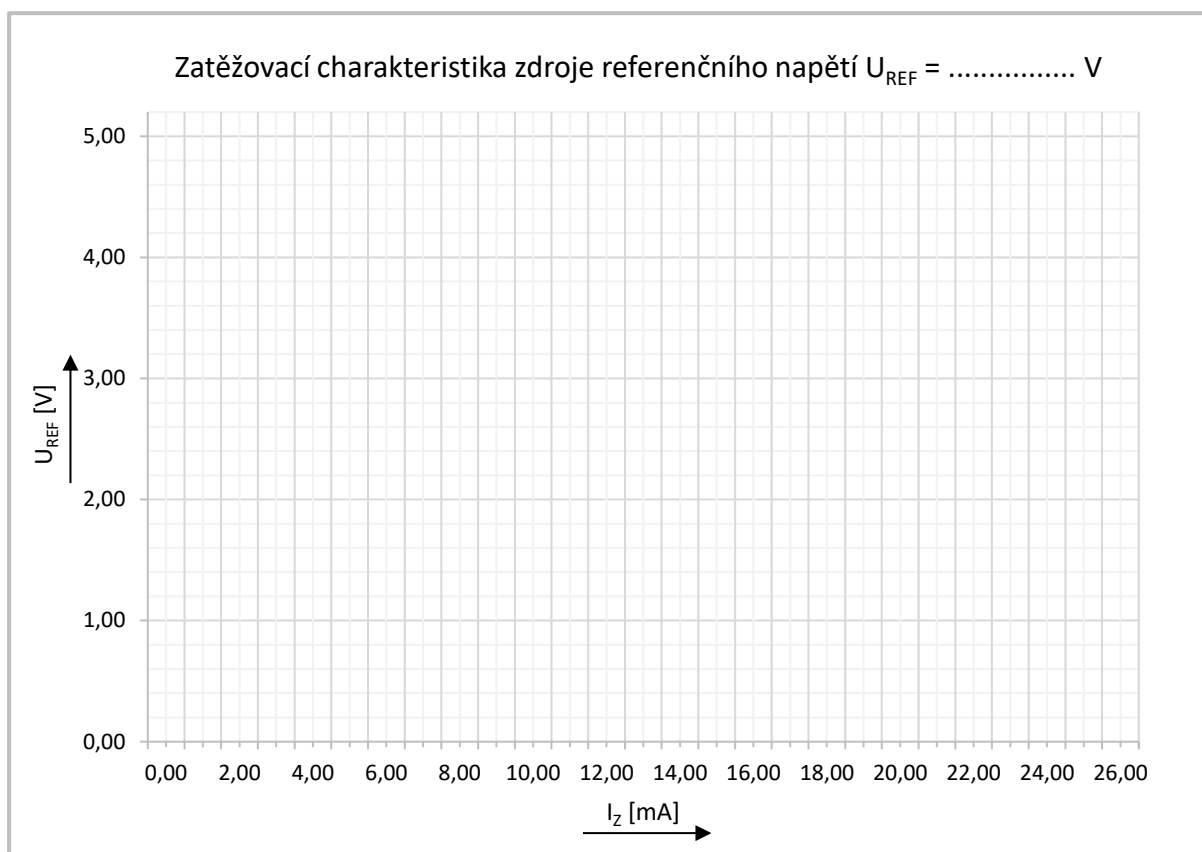
a) Zdroj napětí +4,096V

Návrh zdroje $U_{REF} = +7,000V$	
$U_{REF}$ [mV]	
$R_1$ [k $\Omega$ ]	
$R_{2a}$ [k $\Omega$ ]	
$R_{2b}$ [k $\Omega$ ]	
$R_P$ [k $\Omega$ ]	
$U_{ZD1}$ [mV]	
$I_{R1}$ [mA]	
$I_{RP}$ [mA]	

b) Zdroj napětí +7,000V

Tab. 4 – Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot pro stanovení činitele stabilizace – „S“ zdroje +4,096V

Parametry zdroje referenčního napětí +4,096V činitel stabilizace pro $I_{OUT} \approx 10mA$					
číslo měření	$U_{CC}$ [V]	$\Delta U_{CC}$ [V]	$U_{OUT}$ [V]	$\Delta U_{OUT}$ [mV]	S [-]
1.	9,50				
2.	10,00				
3.	10,50				
4.	11,00				
5.	11,50				
6.	<b>12,00</b>	---	<b>4,096</b>	---	---
7.	12,50				
8.	13,00				
9.	13,50				
10.	14,00				
11.	14,50				



Obr. 6 – Vzor grafu zatěžovací charakteristiky (vytvořeno v Excel)

### Samostatná příprava

1. Výpočet obvodových prvků zdroje referenčního napětí.
2. Připravit zapojení ohmické zátěže (tabulky, výpočty v prostředí Excel). Výběr vhodných kombinací pro realizaci zátěže zdroje.
3. Překreslit schéma zdroje referenčního napětí.
4. Vyznačit měřicí body pro jednotlivé, přímo měřené veličiny.
5. Navrhnout a nakreslit zapojení schéma měřicího pracoviště, s vyznačením připojení měřicích přístrojů.
6. Připravit tabulky pro záznam měření a následné výpočty (v prostředí Excel).

### Otázky k procvičení

1. Nakreslete schéma a vysvětlete princip funkce stabilizátoru napětí se zenerovou diodou.
2. Nakreslete schéma a vysvětlete princip funkce zdroje referenčního napětí v zapojení s operačním zesilovačem.
3. Jaké jsou výhody zdroje referenčního napětí s operačním zesilovačem v porovnání se stabilizátorem se zenerovou diodou zapojenou v základním zapojení zdroje stabilizovaného napětí?
4. Uveďte příklad a zdůvodněte použití zdroje referenčního napětí **4.096V**.
5. Nakreslete a vysvětlete tvar zatěžovací charakteristiky zdroje napětí.

## 2 Použité zdroje

ASTRODYNE TDI. *Modular Power versus Customized Designs: Choosing the Perfect Power Supply* [online]. [cit. 19. 5. 2024]. Dostupný na WWW:

<https://www.astrodynetdi.com/blog/modular-power-vs-customized-designs>

KEPCO, Inc. *Application Handbook - Digital Bus-controlled Power Supplies* [online]. [cit.

19. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://www.kepcopower.com/hbkdbus.htm>

## 3 Studijní literatura

NĚMEC, Zdeněk. *Prostředky automatického řízení, elektrické*. Studijní opora oboru Aplikovaná informatika a řízení. Brno: VUT, FSI, 2002.

BALÁTĚ, Jaroslav. *Technické prostředky automatického řízení*. Praha, SNTL 1986.

## 4 Otázky k procvičení

- 1 Jak je charakterizován analogový napájecí zdroj?
- 2 Jak je charakterizován spínaný napájecí zdroj?
- 3 Jaké jsou výhody modulárního řešení napájecích zdrojů?
- 4 Vysvětlete pojem analogově řízený napájecí zdroj.
- 5 Vysvětlete pojem digitálně řízený napájecí zdroj.
- 6 Vysvětlete pojem hybridně řízený napájecí zdroj.
- 7 Co představuje zkratka GPIB?

## Seznam zkratk

FPGA	Field Programmable Gate Array
GPIB	General Purpose Interface Bus
MST	Multi Sensor Terminal
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
PC	Personal Computer

## Rejstřík

- nastavení, 4
  - časových profilů, 4
  - ochrany přepětí, 4
  - omezení proudu, 4
  - proudu, 4
- obvod, 1
  - dozorový, 1
  - řídící, 1
- řídící obvod, 1
  - analogový, 1
  - digitální, 1
- sběrnice, 5
  - sériová, 5
  - více přístrojová, 5
- system, 3
  - analogový, 2
  - digitální, 3
  - hybridní, 3
- zdroj, 1
  - analogový, 1
  - digitální, 1
  - napětí, 1
  - spínaný, 1

# Prostředky automatického řízení

## Téma 04: DAC a ADC převodníky

### Studijní cíl

Seznámit studenty s obvodovým řešením ADC a DAC převodníků.

### Doba nutná k nastudování

2 hodiny

### Klíčová slova

Převodník, ADC, DAC, R2R, váhové rezistory, operační zesilovač, referenční zdroj napětí, logický obvod

## 1 ADC převodníky

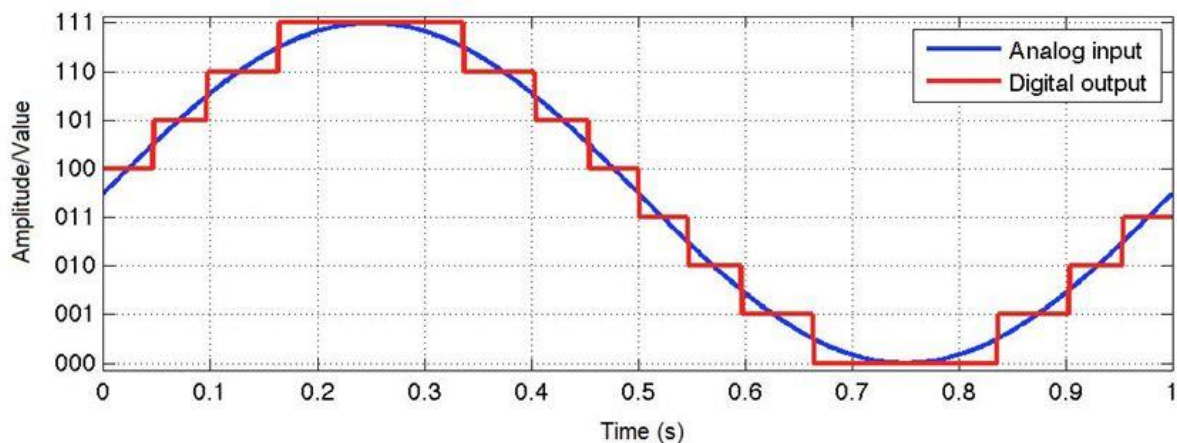
Analogově digitální převodníky (ADC) jsou důležitou součástí, pokud jde o práci s digitálními systémy komunikujícími se signály v reálném čase. S rychle se rozvíjejícím internetem věcí, který má být aplikován v každodenním životě, musí tyto digitální systémy číst signály v reálném světě/čase, aby přesně poskytovaly životně důležité informace.

### 1.1 Jak pracuje ADC?

V reálném světě jsou analogové signály, které jsou tzv. spojité, disponují spojitými hodnotami. Tyto typy signálů mohou pocházet ze zpracování zvuku, světla, teploty a pohybu. Digitální signály jsou reprezentovány sekvencí diskrétních hodnot, kde je signál rozdělen do sekvencí, které závisí na časové řadě nebo vzorkovací frekvenci (více o tom později). Na obr. 1 je v grafické podobě vyobrazení analogového a digitálního signálu.

Mikrokontroléry nemohou pracovat s napěťovými úrovněmi, pokud se nejedná o digitální data. Je to způsobeno tím, že mikrokontroléry vidí pouze „hladiny“ napětí, které závisí na rozlišení ADC převodníku a referenčním napětí.





Obr. 1 – Digitalizace analogového signálu (Arrow, 2024)

ADC při převodu analogových signálů na digitální opakují tento sled činností:

- Odebrání vzorku signálu,
- kvantifikace signálu a zapamatování si jeho hodnoty po dobu převodu,
- provedení vlastního převodu, to znamená přiřazení příslušné binární hodnoty,
- generování informace o dokončení převodu.

Nejdůležitější jsou dva parametry ADC převodníku. Je to jeho vzorkovací frekvence a jeho rozlišení.

## 1.2 Volba vzorkovací frekvence ADC

Vzorkovací frekvence ADC je úzce svázána s rychlostí převodu ADC. Vzorkovací frekvence se vyjadřuje jako počet „vzorků za sekundu“. Jednotka vzorkovací frekvence je uváděna v SPS nebo S/s (nebo pokud je použita vzorkovací frekvence, budou jednotky v Hz). Je to vyjádření, kolik vzorků, nebo datových bodů je vykonáno za 1 sekundu. Čím více vzorků ADC odebere, tím vyšší frekvenci signálu můžeme vzorkovat.

Důležitou rovnicí je výpočet vzorkovací frekvence:

$$f_s = 1/T \quad (1)$$

kde

$f_s$  je vzorkovací frekvence

$T$  je perioda vzorku nebo čas, který trvá, než bude vzorkováno znovu

Z obr. 1 můžeme vypočítat, že  $f_s$  je 20 S/s (nebo 20 Hz), při  $T$  50 ms. Vzorkovací frekvence je relativně velmi pomalá, ale přesto navzorkovaný signál poměrně dobře vystihuje původní signál. Je to z důvodu nízkého kmitočtu vzorkovaného signálu (1 Hz).

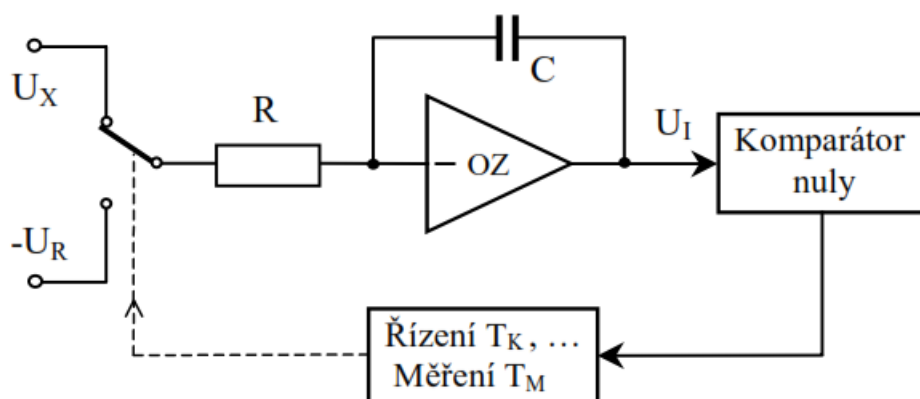
Co by se stalo, když bude vzorkovací frekvence výrazně pomalejší? Důležitá je volba vzorkovací frekvenci ADC, vzhledem ke vzniku tzv. aliasingu. Přítomnost aliasingu vede k navzorkování kmitočtu, který v původním signálu přítomen nebyl.

Pokud bude, vzhledem k vzorkovanému signálu, vzorkovací frekvence pomalá, ADC nebude schopen rekonstrukce původního analogového signálu. Výsledkem bude načítání nesprávných dat.

## 2 ADC s dvojitou integrací

ADC převodník s dvojitou integrací poskytuje pro odpovídající aktuální stav vstupního analogového signálu, jeho hodnotu v binárním kódu.

Blokové schéma ADC s dvojitou integrací je znázorněno na obr. 2.



Obr. 2 – Blokové schéma AD převodníku s dvojitou integrací (Němec, 2002)

### 2.1 Funkce AD převodníku s dvojitou integrací

1. Řídicí logika vynuluje čítač a spustí generátor hodinového signálu, aby hodinové impulsy přivedené na vstup čítače mohly být čítány, pokud dostane příslušný pokyn od logického řídicího obvodu.
2. Řídicí logika přepne elektronický přepínač „sw“ do polohy pro připojení vstupního napětí  $U_i$  na analogový vstup, toto vstupní napětí je přivedeno na vstup integrátoru.
3. Výstup integrátoru je připojen k jednomu ze dvou vstupů vnitřního komparátoru převodníku a druhý vstup komparátoru je připojen na nulové napětí.
4. Komparátor průběžně porovnává výstupní napětí z integrátoru s nulovým potenciálem a jeho výstup je spojen s řídicí logikou převodníku.

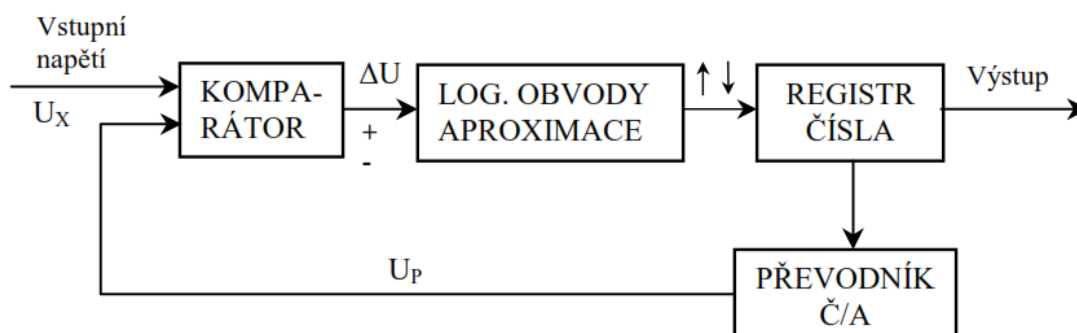
5. Obsah čítače je postupně inkrementován s každým přicházejícím impulzem hodinového signálu a je v binárním (digitálním) formátu. Generuje signál přetečení pro řídicí logiku, když dosáhne své maximální hodnoty. V tomto okamžiku budou všechny bity čítače vynulovány.
6. Nyní řídicí logika přepne přepínač sw do polohy pro připojení k zápornému referenčnímu napětí  $-V_{ref}$ . Toto záporné referenční napětí je přivedeno na integrátor. Dochází k postupnému odintegrování napětí integračního kondenzátoru, dokud nedosáhne nulového napětí.
7. V tomto okamžiku jsou oba vstupy komparátoru na nulovém napětí. Komparátor vyše signál řídicí logice. Nyní řídicí logika deaktivuje generátor hodinového signálu a zachová (podrží) hodnotu čítače. Hodnota čítače je přímo úměrná externímu analogovému vstupnímu napětí.
8. V tomto okamžiku se výstup čítače zobrazí jako digitální výstup. Je téměř ekvivalentní odpovídající externí analogové vstupní hodnotě  $V_i$ .

ADC s dvojitou integrací se používá v aplikacích, kde je důležitější přesnost převodu analogového napětí na binární data.

### 3 ADC s postupnou aproximací

ADC typu postupné aproximace vytváří digitální výstup, který je přibližně stejný jako analogový vstup pomocí techniky postupné aproximace interně.

Blokové schéma postupné aproximace ADC je znázorněno na obr. 3.



Obr. 3 – Blokové schéma AD převodníku s postupnou aproximací (Němec, 2002)

ADC s postupnou aproximací se skládá ze 4 bloků:

- generátoru hodinového signálu
- postupný aproximační registr (LOA)
- DAC převodníku
- komparátoru a řídicí logiky

### 3.1 Funkce ADC s postupnou aproximací

- Řídicí logika resetuje všechny bity LOA a povolí generátoru hodinového signálu, aby byly přivedeny do SAR, pokud dostane požadavek od řídicí logiky.
- Binární (digitální) data přítomná v SAR budou aktualizována pro každý hodinový impuls na základě výstupu komparátoru. Výstup SAR je použit jako vstup DAC.
- DAC převádí přijímaný digitální vstup, který je výstupem SAR, na analogový výstup. Komparátor porovnává tuto analogovou hodnotu  $V_a$  s hodnotou externího analogového vstupu  $V_i$ .
- Výstup komparátoru bude "1", pokud je napětí  $V_i$  větší než napětí  $V_a$ . Podobně výstup komparátoru bude '0', když  $V_i$  je menší, nebo rovno  $V_a$ .
- Operace uvedené ve výše uvedených krocích budou pokračovat, dokud nebude dosaženo konečné hodnoty digitálního výstupu.

Digitální výstup bude validní, pokud bude téměř ekvivalentní odpovídající hodnotě externího analogového vstupu  $V_i$ .

## 4 DA převodníky

**Digitálně-analogový převodník** nebo DAC, jsou opakem *analogově-digitálního převodníku*, na který jsme analyzovali předchozích odstavcích. DAC převádějí binární, nebo nebinární čísla a kódy na jejich ekvivalentní analogové hodnoty, přičemž jejich výstupní napětí (nebo proud) je úměrné hodnotě jejich digitálního vstupního čísla.

Můžeme mít, například 4bitový digitální logický obvod, jehož výstupní signál se pohybuje v rozsahu binárních čísel, od 0000 do 1111<sub>2</sub>, (0 až F16), který DAC převádí na napěťový výstup v rozsahu od 0 do 10V.

Převod "n" bitového digitálního vstupního kódu na ekvivalentní analogové výstupní napětí mezi 0 a některými  $V_{MAX}$  hodnotu lze provést mnoha způsoby, ale nejběžnější a snadno pochopitelné metody převodu používají vážené rezistory a sumační zesilovač, nebo rezistorovou žebříkovou síť R-2R a operační zesilovač.

Obě metody *digitálně-analogového převodu* generují výstup váženého součtu, přičemž váhy nastavené odporovými hodnotami používanými v žebříkových sítích přispívají k výstupu signálů různým "váhovým" množstvím.

### 4.1 DAC s váhovou odporovou sítí

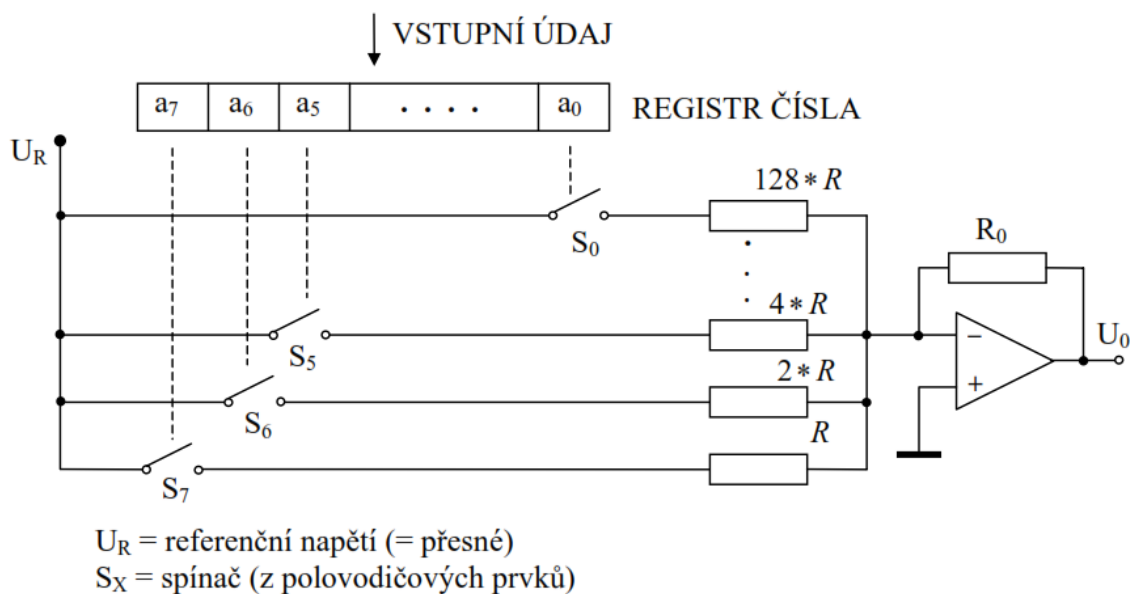
DAC s váhovou odporovou sítí jsou převodníky dat, které převádějí digitální binární číslo na ekvivalentní analogový výstupní signál, úměrný hodnotě digitálního čísla. Tento typ DA převodníku vychází ze schématu zapojení sumačního zesilovače. Sumační zesilovač můžeme

definovat jako obvod "sčítacího invertujícího napětového zesilovače". Záporná zpětná vazba je vytvořená zpětnovazebním rezistorem, zapojeným mezi výstupní obvod OZ a společný, invertující vstup. Všechny vstupní signály jsou od sebe účinně elektricky odděleny, přičemž výstup je invertovaným součtem všech vstupních signálů dohromady.

Sumační zesilovač v invertujícím zapojení generuje invertovaný součet libovolného počtu vstupních napětí.

Pokud tedy přivedeme na jednotlivé vstupy sumačního zesilovače referenční napětí, spínané elektronickými spínači, a použijeme odstupňované velikosti sumačních rezistorů, bude výstupní napětí operačního zesilovače odpovídat ekvivalentu binární hodnoty sepnutých spínačů na jejich vstupech.

Zapojení převodníku s váhovou odporovou sítí je na obr. 4



Obr. 4 – DA převodník s váhovou odporovou sítí (Němec, 2002)

Pro výpočet výstupního napětí platí následující rovnice.

$$U_0 = -U_R R_0 \left[ \frac{a_0}{128 R} + \frac{a_1}{64 R} + \dots + \frac{a_5}{4 R} + \frac{a_6}{2 R} + \frac{a_7}{R} + \right] \quad (2)$$

Pro přesný převod je nutné dodržet přesné hodnoty váhových rezistorů.

## BPAR cvičení č. 4

### Název úlohy: ADC a DAC převodníky

#### Zadání úlohy

V této úloze provedete návrh a realizaci zapojení 3bitového komparačního (FLASH) AD převodníku a AD převodníku s R2R odporovou sítí. Z těchto jednotlivých schémat zapojení vytvoříte měřicí řetězec, jehož funkčnost a parametry budou předmětem vašeho laborování.

#### V rámci této úlohy se seznámíte a procvičíte si

- principem vybraných typů DAC a ADC převodníků.
- realizaci zapojení komparačního AD převodníku.
- realizaci zapojení DA převodníku s R2R odporovou sítí.
- měření parametrů realizovaných převodníků.
- stanovení parametrů realizovaných převodníků.
- práci s elektronickými součástkami a měření elektrických veličin.

---

Vždy se snažte porozumět danému zapojení elektronického obvodu. V případě, že máte za úkol průběhy příslušných veličin ověřit teoretickým výpočtem, proměřením dané části zapojení, uveďte tento postup s patřičným komentářem, výpočtem a zdůvodněním do protokolu.

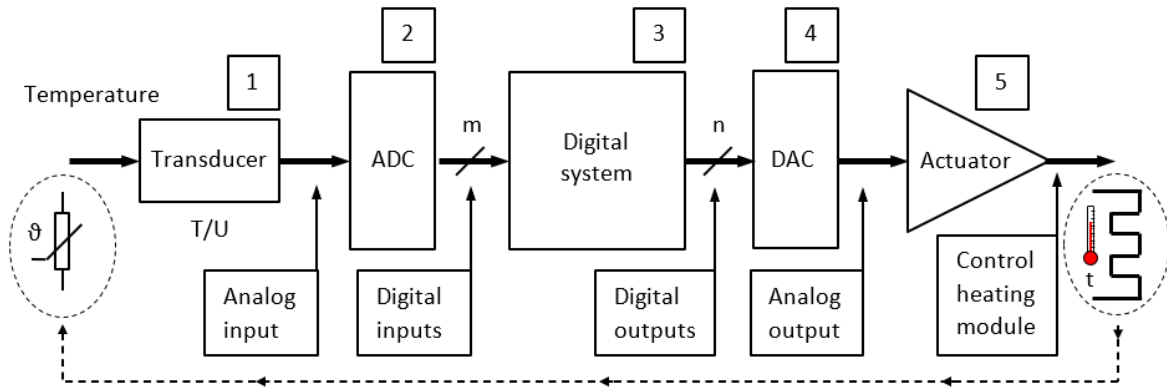
---

#### Úvod

Digitálně analogový převodník (DAC) je elektronický obvod, jehož výstupní napětí je úměrné vstupnímu binárnímu číslu. Takovýto obvod je potřeba použít v aplikacích, kde digitální obvod musí generovat signál, který má ovlivňovat tzv. "reálný svět". Signály reálného světa jsou spojitě proměnné, tj. analogové, zatímco signály v digitální podobě mají konečný počet hodnot. Jde o tzv. diskrétní signály. K provedení nezbytné konverze analogového signálu na digitální se používá právě DAC.

Analogově-digitální převodníky (ADC) jsou pro vytvoření rozhraní, které má schopnost převést analogové napětí v "reálném světě" na jeho digitální reprezentaci (binární číslo) uvnitř číslicového systému (např. osobního, nebo jednočipového (mikro) počítače). Analogově digitálních převodníků je celá řada. Lze je rozdělit do několika kategorií, například podle konstrukčního uspořádání – principu činnosti, rychlosti převodu, přesnosti a v neposlední řadě podle ekonomické náročnosti jejich realizace.

Příkladem aplikace těchto převodníků může být například "Systém regulace teploty" znázorněný blokovým schématem uvedeným na obr. 5. Analogově digitální převodník (ADC) a digitální analogový převodník (DAC) se používají k propojení počítače s analogovým světem tak, aby číslicový systém mohl sledovat a řídit fyzickou proměnnou. V našem případě teplotu. Příslušné vstupně-výstupní signály musí, před a po zpracování ADC a DAC převodníky, příslušně upraven.



Obr. 5 – Blokové schéma regulačního obvodu teploty (zdroj autor)

1. **Převodník teploty** (Tranducer) na elektrickou veličinu (např. převodník T/U).
2. **ADC** – analogově – digitální převodník.
3. **Digitální řídicí obvod** (Digital system). Např. jednočipový mikropočítač, logický řídicí obvod z diskretních logických obvodů, nebo typu FPGA, PLD atd.
4. **DAC** – digitálně analogový převodník.
5. **Actuator** – akční člen, který působí na regulovaný systém tak, aby jeho chování odpovídalo předem stanovenému průběhu (např. žádané hodnotě teploty).

#### Zadání cílů úlohy a doporučený postup řešení

- Podle schématu zapojení převodníků (převodníku ADC a DAC) z obr. 6, zapojte příslušný elektronický obvod na nepájivém poli. Realizaci provádějte až po důkladném prostudování zapojení a pochopení funkce elektronického obvodu a pečlivé samostatné přípravě na řešení této úlohy (případné výpočty velikostí neznámých elektronických součástek a uzlů, kde bude prováděno měření).
- Obě zapojení realizujte zároveň, do jednoho obvodu, pro možnost současného měření obou charakteristik.
- Změřte převodní (statickou) charakteristiku AD a DA převodníků. Sestrojte funkční závislosti  $BCD=f(UIN)$ ,  $UOUT=f(BCD)$  a  $UOUT=f(UIN)$  v podobě grafů v software Excel. Do tabulky č. 1. doplňte vypočítané výstupní napětí převodníku R2R. Pro záznam naměřených a vypočtených veličin použijte předpřipravenou tabulku č. 2 a 3. Pro generování vstupního napětí použijte obvod s více otáčkovým odporovým trimrem, zapojeným na vstup testovacího řetězce.

- Odpojte potenciometr se vstupním napětím a na vstup ADC převodníku připojte generátor sinusového signálu ( $f=1\text{Hz}$ ,  $A = 5\text{V}$ ,  $\text{offset} = 2,5\text{V}$ ). Na výstup DAC připojte osciloskop a zobrazte na něm průběh vstupního napětí testovaného řetězce. Časový průběh v/v signálů přeneste do protokolu ve formě grafu.
- Bezchybnou činnost realizovaného zapojení předvedte vyučujícímu.
- Přílohou protokolu budou soubory v elektronické podobě ve formátu \*.doc, \*.xls.
- Protokol musí obsahovat seznam použitých přístrojů a použitých součástek použitých v laboratorní úloze.
- Při zpracování protokolu postupujte v souladu s doporučeným postupem probíraným v rámci výuky předmětu!

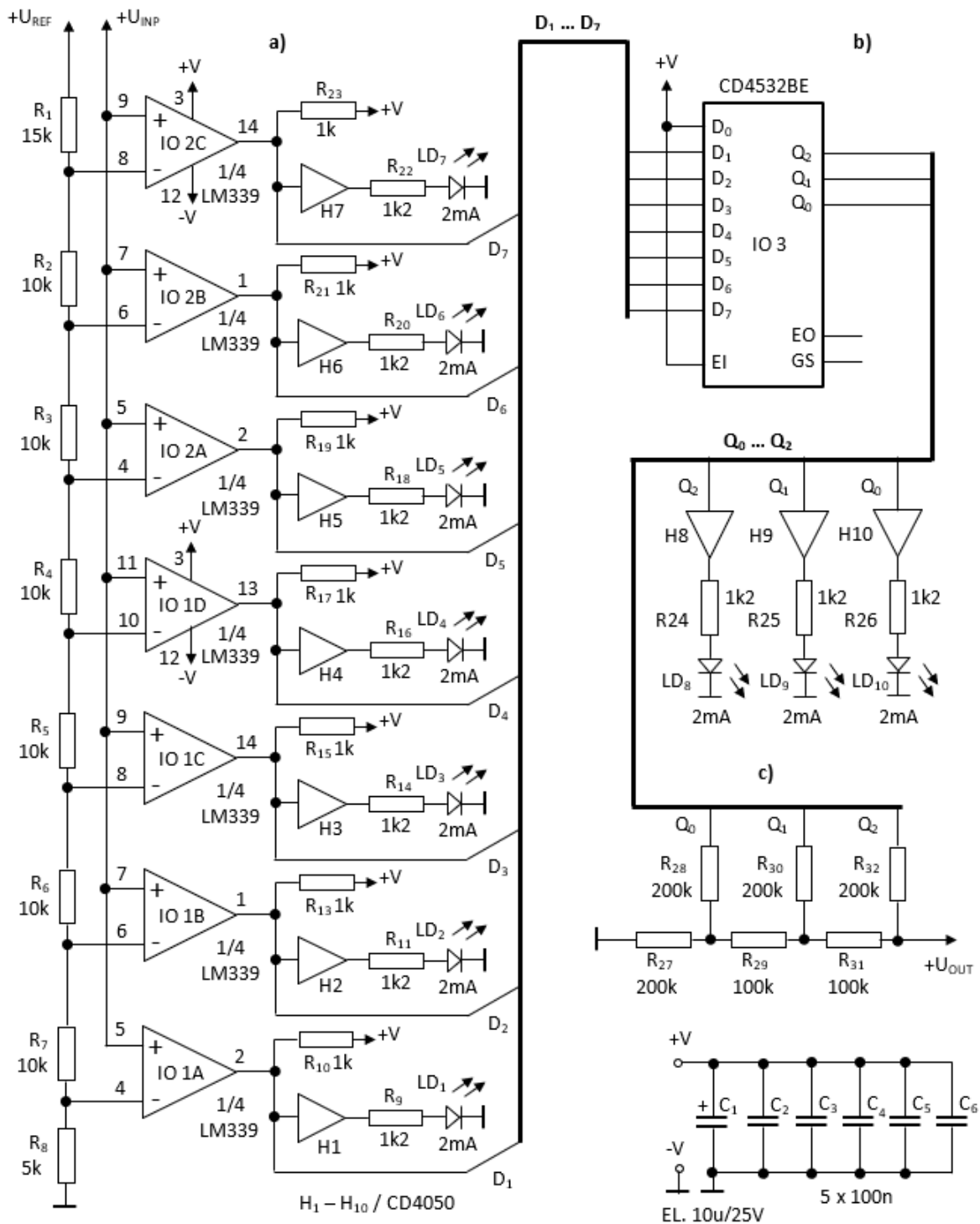
### Upozornění

Před připojením obvodu ke zdroji napětí a jeho oživováním, nastavte hodnotu proudového omezení zdroje na téměř nejnižší možnou hodnotu (cca 50mA) a až následně, po vyloučení zkratu v zapojeném obvodu, proudové omezení napěťového zdroje pomalu zvyšujte. Uvedený postup připojování napájecího zdroje používejte vždy, při zapojování, oživování a laborování s elektronickými obvody!

### Poznámka

Po nastavení napájecího napětí +5V na regulovatelném zdroji vašeho pracoviště a zahájení měření parametrů obvodu již toto napětí neměňte! Velikost napájecího napětí uveďte do protokolu.



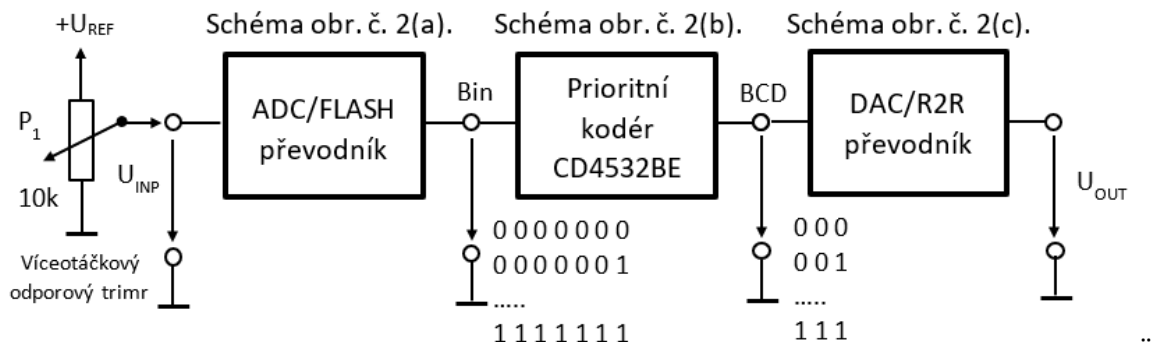


Obr. 6 – Schéma zapojení testovaného elektronického obvodu [ $+V = U_{REF} = +4V$ ] (zdroj autor)

### Zapojení měřicího pracoviště

Zapojení měřicího pracoviště proveďte tak, aby jeho struktura odpovídala blokovému schématu z obr. 7. Vstupní, testovací, napětí bude generováno víceotáčkovým odporovým trimrem s připojeným zdrojem referenčního napětí. K indikaci výstupních stavů komparátorů

použijte dostupný, kompaktní modul osmice LED diod. Pro správnou funkci DAC převodníku je nutné napájet obvody převodníku konstantním, stabilizovaným napětím. Napájecí napětí DAC/R2R převodníku má přímý vliv na jeho výstupní napětí.



**Obr. 7 – Měření statické charakteristiky ADC a DAC převodníků (zdroj autor)**

Vstupní a výstupní napětí měřte digitálním měřicím přístrojem a k indikaci 3bit rozlišení digitálního signálu použijte LED diody ze schémat zapojení elektronických obvodů.

**Tab. 1 – Závislost binárního výstupu na vstupním napětí**

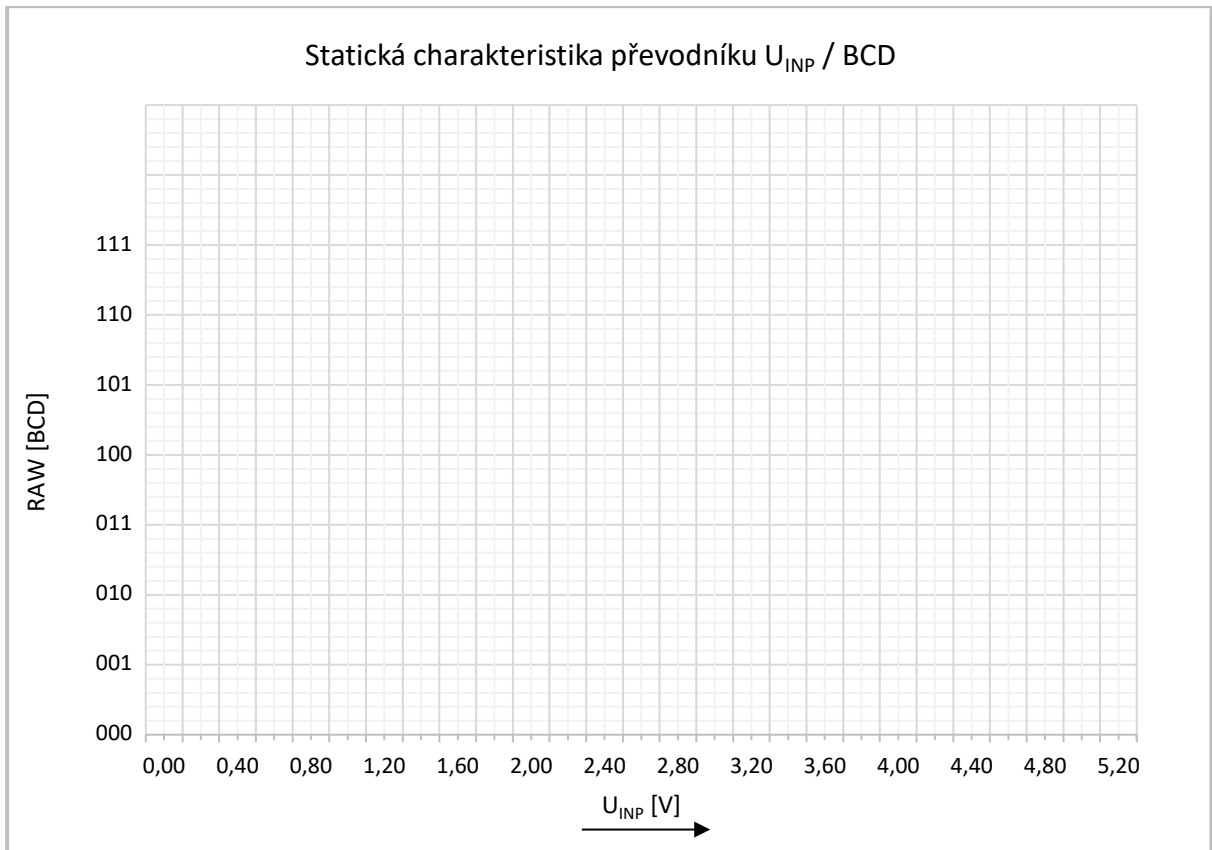
$U_{INP}$ [V]	Výstupy komparátorů [D <sub>7</sub> D <sub>6</sub> D <sub>5</sub> D <sub>4</sub> D <sub>3</sub> D <sub>2</sub> D <sub>1</sub> ]	Výstup prioritního enkodéru [Q <sub>2</sub> Q <sub>1</sub> Q <sub>0</sub> ]	$U_{OUT}$ [V]
$U_{INP} < U_{REF1}$	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0	
$U_{REF1} < U_{INP} < U_{REF2}$	0 0 0 0 0 0 1	0 0 1	
$U_{REF2} < U_{INP} < U_{REF3}$	0 0 0 0 0 1 1	0 1 0	
$U_{REF3} < U_{INP} < U_{REF4}$	0 0 0 0 1 1 1	0 1 1	
$U_{REF4} < U_{INP} < U_{REF5}$	0 0 0 1 1 1 1	1 0 0	
$U_{REF5} < U_{INP} < U_{REF6}$	0 0 1 1 1 1 1	1 0 1	
$U_{REF6} < U_{INP} < U_{REF7}$	0 1 1 1 1 1 1	1 1 0	
$U_{INP} > U_{REF7}$	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1	

Tab. 2 – Statická charakteristika řetězce  $U_{INP} \rightarrow ADC \rightarrow DAC \rightarrow U_{OUT}$

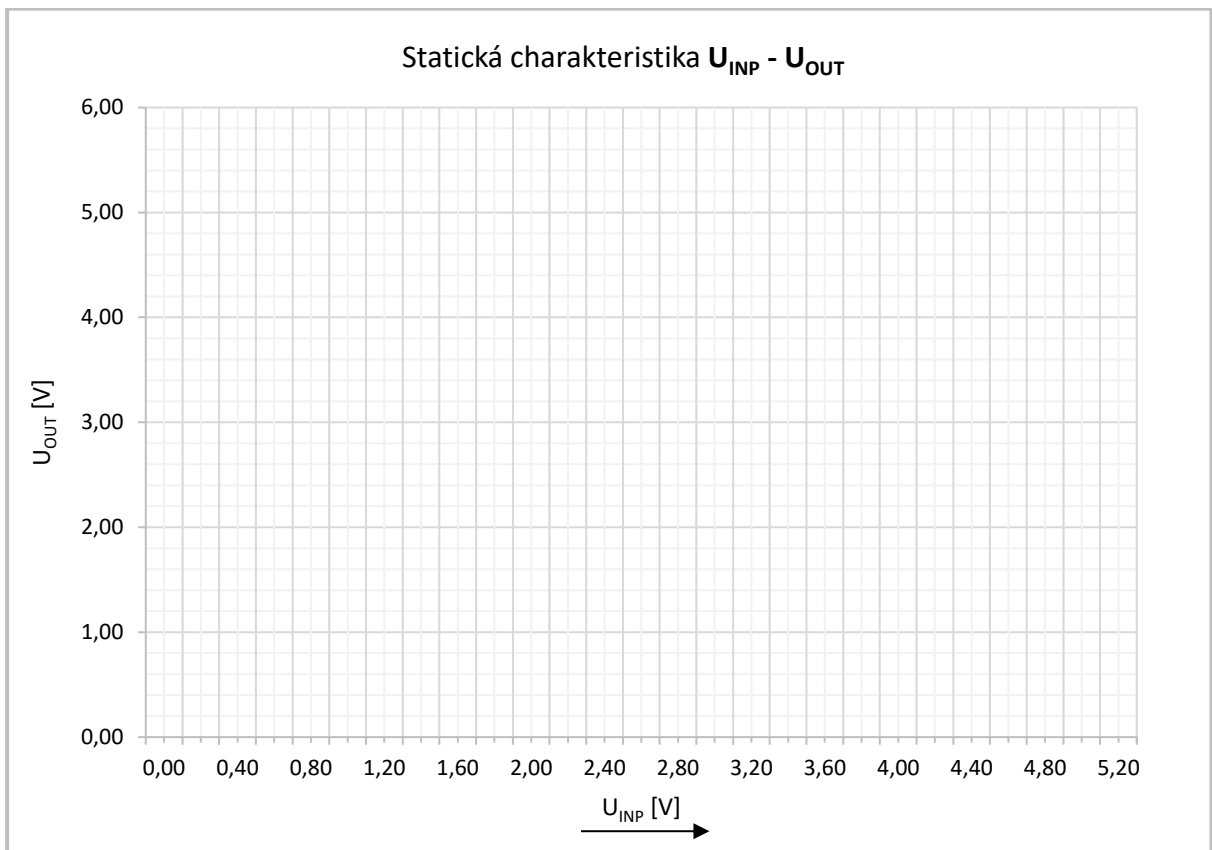
$U_{INP-MIN} - U_{INP-MAX}$ [V]	Výstupy koparátorů [D <sub>6</sub> D <sub>5</sub> D <sub>4</sub> D <sub>3</sub> D <sub>2</sub> D <sub>1</sub> D <sub>0</sub> ]	Výstup prioritního enkodéru [Q <sub>2</sub> Q <sub>1</sub> Q <sub>0</sub> ]	$U_{OUT}$ [V]
	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0	
	0 0 0 0 0 0 1	0 0 1	
	0 0 0 0 0 1 1	0 1 0	
	0 0 0 0 1 1 1	0 1 1	
	0 0 0 1 1 1 1	1 0 0	
	0 0 1 1 1 1 1	1 0 1	
	0 1 1 1 1 1 1	1 1 0	
	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1	

Tab. 3 – Statická charakteristika řetězce  $U_{INP} \rightarrow ADC \rightarrow DAC \rightarrow U_{OUT}$

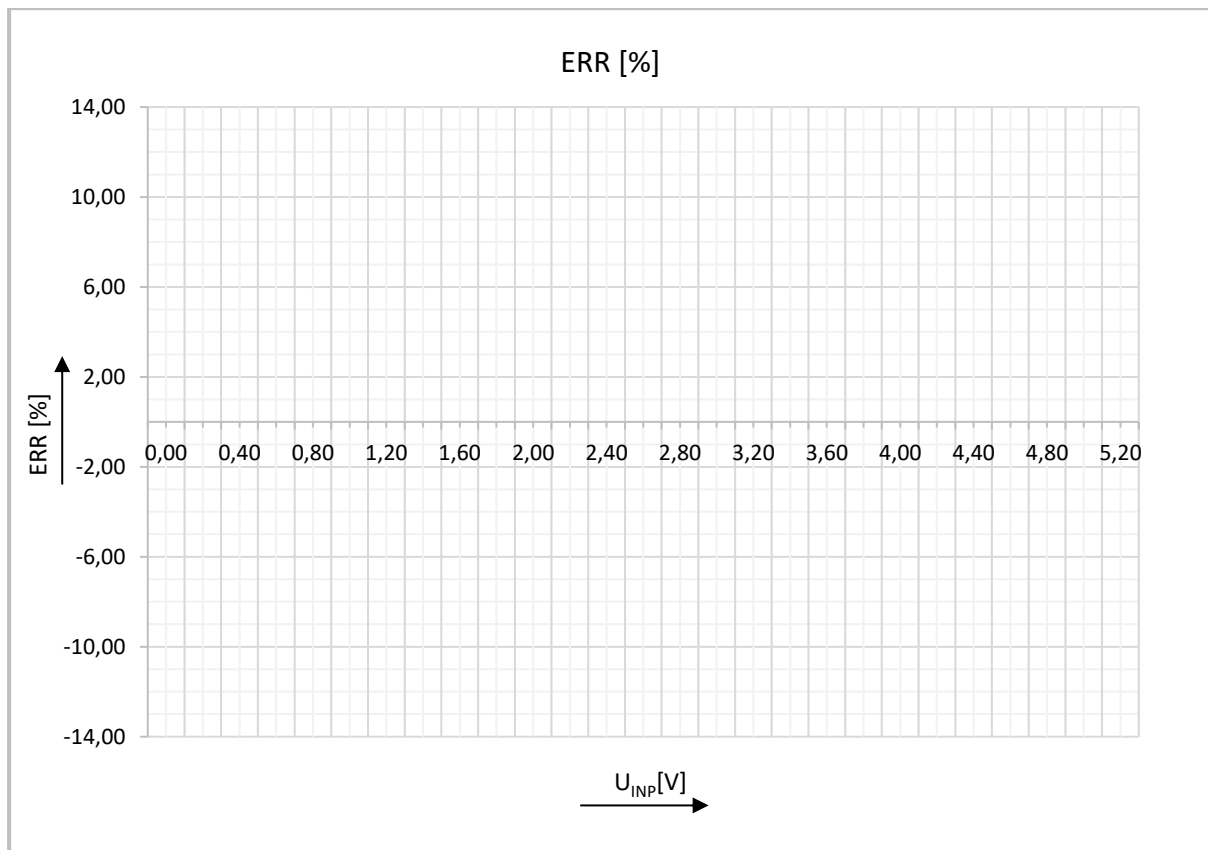
$U_{INP}$ [V]	$U_{OUT}$ [V]	RAW [BCD] [Q <sub>2</sub> Q <sub>1</sub> Q <sub>0</sub> ]	$\Delta U$ [V]	ERR [%]
0,00				
0,20				
0,40				
0,60				
0,80				
1,00				
1,20				
1,40				
.....				
.....				
.....				
.....				
4,40				
4,60				
4,80				
5,00				



**Obr. 8 – Statická charakteristika převodníku  $U_{INP} / BCD$  (vytvořeno v Excel)**



**Obr. 9 – Statická charakteristika  $U_{INP} \rightarrow U_{OUT}$  (vytvořeno v Excel)**



Obr. 10 – Graf odchylek (vytvořeno v Excel)

### Samostatná příprava

1. Proveďte stažení příslušné technické dokumentace k použitým součástkám úlohy.
2. Prostudujte dokumentaci k použitým elektronickým součástkám realizace úlohy.
3. Prostudujte charakteristické vlastnosti ADC a DAC převodníků. Sestavte vzorce pro výpočet výstupních hodnot DAC převodníku s R2R sítí.
4. Proveďte podrobnou analýzu obvodového zapojení úlohy.
5. Překreslete obvodová schémata do pracovního sešitu.
6. Připravte si tabulky v prostředí Excel pro záznam měření a sestavení grafů statické charakteristiky.

## 5 Použitá literatura

ARROW. *Analog-to-digital converters basics* [online]. [cit. 27. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/engineering-resource-basics-of-analog-to-digital-converters>

NĚMEC, Zdeněk. *Prostředky automatického řízení, elektrické*. Studijní opora oboru Aplikovaná informatika a řízení. Brno: VUT, FSI, 2002.

## 6 Studijní literatura

BALÁTĚ, Jaroslav. *Technické prostředky automatického řízení*. Praha, SNTL 1986.

## 7 Otázky k procvičení

1. Nakreslete zapojení ADC / FLASH převodníku a vysvětlete jeho funkci.
2. Nakreslete zapojení DAC / R2R převodníku a vysvětlete jeho funkci.
3. Nakreslete zapojení DAC s váhovými rezistory a vysvětlete jeho funkci.
4. Co vyjadřují parametry označované jako chyba nuly, chyba v zesílení, citlivost a rozlišení převodníku.
5. Co je to rychlost převodu u ADC a DAC převodníků.

## Seznam zkratk

DAC	Digitálně analogový převodník
ADC	Analogově digitální převodník
MVS	Analogově digitální převodník
SPS	Počet vzorků za sekundu

## Rejstřík

logický obvod, 1  
operační zesilovač, 1, 5, 7  
potenciometr, 9  
převodník, 1  
    ADC, 1, 2, 4  
    DAC, 1, 5, 9  
    R-2R, 5  
signály, 1  
    analogové, 1  
    digitální, 1  
    spojité, 1  
trimr, 9  
    odporový, 9  
    víceotáčkový, 9  
vzorkovací frekvence, 2  
zdroj, 1, 7  
    napětí, 1, 3, 6  
    referenční, 1, 10

# Prostředky automatického řízení

## Téma 05: Analogový regulátor PID

### Studijní cíl

Seznámit studenty s obvodovým zapojením analogového regulátoru s operačními zesilovači.

### Doba nutná k nastudování

2 hodiny

### Klíčová slova

Operační zesilovač, integrační zesilovač, derivační zesilovač, proporcionální zesilovač, filtrace derivační složky, regulátor, konstanty regulátoru, regulační odchylka, sumační zesilovač, diferenční zesilovač, akční veličina

## 1 Regulátory v regulačních obvodech

Hlavní úlohou regulátorů ve zpětnovazebních regulačních obvodech je, činností svých vnitřních obvodů, plnit zejména následující úlohy:

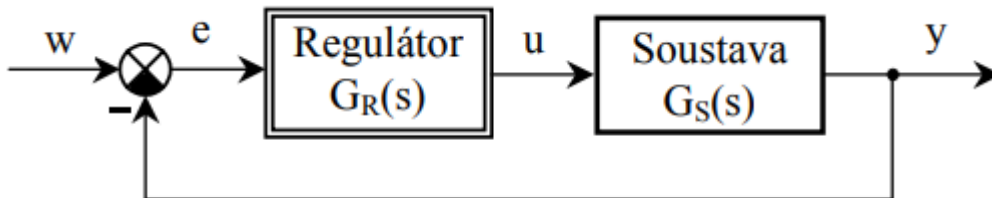
- stabilitu regulovaného obvodu
- sledování žádané hodnoty
- eliminaci regulační odchylky
- potlačení poruch vstupujících do regulované soustavy

K nastavení regulátoru, zvolené struktury, je nutné vybraným způsobem (metodou) stanovit (vypočítat) tzv. konstanty regulátoru. K tomu používáme vhodné hardwarové a softwarové prostředky. Mezi softwarové prostředky zahrnujeme různé simulační software, které umožňují simulaci regulačních pochodů s navrženou strukturou regulátoru, kdy můžeme analyzovat budoucí chování hardwarové realizace regulátoru (u analogového regulátoru). V případě realizace číslicového regulátoru se jedná většinou o jednočipový mikro počítač, jehož firmware je navrženo např. jako PSD regulátor. PSD regulátor je číslicovou realizací PID regulátoru. Kromě Analogových a číslicových regulátorů máme k dispozici i regulátory pro logické řízení. Tyto regulátory jsou realizovány většinou s využitím PLC automatů. PLC automaty mohou být rozděleny podle jejich konstrukce na:

- Kompaktní
- Modulární

V tomto tematickém okruhu se budeme zabývat téměř výhradně regulátory spojitými, tedy analogovými. Jejich konstrukci budeme realizovat s využitím základních zapojení operačních zesilovačů.

Při návrhu regulátoru pro vybranou regulovanou soustavu je vhodné použít obecné blokové schéma regulačního obvodu (viz obr. 1).



Obr. 1 – Zapojení regulátoru ve zpětnovazebním regulačním obvodu (Němec, 2002)

Přenos regulátoru můžeme vyjádřit buď v operátorovém výrazu, nebo pomocí frekvenčního přenosu (viz rovnice 1 a 2).

Operátorový přenos regulátoru

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} \quad (1)$$

Frekvenční přenos regulátoru

$$G_R(j\omega) = \frac{U(j\omega)}{E(j\omega)} \quad (2)$$

## 2 Struktury PID regulátorů

### 2.1 Serioparalelní

Tato struktura analogového PID regulátoru je nejčastější formou.

Ve formě přenosové funkce obdržíme vztah:

$$G_R(j\omega) = K_P \left[ 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right] \quad (3)$$

V časové oblasti výše uvedenému vztahu odpovídá následující vztah

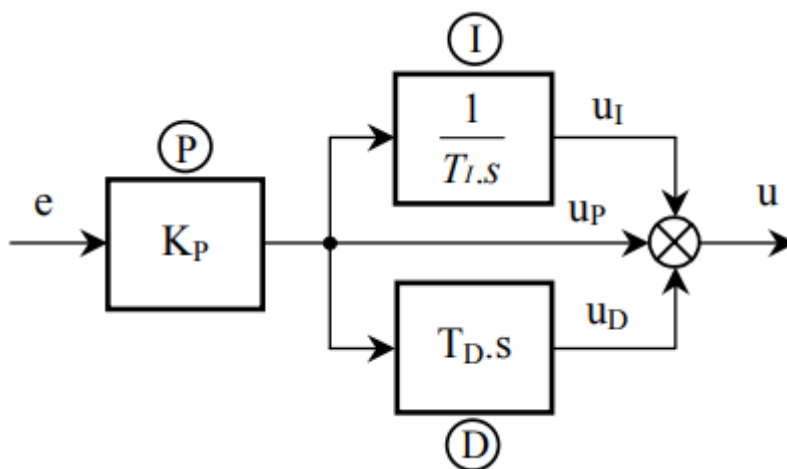


$$u(t) = K_P \left[ e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (4)$$

kde

- $K_P$  [-] je proporcionální konstanta; běžně ji nazýváme „zesílení regulátoru“  
 (někdy je používáno tzv. „pásmo proporcionality“, pro něž platí  $X_P = 100\%/K_P$ )  
 $T_I$  [s] je integrační časová konstanta  
 $T_D$  [s] je derivační časová konstanta

Přenosová funkce regulátoru je realizována třemi složkami (viz obr. 3).



Obr. 2 – Blokové schéma sérioparalelní struktury PID regulátoru (Němec, 2002)

## 2.2 Paralelní

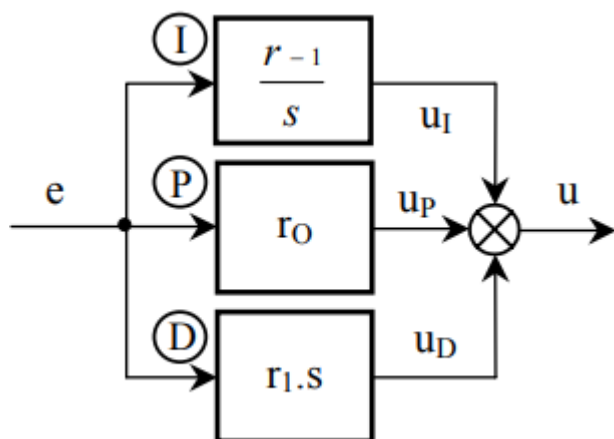
Tato struktura analogového PID regulátoru je charakteristická nezávislým zapojením všech tří složek regulátoru.

Ve formě přenosové funkce obdržíme vztah:

$$G_R(j\omega) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s \quad (5)$$

kde

- $r_0$  [-] je proporcionální zesílení  
 $r_{-1}$  [s] je integrační zesílení (součinitel)  
 $r_1$  [s] je derivační zesílení (součinitel)



Obr. 3 – Blokové schéma paralelní struktury PID regulátoru (Němec, 2002)

## BPAR cvičení č. 5

### Název úlohy: Zdroj konstantního proudu

#### Zadání úlohy

Cílem cvičení je seznámení se s obvodovým návrhem a realizací zdrojů proudu s operačními zesilovači. Tímto cvičením si procvičíte a osvojíte zejména:

- Návrh schéma zapojení obvodu s operačním zesilovačem.
- Výpočet obvodových prvků zapojení.
- Měření parametrů elektronického obvodu.
- Výpočet požadovaných parametrů obvodu z naměřených hodnot (grafů).
- Zpracování protokolu – technické zprávy.

V rámci cvičení analyzujte a ověřte funkci elektronického obvodu – zdroje regulovatelného zdroje proudu s operačním zesilovačem.

---

*Vždy se snažte porozumět danému zapojení. V případě, že máte za úkol průběhy příslušných veličin ověřit teoretickým výpočtem, nebo proměřením dané části zapojení, uveďte tento postup s patřičným komentářem, výpočtem a zdůvodněním do protokolu.*

---

#### Zdroj konstantního proudu s operačním zesilovačem

Zdroje konstantního proudu mají své uplatnění v zapojení elektronických obvodů, kde je nutné napájení konstantním proudem. Jsou to například vstupní obvody pro připojení senzorů pro měření teploty, tlaku, mechanického napětí atd. Zapojení zdroje konstantního proudu lze realizovat různým zapojením elektronických obvodů. Zejména jsou to obvody s tranzistorem a se stabilizátory napětí, které lze vhodným zapojením použít tak, aby udržovaly konstantní proud připojenou zátěží. U těchto obvodů je však nevýhoda velmi obtížné změny velikosti výstupního proudu. Jednou z možností je zapojení zdroje konstantního proudu s operačním zesilovačem. Příklad tohoto zapojení je na obr. 1 (jedná se o modifikovanou [Howlandovu proudovou pumpu](#)). Hlavní výhodou tohoto zapojení je, že lze velmi snadno ovládat velikost výstupního proudu změnou velikosti ovládacího napětí.

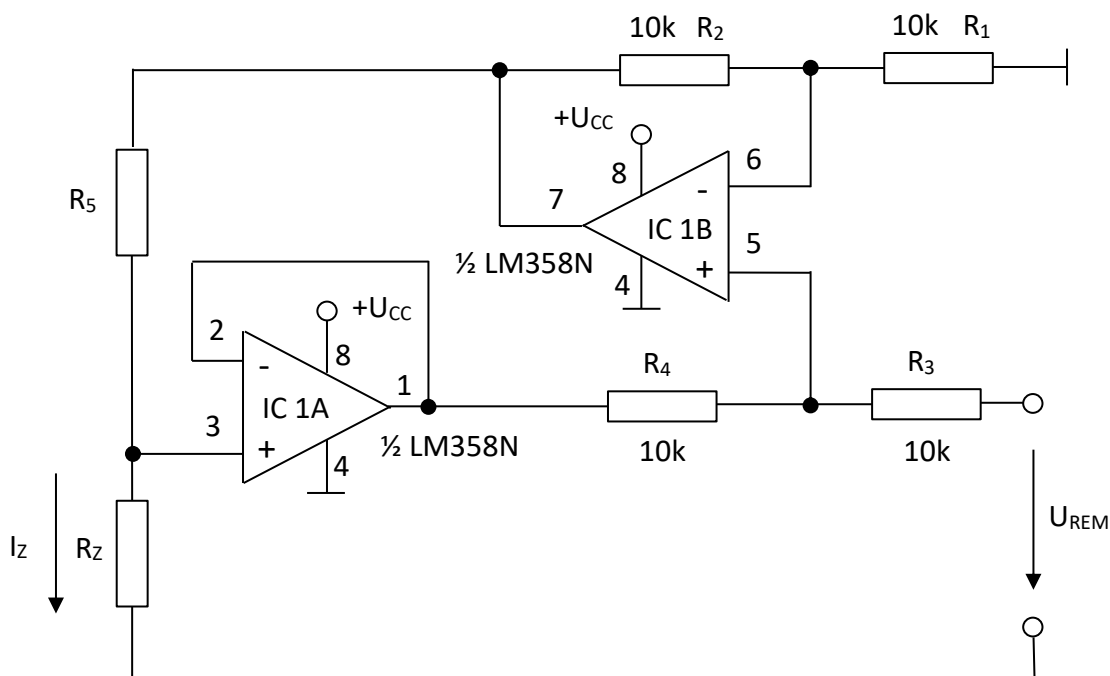
Výstupní proud zdroje referenčního napětí lze určit pomocí rovnice (Pro  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ )

$$I_Z = U_{REM} \frac{1}{R_5} \quad (2)$$

#### Zadání úkolů cvičení a doporučený postup řešení

- Realizujte obvodové schéma elektronického obvodu z obr. 3, proveďte příslušná měření a výsledky zpracujte přehledně do protokolu.

- Realizaci a testování zapojení elektronických obvodů provedte ve dvojicích, každý z dvojice uvede potom shodné výsledky cvičení do svého protokolu. Na protokolu uveďte jméno a příjmení vaší spolupracující osoby.
- Napájecí napětí obvodu bude nesymetrické,  $+12V$ . Oživení obvodu provedte pomocí regulovatelného napájecího zdroje a digitálního multimetru.



Obr. 1 – Zdroj konstantního proudu – „Howlandova proudová pumpa“ (zdroj Autor)

### Upozornění

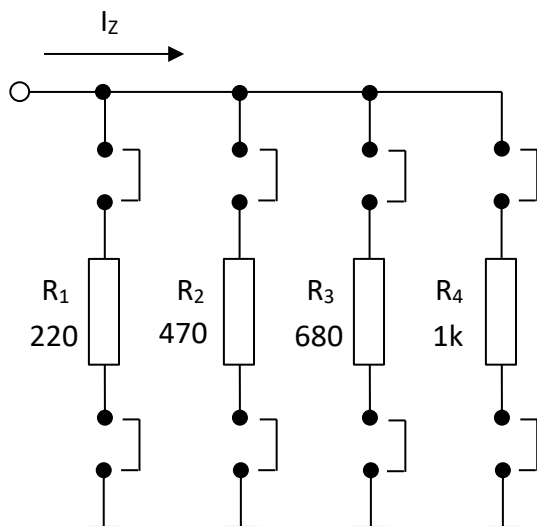
Před připojením obvodu ke zdroji napětí a jeho ožíváním, nastavte hodnotu proudového omezení zdroje na nejnižší možnou hodnotu a až následně, po vyloučení zkratu v zapojeném obvodu, proudové omezení napěťového zdroje pomalu zvyšujte. **Uvedený postup připojování napájecího zdroje používejte vždy, při zapojování, ožívání a laborování s elektronickými obvody!**

### Cíle úlohy zapojení zdroje konstantního proudu s operačními zesilovači

- U zdroje konstantního proudu stanovte výpočtem velikost odporu rezistoru  $R_5$  pro definovaný výstupní proud  $5mA$  a  $U_{REM} = 5V$ . Vypočítanou hodnotu  $R_5$  použijte do realizace zapojení zdroje.
- Změřte funkční závislost  $I_{OUT} = f(U_{REM})$ . Měření provedte v rozsahu ovládacího napětí  $U_{REM} \approx 0 - 5V$ , v cca 10 krocích pro  $R_Z = 220\Omega$ . Měření proudu provedte s přesností na 3 desetinná místa. Výsledky měření pracujte do tabulky a grafu v prostředí „Excel“ (jako zdroje napětí  $U_{REM}$  použijte volné větve regulovatelného zdroje napětí vašeho pracoviště).

- Změřte charakteristiku  $I_Z = f(R_Z)$  a  $U_Z = f(R_Z)$  zdroje konstantního proudu pro hodnotu výstupního proudu  $I_{OUT} = 5mA$ , v cca 10 krocích (hodnotách zatěžovacího rezistoru  $R_Z$ ). Výsledky měření zpracujte do tabulky a grafu v prostředí výpočtového software „Excel“ (pro měření zatěžovací charakteristiky použijte zapojení podle obr. 2).
- Výsledky realizace, výpočtů a měření uveďte do protokolu.
- Přílohou protokolu budou soubory v elektronické podobě ve formátu \*.doc a \*.xls.
- Protokol musí obsahovat seznam použitých přístrojů a použitých součástek použitých v experimentu!
- Při zpracování protokolu postupujte v souladu s doporučeným postupem probíraným v rámci přednášky předmětu!

### Ohmická zátěž pro zdroj proudu



Obr. 2 – Z Konstrukce zátěže pro zdroj proudu (zdroj Autor)

Zátěž je realizována sadou rezistorů, složenou z hodnot odporů (řady E12 – 0,6W) zapojených podle obr. 2. Vhodnou kombinací této odporové sítě a jejím zapojením do testovaného obvodu lze získat potřebnou řadu velikostí hodnot zatěžovacích odporů pro testování zdroje proudu. Vhodné kombinace odporové sítě získáte výpočtem v prostředí software „Excel“. **Přípravu vhodných kombinací rezistorů a jejich seřazení do vhodné řady je nutné provést v rámci samostatné přípravy, před samotnou realizací a měřením obvodů.** Nezapomeňte ověřit výpočtem výkonové zatížení jednotlivých rezistorů a jejich kombinací. Předpřipravené zapojení rezistorové sítě sestavte do přehledné tabulky v prostředí „Excel“.

## Doporučení k přípravě – stanovení kombinací, výpočet velikosti ohmické zátěže

V prostředí Excel navrhnete tabulku pro výpočet velikostí ohmické zátěže tak, aby vstupními parametry pro výpočet jednotlivých kombinací odporové sítě z Tabulky č. 1 byly adresy buněk jednotlivých rezistorů  $R_1 - R_4$ . Tento postup vám umožní automatický přepočítání celé tabulky hodnot, v případě změny vstupních parametrů, bez dalšího, dodatečného, zásahu do tabulky (volby jiné škály hodnot zatěžovacích rezistorů a výstupního proudu). Do výpočtu zatěžovacích rezistorů použijte jejich skutečné hodnoty změřené digitálním multimetrem vašeho pracoviště.

**Tab. 1 – Vzor tabulky výpočtu kombinací odporové sítě – vstupní hodnoty odporu rezistorů (viz schéma zapojení na obr. 2)**

Rezistorová síť	
R1 [ $\Omega$ ]	220
R2 [ $\Omega$ ]	470
R3 [ $\Omega$ ]	680
R4 [ $\Omega$ ]	1000
$I_{OUT}$ [mA]	5,000

**Tab. 2 – Vzor tabulky výpočtu hodnot ohmické zátěže, výpočet výkonového zatížení rezistorové sítě proveďte pro stanovený maximální výstupní proud 5,000 mA**

Paralelní kombinace R1-R4			
Kombinace		$R_z$ [ $\Omega$ ]	$P_z$ [mW]
1.	R1		
2.	R2		
3.	R3		
4.	R4		
5.	R1//R2		
6.	R1//R3		
7.	R1//R4		
8.	R2//R3		
9.	R2//R4		
10.	R3//R4		
11.	R1//R2//R3		
12.	R1//R3//R4		
13.	R2//R3//R4		
14.	R1//R2//R3//R4		

Tab. 3 – Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot pro zdroj konstantního proudu s „Howlandovou pumpou“

Měření parametrů zdroje proudu s „Howlandovou“ pumpou „Převodní charakteristika“ $I_{OUT} = f(U_{REM})$			
číslo měření	$U_{REM}$ [V]	$R_z$ [ $\Omega$ ]	$I_{OUT}$ [mA]
1.	0,000	220	
2.	0,500	220	
3.	1,000	220	
4.	1,500	220	
5.	2,000	220	
6.	2,500	220	
7.	3,000	220	
8.	3,500	220	
9.	4,000	220	
10.	4,500	220	
11.	5,000	220	

Tab. 4 – Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot pro zdroj konstantního proudu s „Howlandovou pumpou“

Měření parametrů zdroje proudu s „Howlandovou“ pumpou „Zatěžovací charakteristiky“ $I_z = f(R_z)$ ; $U_z = f(R_z)$				
číslo měření	$U_{REM}$ [V]	$R_z$ [ $\Omega$ ]	$I_z$ [mA]	$U_z$ [V]
1.	5,000			
2.	5,000			
3.	5,000			
4.	5,000			
5.	5,000			
6.	5,000			
7.	5,000			
8.	5,000			
9.	5,000			
10.	5,000			

## Samostatná příprava

1. Výpočet obvodových prvků zdroje proudu.
2. Připravit zapojení ohmické zátěže (tabulky, výpočty v prostředí Excel). Výběr vhodných kombinací pro realizaci zátěže zdroje.
3. Překreslit schéma zdroje konstantního proudu do sešitu pro jeho praktickou realizaci a následné měření.
4. Vyznačit měřicí body pro jednotlivé, přímo měřené veličiny.
5. Navrhnout a nakreslit zapojení schéma měřicího pracoviště, s vyznačením připojení měřicích přístrojů.
6. Připravit tabulky pro záznam měření a následné výpočty (v prostředí Excel).

## Otázky k procvičení

1. Co jsou to zdroje proudu a jaké typy zapojení zdrojů proudu znáte.
2. Jaké je využití zdrojů proudu v automatizační technice – uveďte příklady.
3. Nakreslete schéma a vysvětlete funkci zdroje proudu s proudovým zrcadlem.
4. Nakreslete schéma a vysvětlete funkci zdroje proudu s tří - vývodovým stabilizátorem napětí, uveďte vzorový výpočet volby obvodových prvků pro vámi stanovený výstupní proud. Uveďte vztahy pro výpočet výkonové ztráty na snímacím odporu a aktivním prvku a vypočítejte jejich velikost při zvoleném výstupním proudu a napájecím napětím.
5. Nakreslete schéma a vysvětlete princip funkce „Howlandovy proudové pumpy“.
6. Jaký má průběh zatěžovací charakteristika zdroje konstantního proudu.



### 3 Použitá literatura

NĚMEC, Zdeněk. *Prostředky automatického řízení, elektrické*. Studijní opora oboru Aplikovaná informatika a řízení. VUT Brno, FSI, 2002.

### 4 Studijní literatura

BALÁTĚ, Jaroslav. *Technické prostředky automatického řízení*. Praha, SNTL 1986.

### 5 Otázky k procvičení

- 1 Z jakých zapojení OZ se skládá analogový PID regulátor?
- 2 Jaké zapojení OZ použijeme pro získání regulační odchylky?
- 3 Jaké zapojení OZ použijeme pro získání akční veličiny?
- 4 Nakreslete zapojení průběhu přechodových charakteristik složek PID regulátoru.

### Seznam zkratk

PID Proporcionálně Integračně Derivační

PSD Proporcionálně sumačně diferenční

OZ Operační Zesilovač

### Rejstřík

akční veličina, 1

časová konstanta, 3

derivační, 3

integrační, 3

filtrace, 1

konstanty regulátoru, 1

operační zesilovač, 1

PLC automat, 1

přenos, 2

frekvenční, 2

operátorový, 2

regulační odchylka, 1

regulátor, 1, 2

PID, 1, 2

PSD, 1

regulovaná soustava, 2

zesilovač, 1  
  derivační, 1  
  diferenční, 1  
  integrační, 1  
  proporcionální, 1

# Prostředky automatického řízení

## Téma 06: Elektrické pohony

### Studijní cíl,

Seznámit studenty s koncepcí elektrických pohonů a jejich využitím v automatizaci.

### Doba nutná k nastudování

2 hodiny

### Klíčová slova

Akční člen, výkonová elektronika, pohonný systém, elektrický pohon, zdroj napájení, transformace energie, točivý moment, elektromotor, indukční motor, měnič, bezkomutátorový motor

## 1 Elektrické pohony

### 1.1 Úloha výkonové elektroniky v elektrických pohonech

Výkonová elektronika se vyvinula jako základní součást současných elektrických pohonů. Základní úlohou výkonové elektroniky v elektrických pohonech je v podstatě poskytovat rozhraní mezi zdrojem energie a zátěží, což umožňuje přesné řízení rychlosti, točivého momentu a polohy pohonu motoru. Toho je dosaženo transformací a přizpůsobením elektrické energie potřebám pohonného systému.

Typický elektrický pohon se skládá z elektromotoru, elektronických měničů a ovládacích prvků. Pohon je elektromotor, který přeměňuje elektrickou energii na mechanickou energii. Typ použitého motoru je často určen požadavky aplikace (např. střídavý indukční motor, stejnosměrný motor, bezkomutátorový stejnosměrný motor atd.).

Jádrem elektrického pohonného systému je výkonový elektronický měnič. Zahrnují zařízení, jako jsou usměrňovače, střídače a měniče DC/DC, které hrají důležitou roli při převodu střídavého proudu na stejnosměrný, stejnosměrného proudu na střídavý proud a změny úrovně stejnosměrného napětí. Tyto měniče přeměňují elektrickou energii do podoby, kterou může elektromotor efektivně využít.

Výhody spojené s výkonovou elektronikou v elektrických pohonech jsou následující:

- **Regulace otáček:** Při přímém připojení ke zdroji energie mají tradiční motory omezené možnosti řízení, většinou běží konstantní rychlostí diktovanou frekvencí napájecího zdroje. Výkonová elektronika pomocí měničů a modulačních metod umožňuje regulaci proměnných otáček, což je rozhodující v aplikacích, jako jsou elektromobily, domácí spotřebiče a průmyslová automatizace.
- **Efektivita a úspora energie:** Výkonová elektronika umožňuje efektivnější provoz elektrických pohonů. Plýtvání energií lze například snížit přizpůsobením otáček motoru potřebám zátěže, což vede k celkové úspoře energie.
- **Regenerativní brzdění:** Regenerativní brzdění, umožněné výkonovými elektronickými měniči, umožňuje, aby motor pracoval jako generátor během brzdění nebo zpomalování v mnoha aplikacích elektrického pohonu, jako jsou elektrické automobily. Vyrobena elektrická energie je buď dodávána zpět do zdroje energie, nebo uložena v baterii, což zvyšuje energetickou účinnost.
- **Ochrana motoru a systémová integrace:** Výkonová elektronika také provádí kritické operace, jako je spouštění motoru, brzdění a ochrana proti přetížení. Kromě toho umožňují snadnější propojení s dalšími komponentami systému a implementaci komplexních řídicích obvodů pro zvýšení výkonu a funkčnosti.

## 2 Typy řízení elektrických pohonů

Elektrické pohony jsou základem mnoha průmyslových a domácích aplikací. Jejich kritická funkce při přesouvání výkonu ze zdroje na zátěž při zachování adekvátní kontroly si získala velkou pozornost. Elektrické pohony lze rozdělit do různých kategorií na základě charakteristik, jako je typ použitého elektromotoru, povaha zdroje energie a typ zátěže.

### 2.1 Dělení podle typu motoru

- **Stejnoseměrné pohony:** Stejnoseměrné pohony se tradičně používají pro aplikace s proměnnými otáčkami kvůli jejich jednoduchosti ovládní. Využívají buď stejnosměrné motory s permanentními magnety, stejnosměrné bočníky, sériové nebo složené motory. Ačkoli je frekvenční měniče v mnoha aplikacích stále více nahrazují, zůstávají oblíbené v odvětvích, jako je ocelářství, papírenský průmysl a výtahy, a to díky svému silnému rozběhovému momentu a jednoduchosti ovládní.
- **Střídavé pohony:** Vzhledem k robustní povaze, nízkým nákladům a bezúdržbovému fungování střídavých motorů jsou dnes frekvenční pohony široce využívány. Do této kategorie patří pohony indukčních motorů, pohony synchronních motorů a pohony BLDC (bezkomutátorových stejnosměrných motorů), z nichž každý má svou vlastní sadu aplikací a řídicích technik.

### 2.2 Dělení podle typu napájecího zdroje

- **Frekvenční měniče:** K těmto pohonům jsou připojeny napájecí sítě střídavého proudu a jejich napětí i frekvence jsou řízeny tak, aby řídily otáčky a točivý moment motoru.

- **DC pohony:** Tyto pohony jsou napájeny zdrojem stejnosměrného proudu (DC). Pro řízení otáček motoru je udržováno stejnosměrné napětí.

Primárním cílem řízení elektrického pohonu je efektivně a rychle změnit otáčky, točivý moment nebo polohu hřídele motoru. Mezi řídicí strategie, které se pravidelně používají, patří:

- **Skalární řízení:** Tento přístup, známý také jako řízení voltů/hertzů, je jednoduchý v tom, že řídí otáčky motoru úpravou napětí a frekvence současně. Postrádá však dynamický výkon a nebere v úvahu charakteristiky magnetického toku motoru.
- **Vektorové řízení nebo řízení orientované na magnetické pole (FOC):** Tato metoda zlepšuje dynamický výkon úpravou magnetického pole statoru a jeho vyrovnaním s polem rotoru. Zajišťuje přesné řízení točivého momentu.
- **Přímé řízení točivého momentu (DTC):** DTC přímo reguluje točivý moment a tok výběrem vhodných stavů spínání měniče. Poskytuje rychlejší reakci, ale vyžaduje složitou techniku ovládání.
- **Bezsenzorové řízení:** Besenzorové řídicí systémy určují polohu rotoru pomocí informací o proudu a napětí z motoru. Otáčky motoru lze tedy vypočítat ze změn polohy rotoru (bez potřeby snímače otáček motoru) a tyto informace lze využít k nastavení otáček.

### 3 Nasazení elektrických pohonů

Nasazení elektrických pohonů je velmi široké. V dnešní době jsou tyto pohony nasazeny v následujících okruzích:

#### 3.1 Elektrické pohony v elektrických vozidlech

Elektromobily (EV) patří mezi nejviditelnější aplikace elektrických pohonů. Vysoce účinný elektromotor (buď třífázový indukční motor nebo bezkomutátorový stejnosměrný motor) je řízen výkonovým elektronickým měničem v hnacím ústrojí elektromobilu. Jako zdroj energie se často používá lithium-iontová baterie s vysokou hustotou energie. Elektrický pohon elektromobilu reguluje tok elektřiny z baterie do elektromotoru, což umožňuje nastavení rychlosti a točivého momentu, rekuperačního brzdění a lepší celkovou účinnost. Účinnost a akcelerace elektrického pohonu výrazně přispívá k výkonu vozidla, dojezdu a uživatelskému zážitku.

#### 3.2 Elektrické pohony v průmyslové automatizaci

Elektrické pohony se významně používají v průmyslové automatizaci pro různé funkce. Například elektrické pohony řídí rychlost posuvu válců v továrně na výrobu papíru, aby byla zachována stejná tloušťka a kvalita vyrobeného papíru. Elektrické pohony nabízejí funkce regulace rychlosti, spouštění a zastavování technologie potřebné pro výrobní proces.

### 3.3 Elektrické pohony ve vzduchotechnických systémech

Další důležitou aplikací elektrických pohonů jsou systémy vytápění, ventilace a klimatizace (HVAC). Například frekvenční měniče (VFD) se používají v systémech HVAC k úpravě otáček ventilátorů a čerpadel, čímž zajišťují maximální komfort prostředí a zároveň snižují spotřebu energie. Významných úspor energie lze dosáhnout regulací otáček motoru na základě jejich zatížení.

### 3.4 Elektrické pohony v systémech obnovitelných zdrojů energie

Elektromotory jsou kritickými součástmi systémů obnovitelných zdrojů energie, zejména větrných turbín. Elektrický pohon optimalizuje výrobu energie tím, že řídí otáčky generátoru tak, aby eliminovaly proměnnou rychlost větru. Kromě toho může pomoci se stabilizací parametrů rozvodné sítě tím, že disponuje funkcemi, jako je např. nastavení účinníku a vykrývání poruchových stavů sítě. Schopnost elektrického zařízení zůstat trvale připojené k elektrické síti a pracovat v obdobích poklesu napětí, případně výpadků napětí v místě připojení očekávaných poruch se označuje jako průchod poruchy.

## BPAR cvičení č. 6

### Název úlohy: Komparátory s OZ

#### Zadání úlohy

V tomto cvičení provedete návrh a realizaci zapojení komparátoru s operačním zesilovačem. Verze komparátoru s hysterezí se využívá v regulační technice jako dvoustavový regulátor. Vhodnou volbou hystereze lze regulovat velikost regulované veličiny v požadovaném rozmezí. Regulovanou veličinou může být například teplota, hladina, nebo tlak atp.

V rámci tohoto cvičení se seznámíte a procvičíte si

- Obvodovým zapojením komparátoru bez a s hysterezí.
- Praktickou realizaci a ověřením funkce obvodu komparátoru.
- Změřením a vyhodnocením parametrů elektronického obvodu z okruhu prostředků automatizační techniky.

---

*Vždy se snažte porozumět danému zapojení elektronického obvodu. V případě, že máte za úkol průběhy příslušných veličin ověřit teoretickým výpočtem, proměřením dané části zapojení, uveďte tento postup s patřičným komentářem, výpočtem a zdůvodněním do protokolu.*

---

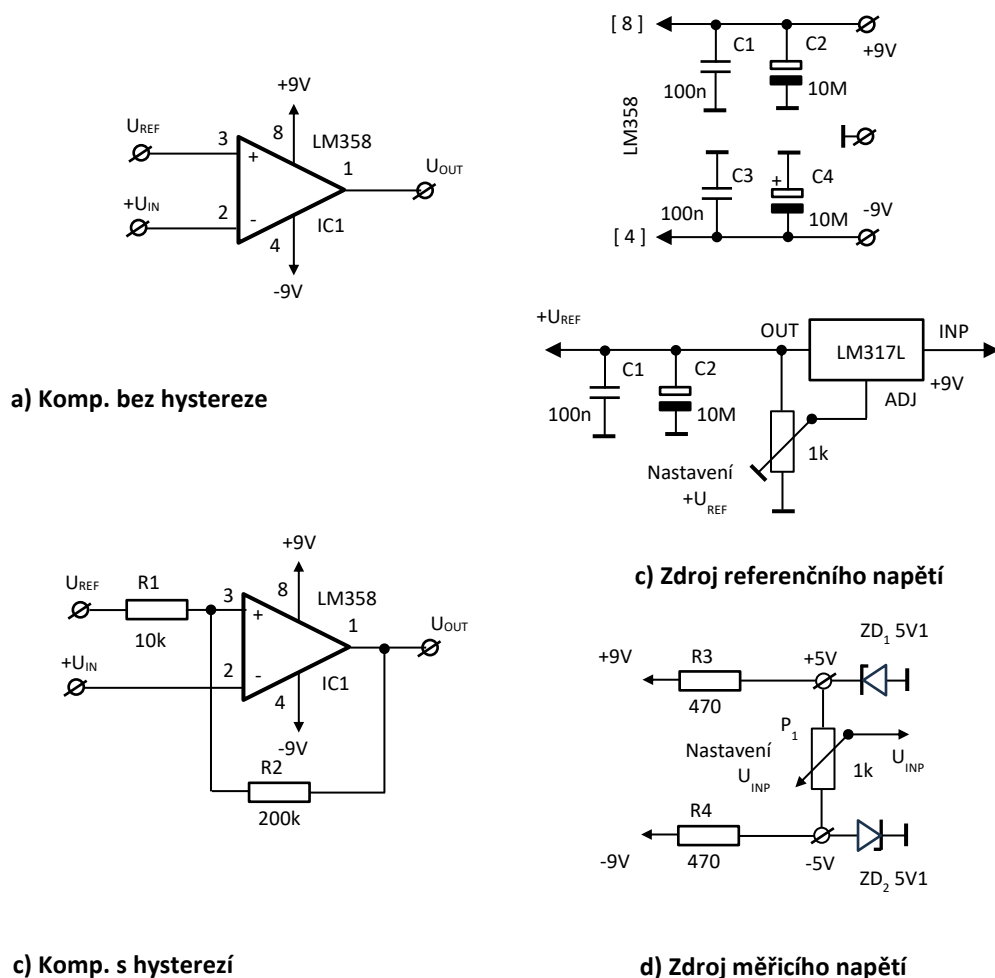
#### Zadání úkolů cvičení a doporučený postup řešení

- Podle schématu zapojení komparátoru z obr. 1. zapojte elektronický obvod na nepájivém poli. Realizaci provádějte až po důkladném prostudování zapojení a pochopení funkce elektronického obvodu a pečlivé samostatné přípravy na řešení této úlohy.
- Změřte převodní (statickou) charakteristiku komparátoru bez hystereze a vynesete ji do grafu v software tabulkového procesoru Excel. Do grafu zobrazte společně průběh vstupního a výstupního signálu (napětí). Pro záznam naměřených hodnot použijte vzor tabulky č. 1.
- V okolí velikosti referenčního napětí, které způsobí překlopení výstupního stavu komparátoru příslušně „zjemněte“ krok vstupního napětí a najděte co nejpřesněji hodnotu tohoto napětí. Takto změřenou komparační úroveň uveďte do protokolu.
- Bezchybnou činnost realizovaného zapojení předvedte vyučujícímu.
- Podle schématu zapojení komparátoru s hysterezí z obr. 1. zapojte elektronický obvod na nepájivém poli. Realizaci provádějte až po důkladném prostudování zapojení a pochopení funkce elektronického obvodu a pečlivé samostatné přípravy na řešení této úlohy.
- Změřte převodní (statickou) charakteristiku komparátoru s hysterezí a vynesete ji do grafu v software tabulkového procesoru Excel. Do grafu zobrazte společně průběh vstupního a výstupního signálu (napětí). Pro záznam naměřených veličin použijte vzor tabulky č. 2.

- V okolí komparačních napětí, vymezujících hysterezi obvodu, které způsobí překlopení výstupního stavu komparátoru „zjemněte“ krok vstupního napětí a najděte co nejpřesněji jednotlivé hodnoty velikostí těchto napětí.
- Bezchybnou činnost realizovaného zapojení předvedte vyučujícímu.
- Přílohou protokolu budou soubory v elektronické podobě ve formátu \*.doc, \*.xls.
- Protokol musí obsahovat seznam použitých přístrojů a použitých součástek použitých v laboratorní úloze.
- Při zpracování protokolu postupujte v souladu s doporučeným postupem probíraným v rámci výuky předmětu!

### Upozornění

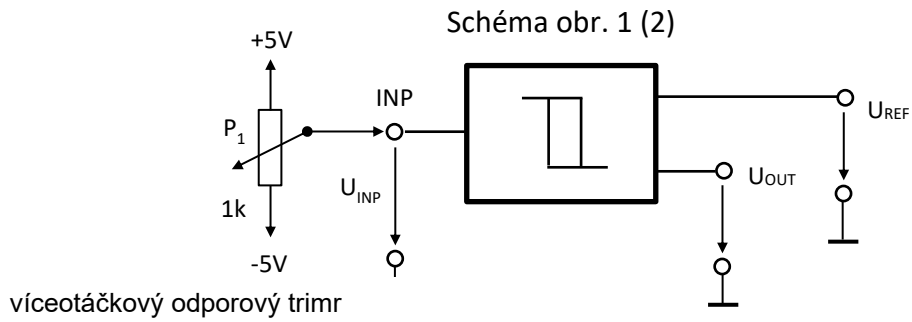
Před připojením obvodu ke zdroji napětí a jeho ožíváním, nastavte hodnotu proudového omezení zdroje na téměř nejnižší možnou hodnotu (cca 50mA) a až následně, po vyloučení zkratu v zapojeném obvodu, proudové omezení napěťového zdroje pomalu zvyšujte.



Obr. 1 – Schéma zapojení komparátorů s hysterezí a bez hystereze (zdroj autor)



## Zapojení měřicího pracoviště



**Obr. 2 – Schéma zapojení měřicího pracoviště (zdroj autor)**

**Tab. 1 – Statická charakteristika komparátoru bez hystereze**

$U_{INP}$	[V]							
$U_{OUT-U}$	[V]							
$U_{OUTA-D}$	[V]							
$U_{INP}$	[V]							
$U_{OUT-U}$	[V]							
$U_{OUTA-D}$	[V]							
$U_{INP}$	[V]							
$U_{OUT-UP}$	[V]							
$U_{OUTA-D}$	[V]							

$U_{OUT-U}$  – měření směrem nahoru

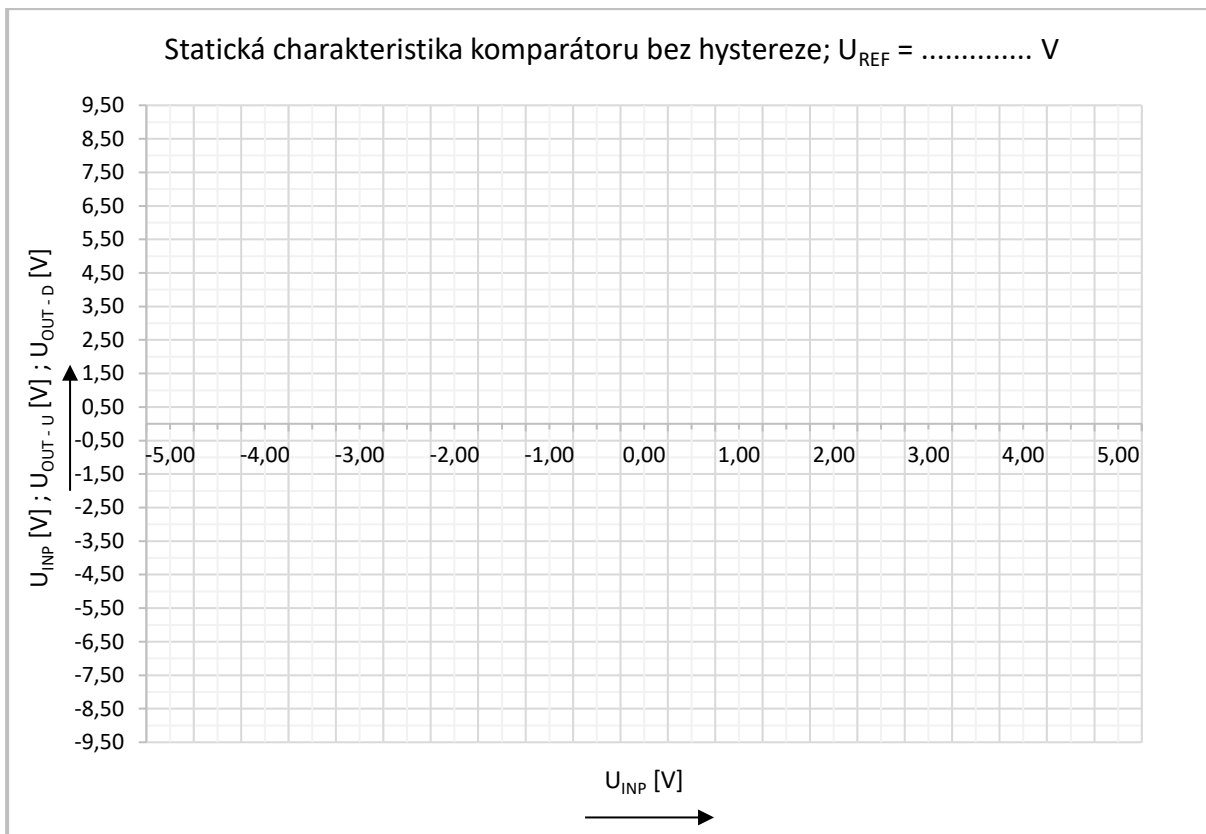
$U_{OUT-D}$  – měření směrem dolů

**Tab. 2 – Statická charakteristika komparátoru s hysterezí**

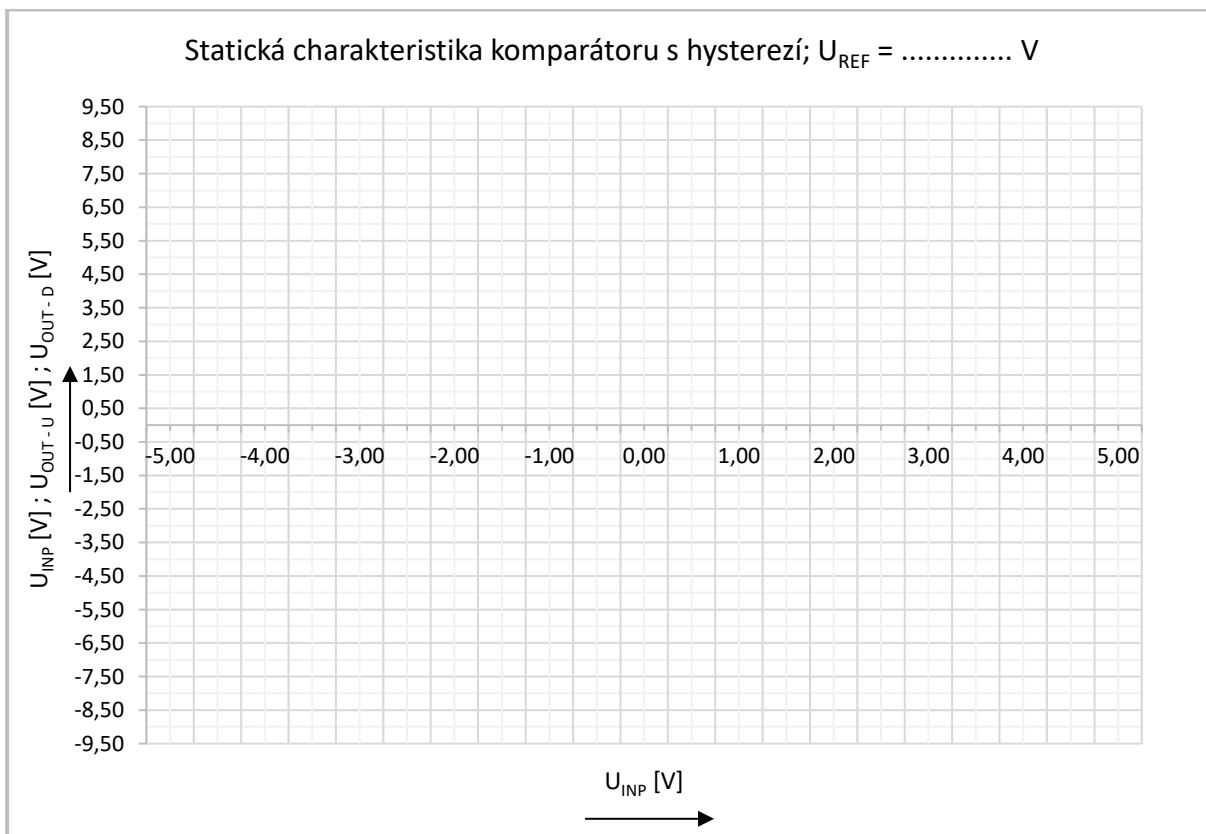
$U_{INP}$	[V]							
$U_{OUT-U}$	[V]							
$U_{OUTA-D}$	[V]							
$U_{INP}$	[V]							
$U_{OUT-U}$	[V]							
$U_{OUTA-D}$	[V]							
$U_{INP}$	[V]							
$U_{OUT-UP}$	[V]							
$U_{OUTA-D}$	[V]							

$U_{OUT-U}$  – měření směrem nahoru

$U_{OUT-D}$  – měření směrem dolů



**Obr. 3 – Statická charakteristika komparátoru bez hystereze (vytvořeno v Excel)**



**Obr. 4 – Statická charakteristika komparátoru s hysterezí (vytvořeno v Excel)**

## Poznámky k úloze

Statické charakteristiky změřte celkem dvakrát. Nejprve směrem nahoru, pro zvyšující se vstupní napětí, a následně, směrem dolů, pro snižující se vstupní napětí.

Pro generování referenčního napětí použijte obvod zapojený podle schématu na obr. 3.

Pro generování vstupního napětí použijte obvod zapojený podle schématu na obr. 4.

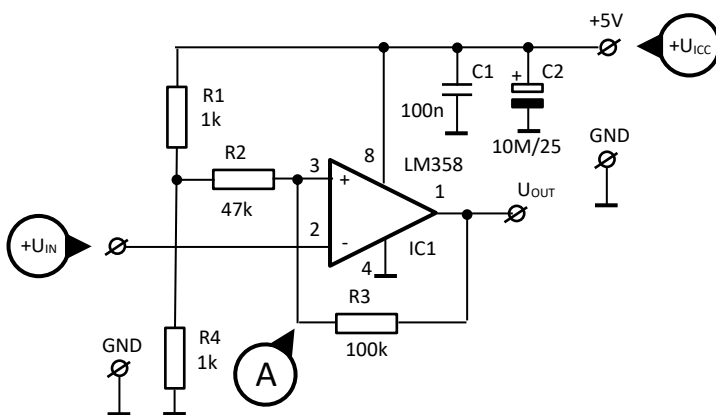
Velikost referenčního napětí bude v rozsahu 2 až 4 V, kterou určí vyučující.

## Samostatná příprava

1. Prostudujte zapojení elektronických obvodů.
2. Provedte stažení příslušné technické dokumentace k použitým součástkám úlohy (zvláštní pozornost věnujte rozložení a označení vývodů pouzder součástek a jejich elektrickým vlastnostem).
3. Vypočítejte komparační úrovně jednotlivých komparátorů a podle potřeby upravte velikosti vstupního napětí pro měření statické charakteristiky elektronického obvodu. Pokud zatím neznáte absolutní hodnotu  $U_{REF}$ , připravte si příslušné rovnice pro výpočet komparačních úrovní.
4. Připravte si tabulky v prostředí Excel pro záznam měření a sestrojení grafů statické charakteristiky.

## Otázky k procvičení

1. Vysvětlíte rozdíl mezi univerzálním operačním zesilovačem a komparátorem.
2. Nakreslete zapojení operačního zesilovače jako komparátoru s a bez hystereze.
3. Odvoďte rovnice pro výpočet komparačních úrovní komparátoru s hysterezí.
4. Co je zapojení „výstupu s otevřeným kolektorem“, uveďte příklad jeho využití.
5. Určete komparační úroveň /v bodě A/ komparátoru v schématu zapojení obvodu obr. 5.



Obr. 5 – Schéma zapojení komparátoru s hysterezí (zdroj autor)

## 4 Použitá literatura

NĚMEC, Zdeněk. *Prostředky automatického řízení, elektrické*. Studijní opora oboru Aplikovaná informatika a řízení. Brno: VUT, FSI, 2002.

## 5 Studijní literatura

BALÁTĚ, Jaroslav. *Technické prostředky automatického řízení*. Praha, SNTL 1986.

## 6 Otázky k procvičení

- 1 Jaké typy DC motorů znáte?
- 2 Vysvětlete funkci krokového motoru?
- 3 Vysvětlete funkci komutátorového DC motoru?
- 4 Vysvětlete funkci BLDC motoru?

## Seznam zkratk

DTC Přímé řízení točivého momentu

BLDC Bezkomutátorový stejnosměrný motor

FOC Vektorové řízení

HVAC Heating/Ventilation/Air-Conditioning

## Rejstřík

Akční člen, 1

elektrický pohon, 1, 2, 4

elektromotor, 1, 4

    bezkomutátorový, 1

    BLDC, 2

    indukční, 1

elektronika, 1

    výkonová, 1, 2

Excel, 5

frekvenční měnič, 2

generátor, 2

hystereze, 5

charakteristika, 5, 9

    komparátoru, 5

    převodní, 5

- statická, 9
- komparátor, 5
  - bez hystereze, 5
  - s hysterezí, 5
  - s operačním zesilovačem, 5
  - zapojení, 5
- měníč, 1, 3
  - DC/DC, 1
- moment, 3
- motor, 1, 2
- napětí, 5
  - referenční, 5
- proud, 1
  - stejnoseměrný, 1
  - střídavý, 1
- zátěž, 2
- zdroj, 1, 6
  - energie, 1
  - napájení, 1, 2
  - napětí, 6

# Prostředky automatického řízení

## Téma 07: DC motory

### Studijní cíl

Seznámit studenty s konstrukčním řešením stejnosměrných motorů. Bude uveden jejich přehled a způsoby jejich ovládání.

### Doba nutná k nastudování

2 hodiny

### Klíčová slova

Stejnosměrný motor, tranzistor, motor, komutátor, kartáče, permanentní magnet, budicí vinutí, H – můstek, spínací prvek

## 1 Stejnosměrné motory

Stejnosměrný motor je elektrický stroj, který přeměňuje elektrickou energii na mechanickou práci vytvořením magnetického pole, které je napájeno stejnosměrným proudem. Při napájení stejnosměrného motoru se v jeho statoru vytváří magnetické pole. Pole přitahuje a odpuzuje magnety na rotoru; to způsobí rotaci rotoru. Aby se rotor neustále otáčel, komutátor, který je připevněn ke kartáčům připojeným ke zdroji energie, dodává proud do vinutí vodičů motoru. Stejnosměrné motory jsou schopny okamžitě startovat, zastavovat a reverzovat – základní faktor pro řízení provozu výrobního zařízení. Stejnosměrné motory jsou vyráběny v několika typech, my se zaměříme na kartáčové motory, které se hojně využívají v průmyslových aplikacích i spotřebním zboží. Používají se například v hračkách, automobilovém průmyslu, u automobilů slouží k otevírání oken, pohon stěračů, ostříkovačů, nastavování sedaček atp. Kartáčové stejnosměrné motory (BDC) jsou levné, snadno se ovládají a jsou snadno dostupné v rozličných provedeních.

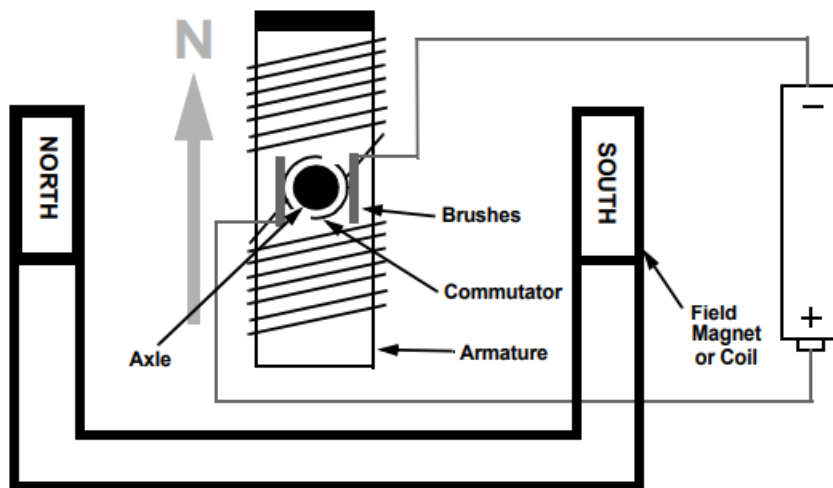
### 1.1 Typy stejnosměrných motorů

Aby bylo možné vybrat vhodný stejnosměrný motor pro cílovou aplikaci, je vhodné se seznámit s různými typy těchto motorů. Každý typ stejnosměrného motoru má své, specifické, výhodné, vlastnosti. Dvě z hlavních výhod použité stejnosměrných motorů oproti střídavým (AC) motorům je jejich snadná instalace a jsou téměř bezúdržbové.

Konstrukce stejnosměrných motorů se liší připojením budicího vinutí ke kotvě. Budicí vinutí lze připojit ke kotvě buď paralelně, nebo do série. V některých případech se používá i kombinace současného zapojení budicího vinutí paralelní i sériové.

Dalším kritériem rozdělení stejnosměrných motorů je způsob, jakým způsobem je přiváděna energie do rotoru. Motor může být buď kartáčový, nebo bezkartáčový. U kartáčových, stejnosměrných motorů, je proud přiváděn do rotoru kartáči. V bezkomutátorovém stejnosměrném motoru je rotorová část motoru tvořena permanentním magnetem.

Existují tři hlavní typy stejnosměrných motorů. Samostatně buzené, s vlastním buzením pomocí budicího vinutí, nebo s cizím buzením permanentními magnety. U samostatně buzeného a samobuzeného motoru je v konstrukci statoru použit elektromagnet. U typu s permanentním magnetem generuje magnetické pole silný magnet.



Obr. 1 – Dvoupólový kartáčový motor (Microchip, 2024)

Samobuzené stejnosměrné motory se dále dělí na bočníkové, sériové a složené. Složený excitovaný typ lze dále rozdělit na kumulativní a diferenciální s krátkými a dlouhými bočníky v každém z těchto typů.

Magnetické pole v kartáčovém stejnosměrném motoru je vytvářeno proudem přiváděným přes komutátor a kartáč, které jsou připojeny k rotoru. Kartáče jsou vyrobeny z uhlíku a mohou být buzeny samostatně nebo samostatně. Stator je kryt, který obsahuje součásti motoru a obsahuje magnetické pole. Vinutí cívky na rotoru může být sériové nebo paralelní, aby vytvořilo buď sériově vinutý stejnosměrný motor nebo paralelně vinutý stejnosměrný motor.

Komutátor je elektrický přepínač, který přepíná proud mezi rotorem a externím zdrojem energie. Je to metoda aplikace elektrického proudu na vinutí a vytváří stálý točivý moment obrácením směru proudu. Sekce komutátoru jsou připojeny k vinutí na rotoru pomocí sady kontaktních tyčí, které jsou umístěny na hřídeli motoru.

## 1.2 Princip činnosti

Konstrukce jednoduchého motoru BDC je znázorněna na obrázku 1. Všechny motory BDC jsou vyrobeny ze stejných základních komponentů: statoru, rotoru, kartáčů a komutátoru.

## 1.3 Stator

Stator generuje stacionární magnetické pole, které obklopuje rotor. Toto pole je generováno buď permanentními magnety, nebo elektromagnetickým vinutím. Různé typy motorů BDC se vyznačují konstrukcí statoru nebo způsobem připojení elektromagnetických vinutí ke zdroji energie.

## 1.4 Rotor

Rotor, nazývaný také kotva, se skládá z jednoho nebo více vinutí. Když jsou tato vinutí pod napětím, vytvářejí magnetické pole. Magnetické póly tohoto rotorového pole budou přitahovány k opačným pólům generovaným státorem, což způsobí otáčení rotoru. Jak se motor otáčí, vinutí jsou neustále napájena v jiném pořadí, aby magnetické póly generované rotorem nepřebíjely póly generované ve statoru. Toto přepínání pole ve vinutí rotoru se nazývá komutace

## 1.5 Kartáče a komutátor

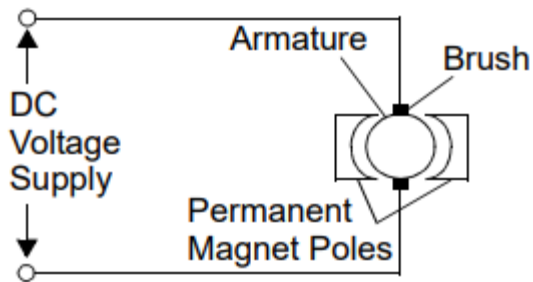
Na rozdíl od jiných typů elektromotorů (tj. bezkomutátorové stejnosměrné, střídavé indukce) nevyžadují motory BDC regulátor pro spínání proudu ve vinutí motoru. Místo toho se komutace vinutí motoru BDC provádí mechanicky. Segmentovaná měděná objímka, nazývaná komutátor, je umístěna na ose motoru BDC. Jak se motor otáčí, uhlíkové kartáče kloužou po komutátoru a přicházejí do kontaktu s různými segmenty komutátoru. Segmenty jsou připevněny k různým vinutím rotoru, proto je uvnitř motoru generováno dynamické magnetické pole, když je na kartáče motoru aplikováno napětí. Je důležité si uvědomit, že kartáče a komutátor jsou části motoru BDC, které jsou nejvíce náchylné k opotřebení, protože kloužou jedna přes druhou.

## 1.6 Motor s permanentním magnetem

Motory s permanentním magnetem Permanentní magnet kartáčované stejnosměrné (PMDC) jsou nejběžnější motory BDC na světě. Tyto motory používají k vytvoření statorového pole permanentní magnety. PMDC motory se obecně používají v aplikacích zahrnujících zlomkový výkon, protože je nákladově efektivnější používat permanentní magnety než vinuté statory. Nevýhodou PMDC motorů je, že magnety časem ztrácejí své magnetické vlastnosti. Některé PMDC motory mají v sobě zabudované vinutí, aby se tomu zabránilo. Výkonová křivka (napětí vs. otáčky) je u PMDC motorů velmi lineární. Odběr proudu se také lineárně mění s točivým



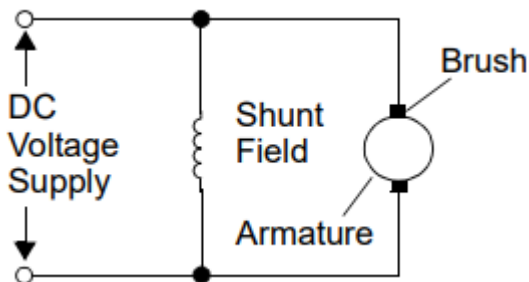
momentem. Tyto motory reagují na změny napětí velmi rychle, protože pole statoru je vždy konstantní.



Obr. 2 – DC motor s permanentními magnety (Microchip, 2024)

### 1.7 S paralelním budícím vinutím (Shunt Wound)

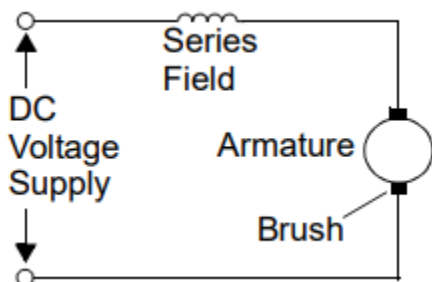
Motory s paralelním budícím vinutím (SHWDC) mají zapojenu budící cívku paralelně (bočník) s kotvou. Proud v budící cívce a kotvě jsou na sobě nezávislé. Díky tomu mají tyto motory vynikající regulaci otáček. Motory SHWDC jsou obvykle používané aplikace, které vyžadují pět nebo více koňských sil. Ztráta magnetismu není u motorů SHWDC problémem, takže jsou obecně robustnější než motory PMDC.



Obr. 3 – DC motor s paralelním budícím vinutím (Microchip, 2024)

### 1.8 Se sériovým budícím vinutím

Sériově vinuté kartáčované stejnosměrné motory (SWDC) mají budící cívku v sérii s kotvou. Tyto motory jsou ideální pro aplikace s vysokým točivým momentem, protože proud ve statoru i kotvě se při zatížení zvyšuje.

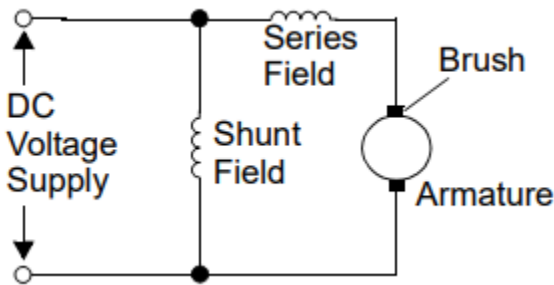


Obr. 4 – DC motor se sériovým budícím vinutím (Microchip, 2024)

Nevýhodou motorů SWDC je, že nemají přesnou regulaci otáček jako motory PMDC a SHWDC.

### 1.9 Compound-Wound DC motory

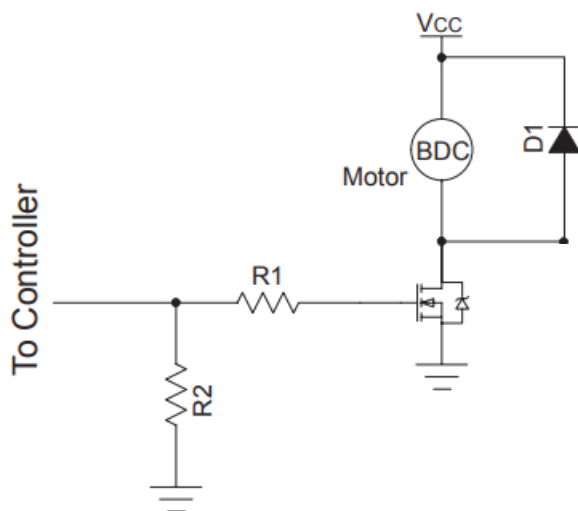
Motory se složeným vinutím (CWDC) jsou kombinací bočníkových a sériově vinutých motorů. Jak je znázorněno na obr. 5, motory CWDC využívají jak sériové, tak bočníkové pole. Výkon motoru CWDC je kombinací motorů SWDC a SHWDC. Motory CWDC mají vyšší točivý moment než motor SHWDC a zároveň nabízejí lepší regulaci rychlosti než motor SWDC.



Obr. 5 – DC motor s kombinovaným zapojením budícího vinutí (Microchip, 2024)

## 2 Základní obvody pohonu DC motoru

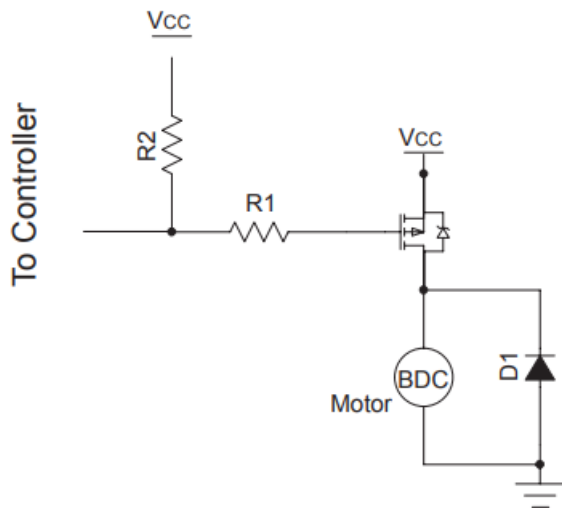
Obvody pohonu se používají v aplikacích, kde se používá nějaký druh regulátoru a je vyžadována regulace otáček. Účelem hnacího obvodu je poskytnout regulátoru způsob, jak měnit proud ve vinutí motoru BDC. Obvody pohonu diskutované v této části umožňují regulátoru modulovat šířku pulzu napětí dodávaného do motoru BDC. Z hlediska spotřeby energie je tento způsob regulace otáček mnohem efektivnějším způsobem, jak měnit rychlost motoru BDC ve srovnání s tradičními analogovými metodami řízení. Tradiční analogové řízení vyžadovalo přidání neefektivního proměnného odporu v sérii s motorem.



Obr. 6 – Obvod ovládání pohonu DC motor BDC spínáním 0 V (Microchip, 2024)

Motory BDC jsou poháněny různými způsoby. V některých případech se motor musí otáčet pouze jedním směrem. Obr. 6 a obr. 7 ukazují obvody pro pohon motoru BDC v jednom směru. První je pohon spínaný k napětí 0V a druhý je pohon spínaný k +V. Výhodou použití spínání k 0V, že obvykle není potřeba FET driver. Driver FET se používá pro:

- připojení signálu TTL pro spínání MOSFET tranzistoru na úroveň napájecího napětí,
- dodání dostatečného proudu pro sepnutí tranzistorů MOSFET
- zajištění offsetu napěťové úrovně v aplikacích s polovičním můstkem.



Obr. 7 – Obvod ovládání pohonu DC motor BDC spínáním +V (Microchip, 2024)

V každém schématu je zapojena dioda paralelně k vinutí motoru. Tato dioda má funkci, zabraňující zpětnému elektromagnetickému toku (BEMF), který by mohl poškodit MOSFET tranzistory. BEMF vzniká, když se motor točí. Když je MOSFET rozepne, je vinutí motoru stále v magnetickém poli cívky rotoru, indukuje se na ní napětí, které se sčítá s napětím napájecího zdroje a toto výsledné napětí by mohlo spínací tranzistory poškodit. Dioda D1 musí být vhodně dimenzována, aby tento proud rozptýlila.

Rezistory R1 a R2 na obr. 6 a 7 chrání mikrokontrolér, pokud je budicím obvodem MOSFET tranzistoru, před proudovými špičkami. R2 zajišťuje, že tranzistor Q1 je vypnutý, v případě konfigurace třístavového režimu výstupního pinu mikro počítače.

## 2.1 Obousměrné řízení motoru BDC

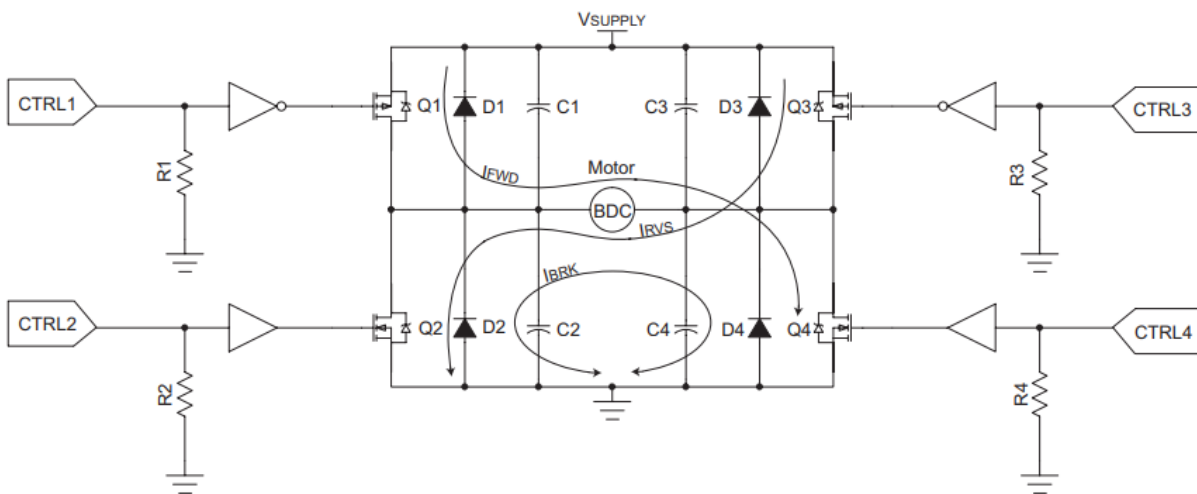
Obousměrné řízení motoru BDC vyžaduje obvod nazývaný H-můstek. H-můstek, pojmenovaný podle vzhledu jeho schémata zapojení, je schopen přepínat proud vinutím motoru v obou směrech. H-můstek může být rozdělen na dvě poloviny, nebo dva poloviční můstky. Na obr. 8 tvoří Q1 a Q2 jeden poloviční můstek, zatímco Q3 a Q4 tvoří druhý poloviční můstek. Každý z těchto polovičních můstků je schopen přepnout polaritu napájení jedné strany motoru BDC, buď na potenciál napájecího napětí, nebo na potenciál země. Když je Q1 sepnutý a Q2 rozepnutý, levá strana motoru bude na potenciálu napájecího napětí. Sepnutím Q4 a ponecháním Q3 v rozepnutém stavu se připojí strana motoru na nulový potenciál. Šipka označená IFWD vyznačuje výsledný tok proudu pro tuto konfiguraci.

Tab. 1 – Provozní režimy H-můstku

	Q1 (CTRL1)	Q2 (CTRL2)	Q3 (CTRL3)	Q4 (CTRL4)
Forward	on	off	off	on
Reverse	off	on	on	off
Coast	off	off	off	off
Brake	off	on	off	on

Opět je nutné zapojit ke každému z MOSFET tranzistorů paralelně spínací diodu (D1-D4). Tyto diody chrání tranzistory MOSFET před proudovými špičkami generovanými BEMF při vypnutých tranzistorech MOSFET. Tyto diody jsou potřeba pouze v případě, že interní diody MOSFET nestačí k rozptýlení proudu působením BEMF.

Kondenzátory (C1-C4) jsou volitelné. Hodnota těchto kondenzátorů je obecně v rozsahu cca 10 pF. Účelem těchto kondenzátorů je snížit úroveň vysokofrekvenčního rušení, které vzniká jiskřením na kartáčích komutátoru DC motoru.



Obr. 8 – Obousměrný pohon DC motoru s H-můstkem (Microchip, 2024)

Existuje jeden velmi důležitý aspekt, který je třeba vzít v úvahu při navrhování obvodu H-můstku. Všechny tranzistory MOSFET musí být v rozepnutém stavu, když jsou vstupy do obvodu v nahodilém (nepředvídatelném) stavu, například při startu mikrokontroléru. Tím lze zajistit, že MOSFET tranzistory na každém polovičním můstku H-můstku nebudou nikdy sepnuty současně. Sepnutí tranzistorů MOSFET, které jsou umístěny na stejné větvi polovičního můstku by způsobilo zkrat napájecího napětí můstku, což by v konečném důsledku poškodilo tranzistory MOSFET a způsobilo tak nefunkčnost obvodu. Tuto funkci zajistí pull-down rezistory, připojené ke každému ze vstupů ovladače MOSFET tranzistorů (pro zapojení znázorněné na obr. 8).

## BPAR cvičení č. 7

### Název úlohy: Okénkový komparátor s OZ

#### Zadání úlohy

V tomto cvičení provedete návrh a realizaci zapojení okénkového komparátoru. Okénkový komparátor se používá jako jeden z možných typů AD převodníků, které slouží k převodu analogového signálu na signál zpracovatelný například logickým řídicím systémem.

V rámci tohoto cvičení se seznámíte a procvičíte si

- Obvodovým zapojením tzv. „okénkového komparátoru“.
- Praktickou realizaci a ověřením funkce obvodu „okénkového komparátoru“.
- Změřením parametrů elektronického obvodu z okruhu automatizační techniky.

---

*Vždy se snažte porozumět danému zapojení elektronického obvodu. V případě, že máte za úkol průběhy příslušných veličin ověřit teoretickým výpočtem, proměřením dané části zapojení, uveďte tento postup s patřičným komentářem, výpočtem a zdůvodněním do protokolu.*

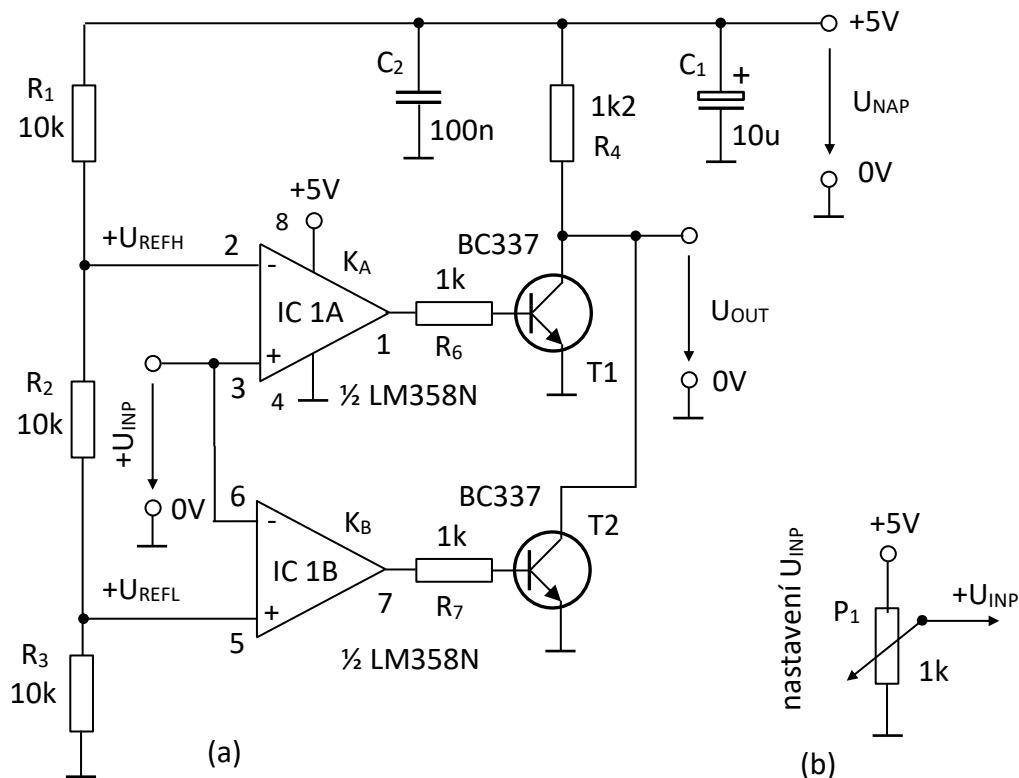
---

#### Zadání úkolů cvičení a doporučený postup řešení

- Podle schématu zapojení „okénkového komparátoru“ z obr. 1, zapojte příslušný elektronický obvod na nepájivém poli. Realizaci provádějte až po důkladném prostudování zapojení a pochopení funkce elektronického obvodu a pečlivé samostatné přípravy na řešení této úlohy.
- Změřte převodní (statickou) charakteristiku okénkového komparátoru a vynesete ji do grafu v software tabulkového procesoru Excel. Do grafu zobrazte společně průběh vstupního a výstupního signálu (napětí). Pro záznam naměřených veličin použijte vzor tab. 1a.
- Statickou charakteristiku okénkového komparátoru měřte celkem dvakrát. Nejprve směrem nahoru, pro zvyšující se vstupní napětí, a následně, směrem dolů, pro snižující se vstupní napětí. Pro generování vstupního napětí použijte obvod zapojený podle schématu na obr. 1b.
- Bezchybnou činnost realizovaného zapojení předvedte vyučujícímu.
- Přílohou protokolu budou soubory v elektronické podobě ve formátu \*.doc, \*.xls.
- Protokol musí obsahovat seznam použitých přístrojů a použitých součástek použitých v laboratorní úloze.
- Při zpracování protokolu postupujte v souladu s doporučeným postupem probíraným v rámci výuky předmětu!

## Upozornění

Před připojením obvodu ke zdroji napětí a jeho ožíváním, nastavte hodnotu proudového omezení zdroje na téměř nejnižší možnou hodnotu (cca 50 mA) a až následně, po vyloučení zkratu v zapojeném obvodu, proudové omezení napěťového zdroje pomalu zvyšujte. **Uvedený postup připojování napájecího zdroje používejte vždy, při zapojování, ožívání a laborování s elektronickými obvody!**



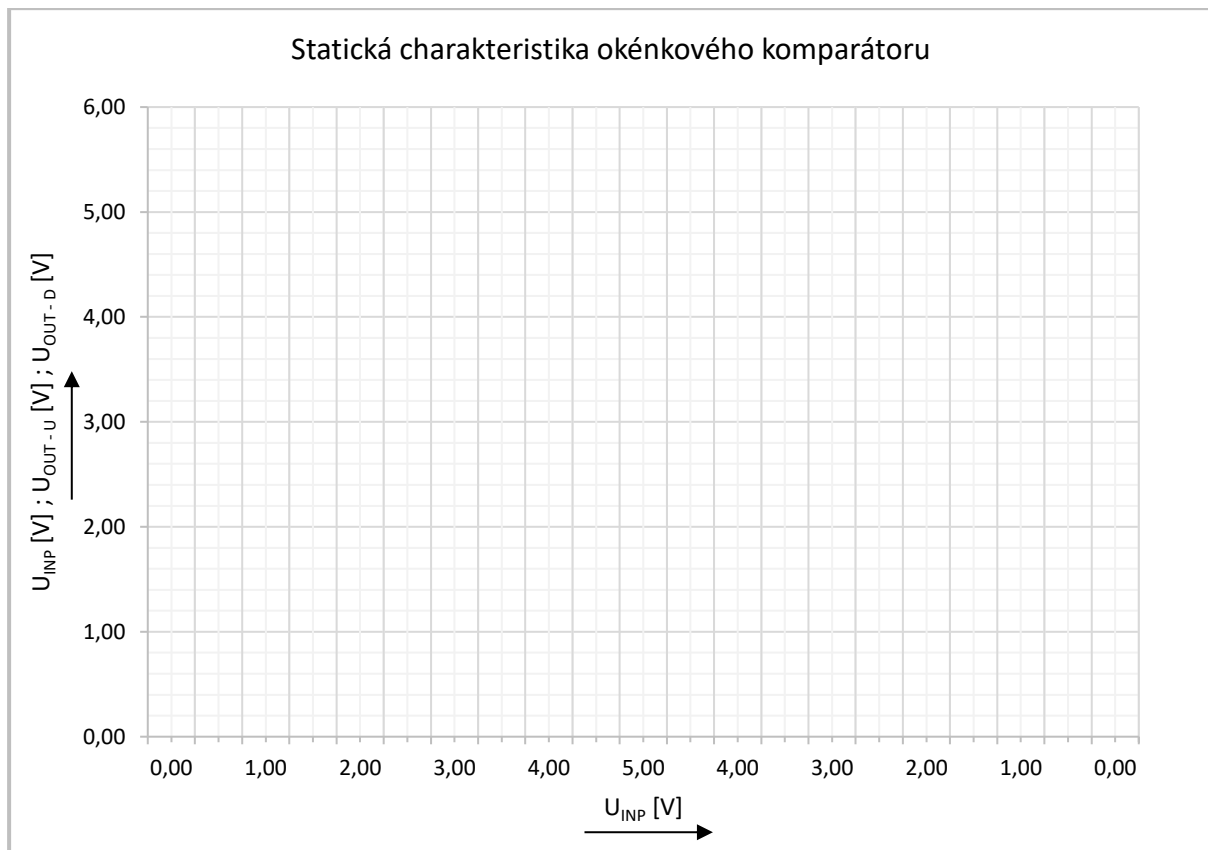
Obr. 1 – Schéma zapojení okénkového komparátoru, generování měřicího napětí (zdroj autor)

Tab. 1 – Převodní - statická charakteristika okénkového komparátoru.

U <sub>INP</sub>	[V]	0,00	0,40	0,80	1,20	1,55	1,60	1,65
U <sub>OUT - U</sub>	[V]							
U <sub>OUTA - D</sub>	[V]							
U <sub>INP</sub>	[V]	1,70	1,75	1,80	2,20	2,60	3,00	3,30
U <sub>OUT - U</sub>	[V]							
U <sub>OUTA - D</sub>	[V]							
U <sub>INP</sub>	[V]	3,35	3,40	3,45	3,80	4,20	4,60	5,00
U <sub>OUT - UP</sub>	[V]							
U <sub>OUTA - D</sub>	[V]							

U<sub>OUT - U</sub> - měření směrem nahoru

U<sub>OUT - D</sub> - měření směrem dolů



**Obr. 2 – Statická charakteristika okénkového komparátoru (vytvořeno Excel)**

### Samostatná příprava

1. Prostudujte zapojení elektronického obvodu.
2. Provedte stažení příslušné technické dokumentace k použitým součástkám úlohy (zvláštní pozornost věnujte rozložení a označení vývodů pouzder součástek a jejich elektrickým vlastnostem).
3. Vypočítejte komparační úrovně jednotlivých komparátorů a podle potřeby upravte velikosti vstupního napětí pro měření statické charakteristiky elektronického obvodu.
4. Připravte si tabulky v prostředí Excel pro záznam měření a sestrojení grafů statické charakteristiky.

### Otázky k procvičení

1. Vysvětlete rozdíl mezi univerzálním operačním zesilovačem a komparátorem.
2. Nakreslete zapojení operačního zesilovače jako komparátoru s a bez hystereze.
3. Nakreslete schéma zapojení „okénkového komparátoru a vysvětlete jeho funkci.
4. Co je zapojení „výstupu s otevřeným kolektorem“ a uveďte příklad jeho využití.
5. Nakreslete zapojení a vysvětlete zapojení tranzistorového proudového spínače.

### 3 Použitá literatura

CONDIT, Reston, c2024. *Brushed DC Motor Fundamentals* [online]. [cit. 29. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00905a.pdf>

IQSDIRECTORY.COM, c2024. *DC Motors* [online]. [cit. 29. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://www.iqsdirectory.com/articles/electric-motor/dc-motors.html>

### 4 Otázky k procvičení

- 1 Jaké typy stejnosměrného motoru znáte?
- 2 Nakreslete schéma budicího obvodu stejnosměrného motoru.
- 3 Jak pracuje H-můstek?
- 4 Jakými signály je buzen H-můstek?
- 5 Jak pracuje spínací tranzistor?
- 6 K čemu složí dioda zapojená paralelně k vinutí stejnosměrného motoru?

### Seznam zkratk

BDC	Kartáčový stejnosměrný motor
BEMF	Indukované elektromotorické napětí
CWDC	Kompaundní stejnosměrný motor
PMDC	Stejnsměrný motor s permanentním magnetem
SWDC	Motor se sériovým budícím vinutím
SHWDC	Motor s paralelním budícím vinutím
OZ	Operační zesilovač

### Rejstřík

budicí cívka, 5  
budicí vinutí, 1  
dioda, 6  
elektrický stroj, 1  
H - můstek, 1, 7  
kartáč, 1  
komutátor, 1  
motor  
    stejnsměrný, 1, 2  
    kartáčový, 2



napájecí zdroj, 6  
ofset, 6  
permanentní magnet, 1  
spínací prvek, 1  
tranzistor, 1

# Prostředky automatického řízení

## Téma 08: Krokové motory

### Studijní cíl

Seznámit studenty s principem činnosti krokových motorů. Bude uveden přehled krokových motorů, které jsou nejčastěji využívány jako akční členy v automatizační technice.

### Doba nutná k nastudování

2 hodiny

### Klíčová slova

Motor, krokový motor, stator, rotor, permanentní magnet, magnetické pole, řízení motorů, driver, rychlost otáčení, směr otáčení

## 1 Krokové motory

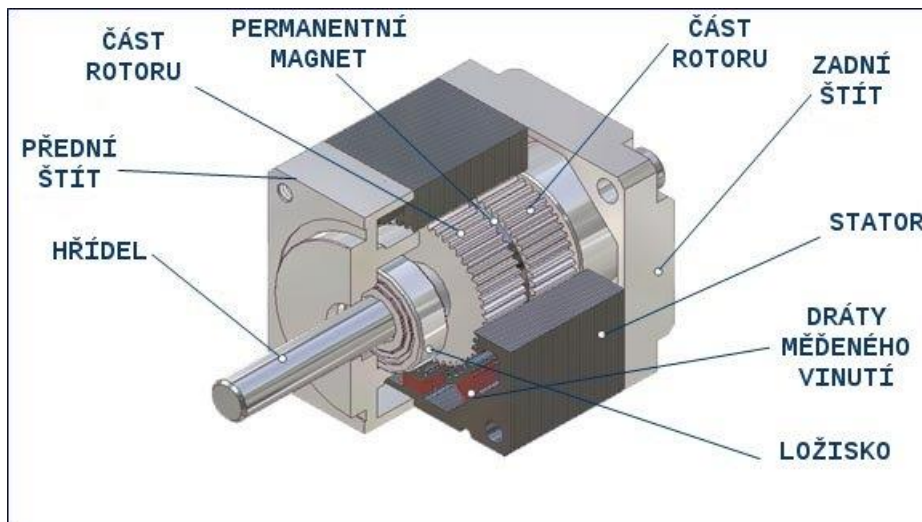
Krokový motor je motor, který se otáčí přerušovaným pohybem, pohybuje se v krocích, vždy o pevný úhel v každém kroku. Například pohyb sekundové ručičky na hodinách, které se posouvají o jednu sekundu, lze dosáhnout použitím krokového motoru, který se pohybuje v krocích  $6^\circ$ , vždy jednou za sekundu. Otáčení krokového motoru je řízeno driverem krokového motoru buzenými vstupními impulsy o logických úrovních.

Každý pulz způsobí posun hřídele motoru o jeden krok. Velikost tohoto kroku je dána jeho mechanickou konstrukcí. Je nutné podotknout, že v tomto okamžiku mluvíme o buzení motoru s plným krokem. Krokový motor využívá této skutečnosti k přesnému určení aktuální polohy natočení hřídele motoru. Četností budících impulsů driveru lze řídit rychlost otáčení.

### 1.1 Konstrukce krokového motoru

Krokový motor se skládá z několika částí (viz obr. 1):

- hřídel z nerezové oceli procházející celou konstrukcí motoru
- rotor skládající se ze dvou zubatých válců mezi nimiž je permanentní magnet (levnější varianty ne hybridy, nemají právě tento magnet)
- ložiska ve předu a vzadu motoru
- stator z trafo plechů se zuby a místem na vinutí
- vinutí okolo zubatých pólů statoru



Obr. 1 – Konstrukce krokového motoru (servo-drive.cz, 2024)

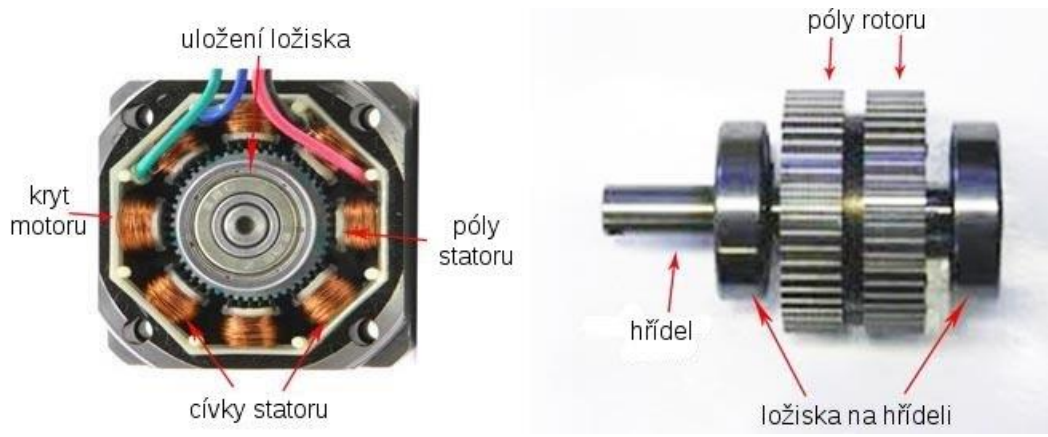
## 2 Typy krokových motorů

### 2.1 Rozdělení podle konstrukce rotoru.

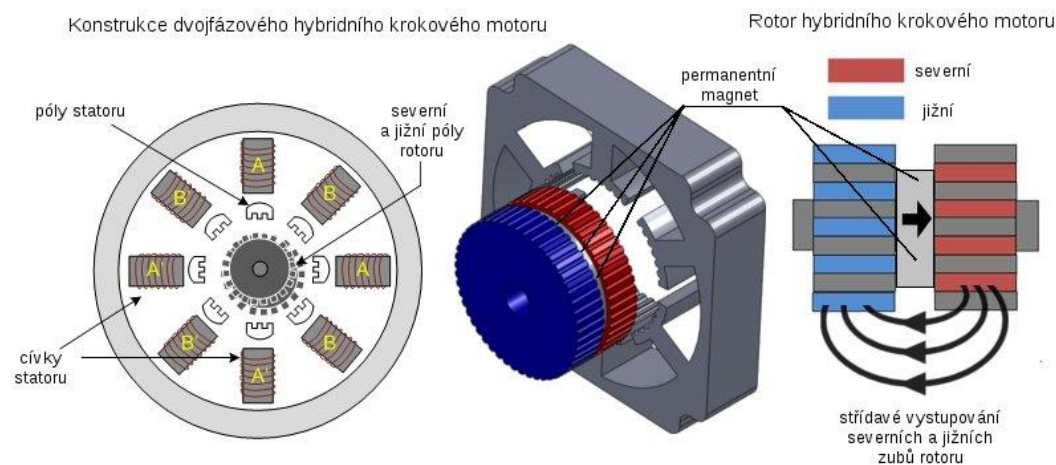
Krokové motory lze obecně rozdělit do tří kategorií, v závislosti na konstrukci jejich rotoru.

Dělíme je na:

- **Motor s permanentním magnetem (PM).**  
Rotor obsahuje permanentní magnet. Nevýhodou této konstrukce je, že nemůže poskytnout flexibilitu v úhlu natočení (krokový úhel).
- **Motor s proměnnou reluktancí (VR).**  
Rotor obsahuje jádra strukturovaná jako zuby ozubeného kola. To umožňuje větší flexibilitu při nastavení úhlu kroku.
- **Hybridní (HB) motor**  
Rotor obsahuje jak permanentní magnety, tak jádra strukturovaná jako zuby ozubeného kola. Tento typ motoru se používá v široké škále aplikací a kombinuje výhody motorů PM a VR.



Obr. 2 – Krokový motor (servo-drive.cz, 2024)



Obr. 3 – Konstrukce dvojfázového hybridního krokového motoru (servo-drive.cz, 2024)

### 2.1.1 Princip činnosti krokových motorů HB

Rotor je navržen s válcovým permanentním magnetem umístěným mezi dvěma jádry, která jsou soustředná s hřídelí motoru a vzájemně posunutá o poloviční rozteč. Rotor se otočí o pevný krokový úhel pokaždé, když je na vstupu impuls. Vzhledem k tomu, že dvoufázový HB krokový motor s úhlem kroku  $1,8^\circ$  se otočí o  $1,8^\circ$  pro každý impuls, je zapotřebí  $360^\circ/1,8^\circ = 200$  impulsů k provedení jedné plné otáčky.

### 2.2 Rozdělení podle toku proudu v cívce

Krokové motory lze také seskupit do následujících dvou kategorií na základě toku elektrického proudu v cívce.

- **Unipolární motor**

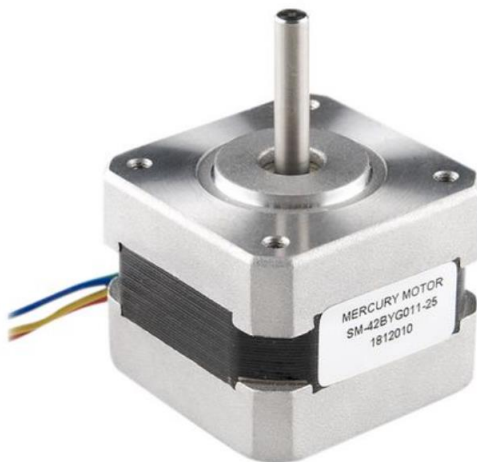
Proud v unipolárním motoru protéká vždy vinutím cívky ve stejném směru. I když to udržuje související řídicí obvod jednoduchý, produkuje menší točivý moment než bipolární motor.



Obr. 4 – Unipolární krokový motor (servo-drive.cz, 2024)

- **Bipolární motor**

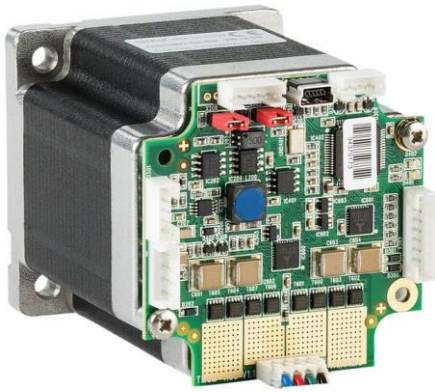
Proud v bipolárním motoru může protékat vinutím cívky v obou směrech. I když to vyžaduje složitější řídicí obvod než unipolární motor, produkuje větší točivý moment.



Obr. 5 – Bipolární krokový motor (distrelec.cz, 2024)

### 3 Ovladač krokového motoru.

Krokové motory se používají ve spojení s budičím obvodem. Ovladač řídí úhel a rychlost otáčení motoru na základě vstupu elektrických impulsů z ovladače. Elektronika driveru umožňuje řídit motor v několika režimech. V režimu celého, polovičního kroku a mikrokrokování.



Obr. 6 – Bipolární krokový motor s driverem (distrelec.cz, 2024)

## 4 Vlastnosti krokových motorů

Krokové motory se liší od ostatních typů motorů v následujících ohledech.

### 4.1 Výhody

- Protože úhel natočení je určen počtem impulsů (digitální vstup), je ovládání polohy (úhel natočení) jednoduché
- Může se otáčet nízkou rychlostí
- Může používat řízení polohy s otevřenou smyčkou (bez zpětné vazby).
- Vynikající přídržný moment při zastavení motoru

### 4.2 Nevýhody

- Vyžaduje řídicí obvod
- Ke ztrátě synchronizace může dojít v důsledku prudké změny jeho zatížení
- Produkce vysoké hladiny vibrací a hluku

## 5 Aplikace pro krokové motory

Vynikající přesnost zastavení, vysoký točivý moment při středních a nízkých rychlostech a vynikající odezva krokových motorů znamená, že je lze použít v široké řadě aplikací pohonu, které vyžadují přesné ovládání.

- Výrobní stroje
- Lékařské vybavení
- Laboratorní analytické přístroje
- bankomaty
- Prodejní automaty
- Prodejní automaty na jízdenky
- Kopírky
- Roboti

- Optické disky (jednotky Blu-ray, DVD atd.)
- Laserové tiskárny
- Digitální fotoaparáty
- Žaluzie klimatizace
- Zábavní stroje

## BPAR cvičení č. 8

### Název úlohy: Diferenční a sumační zesilovač s OZ

#### Zadání úlohy

V tomto cvičení provedete analýzu a realizaci návrhu a realizaci zapojení elektronických obvodů diferenčního a sumačního zesilovače s využitím operačních zesilovačů. Obě zapojení se používají v obvodových řešeních zapojení spojitých verzí PID regulátorů, pro získání regulační odchylky a akčního zásahu regulátoru do regulované soustavy. Vhodnou volbou použitých komponent lze vytvořit obvody analogových PID regulátorů s definovaným chováním. Tímto způsobem lze realizovat kvalitní a přesné regulátory, pro regulaci teploty, hladiny, tlaku, rychlosti otáčení hřídele DC motorů, polohového řízení servopohonů atp.

#### V rámci tohoto cvičení se seznámíte a procvičíte si

- Obvodové zapojení diferenčního a sumačního zesilovače s OZ.
- Praktickou realizaci a ověřením funkce výše uvedených obvodů.
- Změření a vyhodnocení parametrů elektronického obvodu z okruhu prostředků automatizační techniky.

---

*Vždy se snažte porozumět danému zapojení elektronického obvodu. V případě, že máte za úkol průběhy příslušných veličin ověřit teoretickým výpočtem, proměřením dané části zapojení, uveďte tento postup s patřičným komentářem, výpočtem a zdůvodněním do protokolu.*

---

#### Zadání úkolů cvičení a doporučený postup řešení

- Podle schématu zapojení diferenčního zesilovače z obr. 1a zapojte elektronický obvod na nepájivém poli. Realizaci provádějte až po důkladném prostudování zapojení a pochopení funkce elektronického obvodu a pečlivé samostatné přípravy na řešení této úlohy.
- Změřte převodní (statickou) charakteristiku obvodu, naměřená data zapište do tabulky a sestrojte grafu v software tabulkového procesoru Excel. Do grafu zobrazte společně průběh vstupních a výstupních signálů (napětí). Pro záznam naměřených veličin použijte vzor tab. 1.
- Bezchybnou činnost realizovaného zapojení předvedte vyučujícímu.
- Podle schématu zapojení sumačního zesilovače z obr. 1b zapojte elektronický obvod na nepájivém poli. Realizaci provádějte až po důkladném prostudování zapojení a pochopení funkce elektronického obvodu a pečlivé samostatné přípravy na řešení této úlohy.
- Změřte převodní (statickou) charakteristiku obvodu, naměřená data zapište do tabulky a sestrojte grafu v software tabulkového procesoru Excel. Do grafu zobrazte společně průběh vstupních a výstupních signálů (napětí). Pro záznam naměřených veličin použijte vzor tab. 2.

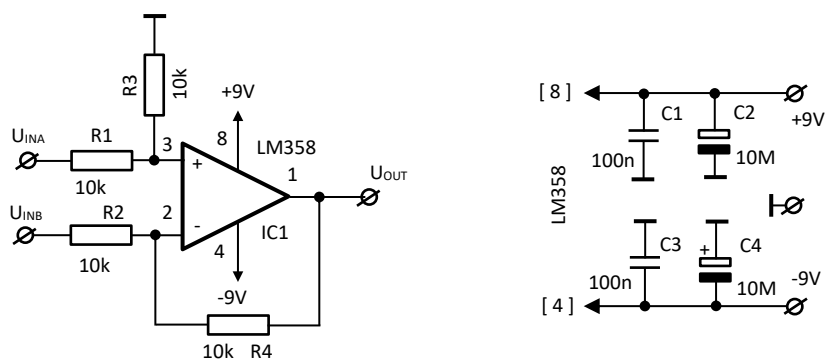


- Bezchybnou činnost realizovaného zapojení předvedte vyučujícímu.
- Přílohou protokolu budou soubory v elektronické podobě ve formátu \*.doc, \*.xls.
- Protokol musí obsahovat seznam použitých přístrojů a použitých součástek použitých v laboratorní úloze.
- Při zpracování protokolu postupujte v souladu s doporučeným postupem probíraným v rámci výuky předmětu!

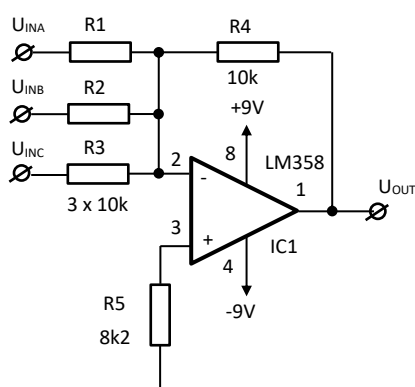
## Upozornění

Před připojením obvodu ke zdroji napětí a jeho oživováním, nastavte hodnotu proudového omezení zdroje na téměř nejnižší možnou hodnotu (cca 50 mA) a až následně, po vyloučení zkratu v zapojeném obvodu, proudové omezení napěťového zdroje pomalu zvyšujte.

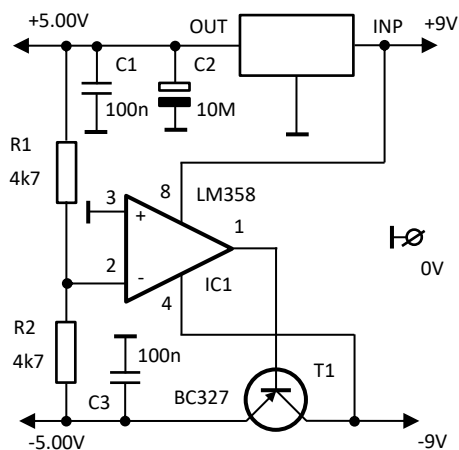
## Schéma zapojení diferenčního a sumačního zesilovače



a) Diferenční zesilovač



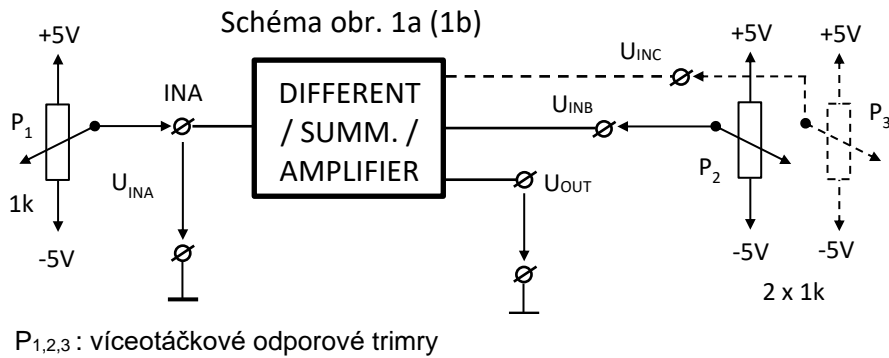
b) Sumační zesilovač



c) Zdroje referenčních napětí

Obr. 1 – Schéma zapojení diferenčního a sumačního zesilovače (zdroj autor)

## Zapojení měřicího pracoviště



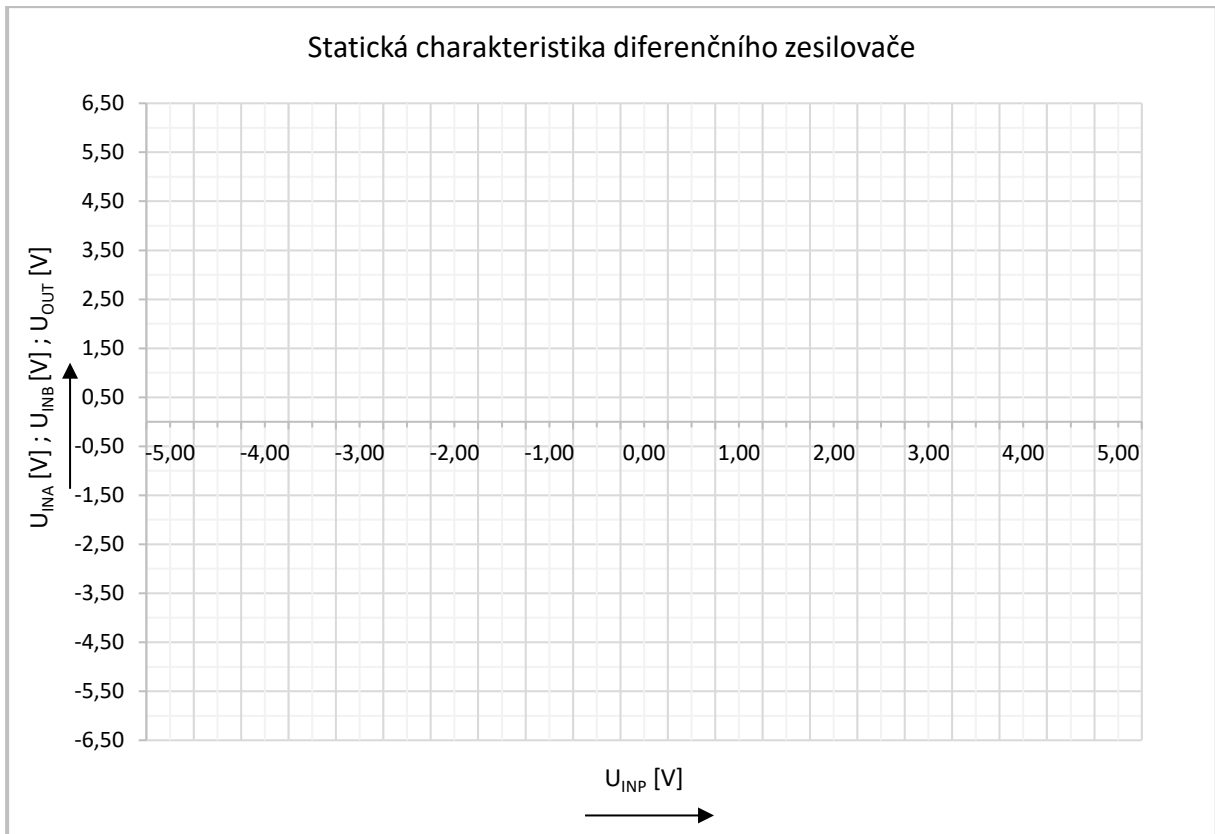
Obr. 2 – Schéma zapojení měřicího pracoviště (zdroj autor)

Tab. 1 – Statická charakteristika diferenčního zesilovače

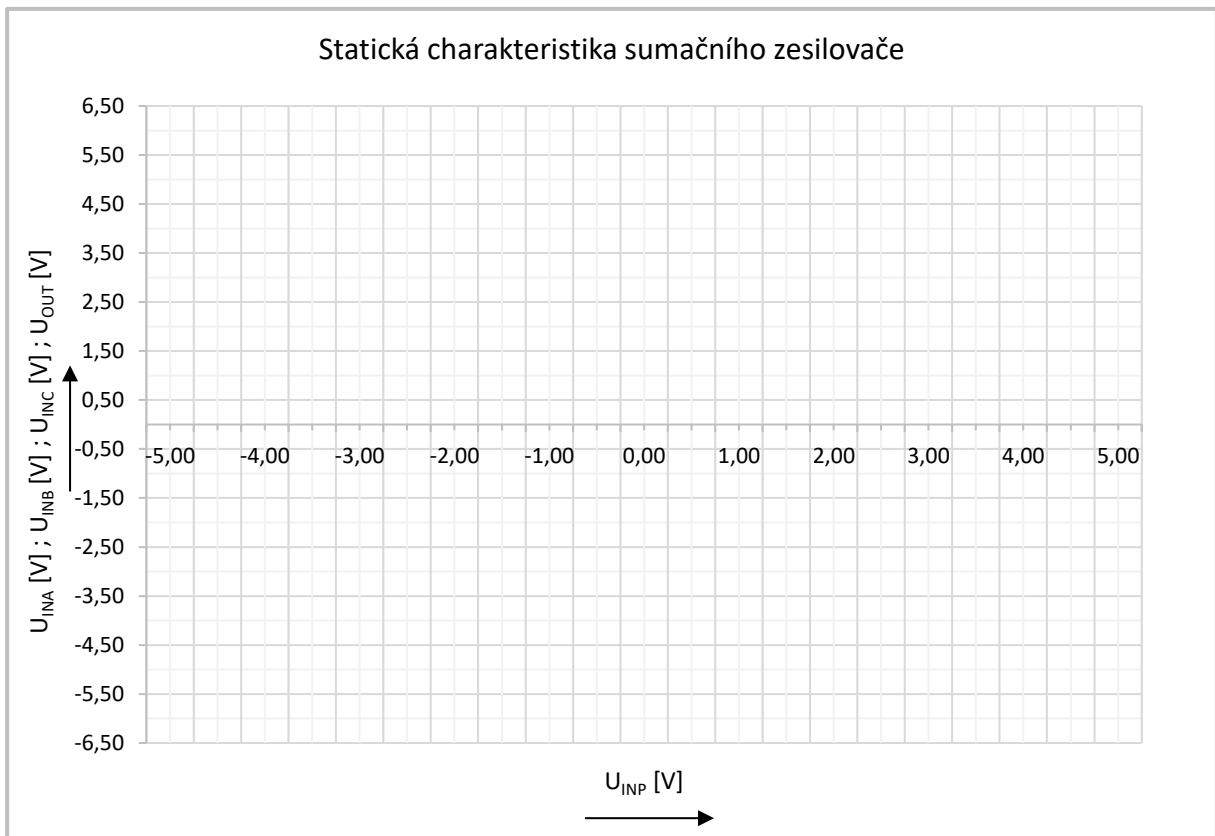
$U_{INA}$	[V]							
$U_{INB}$	[V]							
$U_{OUT}$	[V]							
$U_{INA}$	[V]							
$U_{INB}$	[V]							
$U_{OUT}$	[V]							
$U_{INA}$	[V]							
$U_{INB}$	[V]							
$U_{OUT}$	[V]							

Tab. 2 – Statická charakteristika sumačního zesilovače

$U_{INA}$	[V]							
$U_{INB}$	[V]							
$U_{INC}$	[V]							
$U_{OUT}$	[V]							
$U_{INA}$	[V]							
$U_{INB}$	[V]							
$U_{INC}$	[V]							
$U_{OUT}$	[V]							
$U_{INA}$	[V]							
$U_{INB}$	[V]							
$U_{INC}$	[V]							
$U_{OUT}$	[V]							



**Obr. 3 – Statická charakteristika diferenčního zesilovače (vytvořeno v Excel)**



**Obr. 4 – Statická charakteristika sumačního zesilovače (vytvořeno v Excel)**

### Poznámky k řešení úlohy

Hodnoty vstupních napětí jsou uloženy v textovém souboru „BPAR\_cv\_08.txt“. Tyto hodnoty запиšte do vámi připravených tabulek pro měření a vložte je do textu vašeho protokolu.

Pro generování referenčního napětí použijte obvod zapojený podle schématu na obr. 1c.

Jednotlivá napětí pro vstupy zesilovačů nastavujte co nejpřesněji víceotáčkovými odporovými trimry.

Číselný rozsah jednotlivých os grafů upravte podle skutečného rozsahu naměřených hodnot.

### Samostatná příprava

1. Prostudujte zapojení elektronických obvodů.
2. Provedte stažení příslušné technické dokumentace k použitým součástkám úlohy (zvláštní pozornost věnujte rozložení a označení vývodů pouzder součástek a jejich elektrickým vlastnostem).
3. Odvoďte vztahy pro výstupní napětí diferenčního a sumačního zesilovače.
4. Připravte si tabulky pro záznam jednotlivých měření v prostředí Excel pro záznam měření a sestrojení grafů statické charakteristiky.

### Otázky k procvičení

1. Nakreslete zapojení diferenčního zesilovače s operačním zesilovačem.
2. Odvoďte vztahy pro výstupní napětí diferenčního zesilovače.
3. Nakreslete zapojení sumačního zesilovače s operačním zesilovačem.
4. Odvoďte vztahy pro výstupní napětí sumačního zesilovače.
5. Uveďte využití diferenčního a sumačního zesilovače.

## 6 Použité zdroje

SERVO-DRIVE.CZ. *Co je to krokový motor a jak funguje?* [online]. [cit. 28. 5. 2024]. Dostupný na WWW: [https://www.servo-drive.cz/%C4%8Dasto\\_pokl%C3%A1dan%C3%A9\\_ot%C3%A1zky\\_o\\_krokov%C3%BDch\\_motorech.php](https://www.servo-drive.cz/%C4%8Dasto_pokl%C3%A1dan%C3%A9_ot%C3%A1zky_o_krokov%C3%BDch_motorech.php)

DISTRELEC.CZ. *Jednotka krokového motoru* [online]. [cit. 28. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://www.distrelec.cz/cs/jednotka-krokového-motoru-1nm-nema-23-trinamic-pd60-1160-tmcl/p/15422028>

DIGIWARESTORE.COM. *Unipolar Stepper Motor 12V* [online]. [cit. 28. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://digiwarehouse.com/en/stepper-brushless/unipolar-stepper-motor-12v-18-degrees-step-3kgcm-713251.html>

## 7 Otázky k procvičení

- 1 Podle jakých kritérií můžeme rozdělit krokové motory?
- 2 Jak můžeme rozdělit krokové motory?
- 3 Vysvětlete rozdíl mezi unipolárním a bipolárním krokovým motorem.
- 4 Jak můžeme rozdělit stejnosměrné motory?
- 5 Popište konstrukci hybridního krokového motoru.
- 6 Popište konstrukci stejnosměrného, komutátorového motoru s permanentním magnetem.

## Seznam zkratk

- PV Motor s permanentním magnetem  
VR Motor s proměnnou reluktancí  
HB Hybridní motor

## Rejstřík

- driver, 1  
motor, 1  
    bipolární, 4  
    hybridní, 2  
    krokový, 1  
    s permanentním magnetem, 2  
    s proměnnou reluktancí, 2  
    unipolární, 4

permanentní magnet, 1, 2, 3  
rotor, 1, 3  
rychlost otáčení, 1  
směr otáčení, 1  
stator, 1  
zesilovač, 7  
    diferenční, 7  
    sumační, 7

# Prostředky automatického řízení

## Téma 09: Servomotory

### Studijní cíl

Seznámit studenty s rozdělením servomotorů, podle jejich konstrukčního uspořádání a s jejich vlastnostmi a řízením.

### Doba nutná k nastudování

2 hodiny

### Klíčová slova

Servomotor, krokový motor, stejnosměrný motor, střídavý motor, převodovka, servozesilovač, elektronika, ovladač, potenciometr, enkodér

## 1 Servomotory

Servomotor je speciální druh elektromotoru navržený tak, aby umožňoval rychlý a přesný pohyb. Běžně se používá v aplikacích, jako jsou roboty nebo stroje. Servomotor je jako inteligentní motor, protože může ovládat svou polohu, rychlost a výkon. Tento motor pracuje ve zpětnovazebním zapojení se senzorem, který umožňuje identifikaci aktuální polohy, a řídicí elektronika zajišťuje pohyb na základě požadované hodnoty polohy. Tyto motory jsou často použity v ovládání strojů, například v továrnách, kde je požadavkem, aby se manipulované předměty pohybovaly velmi přesně a bezproblémově. Tato kapitola pojednává o konstrukci servomotorů, jejich významu v různých aplikačních oblastech, jako je robotika a výrobní sféra průmyslu, vysvětluje, jak fungují, jak jsou sestaveny a kde se běžně používají.

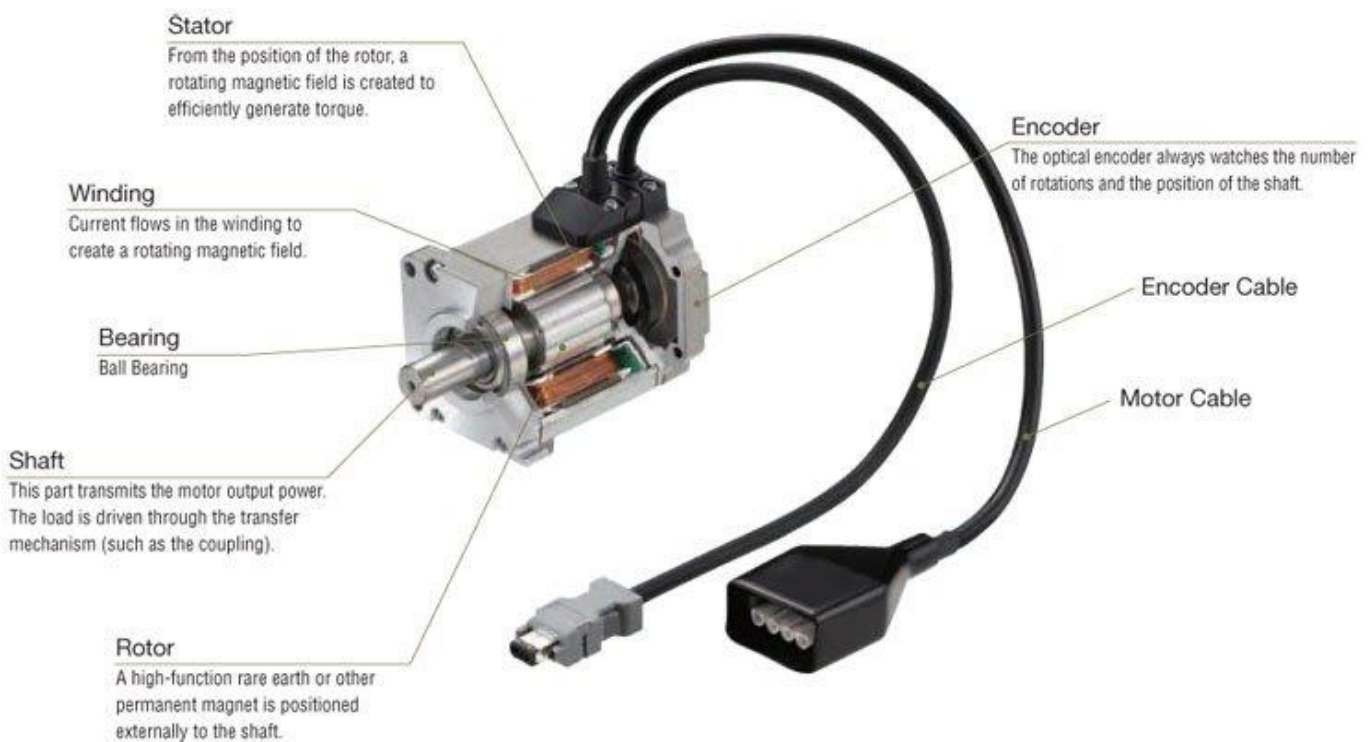
Servomotory jsou většinou malé, ale výkonné motory, s příznivým poměrem kroutícího momentu a setrvačnosti, což znamená, že mohou generovat velký kroutící moment vzhledem k jejich velikosti a hmotnosti. Díky tomu jsou ideální pro plnění úkolů, které vyžadují velké zrychlení, zpomalení a realizaci přesných pohybů. Dodávají se v různých velikostech a úrovních výkonu, aby vyhovovaly plnění rozličných úkolů. Mohou být napájeny střídavým nebo stejnosměrným napětím. Výhodou je, že můžeme ovládat jejich rychlost a sílu pomocí speciálně modulovaných signálů, nazývaných pulzně šířková modulace (PWM). Některé servomotory disponují dalšími funkcemi, jako jsou vestavěné hardwarové ovladače a různé typy komunikačních rozhraní, díky jimž jsou snadno přizpůsobitelné a integrovatelné do složitých systémů.

## 1.1 Definice servomotoru

Servomotorem rozumíme rotační pohon, který umožňuje přesné řízení úhlové polohy (polohování). Skládá se z motoru, zpětnovazebního systému a regulátoru. Systém zpětné vazby neustále sleduje aktuální polohu motoru a upravuje ji tak, aby odpovídala požadované poloze. Regulátor zpracovává rozdíl mezi skutečnou a požadovanou polohou a generuje signály k ovládní motoru, které korigují případné regulační odchylky.

## 1.2 Konstrukce servomotoru

Konstrukce servomotoru zahrnuje použití řady klíčových součástí, které se používají pro přesné ovládní úhlové polohy. Servomotor je tedy podobný běžnému motoru, ale je složen z více přídavných komponent, pro usnadnění řízení polohy. Mezi tyto základní komponenty patří senzory, ozubená kola a elektronický řídicí obvod. Signály pro výkonové řídicí prvky servomotoru jsou generovány zpravidla mikropočítačem, například Arduino, nebo STM. V průmyslových aplikacích využívají spíše AC servomotory s enkodérem jako snímače polohy. U DC servomotoru se k měření polohy používá potenciometr.

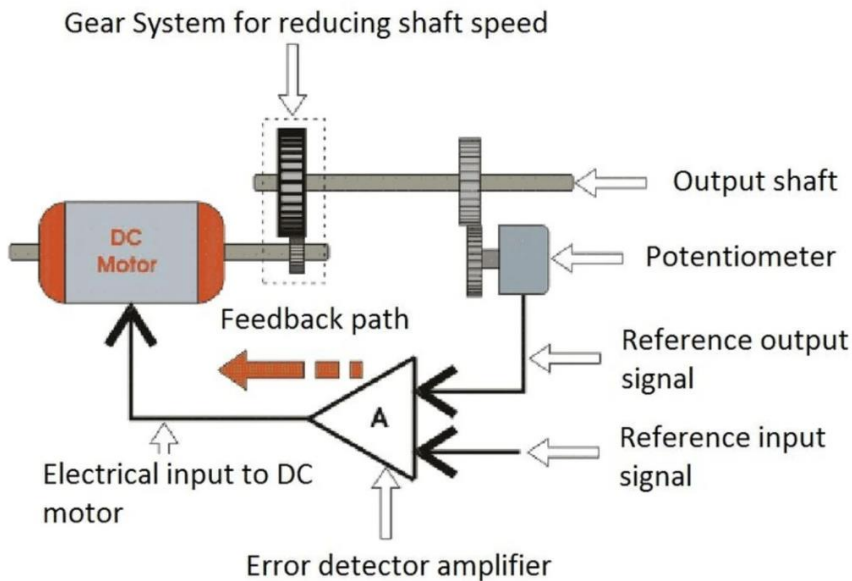


Obr. 1 – Konstrukce servomotoru (GEEKSFORGEES.ORG, 2024)

Stejnoseměrný servomotor je sestaven kombinací stejnosměrného motoru s doplňujícími moduly, jako je převodovka, sloužící k redukci rychlosti otáčení rychlosti hřídele DC motoru (aktuátoru) a pro realizaci velikosti požadovaného točivého momentu, regulátoru polohy, rychlosti a proudu a snímače polohy (potenciometr).

Střídavý (AC) servomotor využívá indukční motor doplněný převody a enkodéry, pro jeho přesné ovládní.





Obr. 2 – Hardwarové prostředky servomotoru (GLOBALSPEC.COM, 2024)

### 1.3 Komponenty servomotoru

- **Rotor a stator:** Jádro servomotoru se skládá ze dvou hlavních částí. Rotoru (pohyblivá část) a statoru (nehybná část). Rotor je typicky připojen k výstupnímu hřídeli, který je zodpovědný za generování pohybu.
- **Zpětnovazební zařízení:** V servomotoru je zabudováno zpětnovazební měření polohy, často ve formě enkodéru, nebo resolveru. Toto zařízení neustále sleduje aktuální polohu rotoru a poskytuje tyto informace ovladači.
- **Ovladač:** Ovladač (řídící obvod) je nejdůležitější součástí systému servomotoru. Interpretuje zpětnou vazbu z kodéru a porovnává ji s požadovanou polohou. Pokud je nějaký rozdíl, regulátor vypočítá potřebné nastavení.
- **Řídící vstup:** Servomotor přijímá řídicí vstup, obvykle ve formě elektrických impulsů. Regulátor využívá tento vstup k určení, jak moc a kterým směrem se má motor pohybovat.
- **Napájení:** Motor vyžaduje napájení, obvykle ve formě stejnosměrného proudu (DC) nebo střídavého proudu (AC), v závislosti na typu motoru.
- **Ozubené soukolí (volitelné):** U některých servomotorů, zejména těch, které se používají v robotice, může být zahrnuto ozubené soukolí pro zesílení točivého momentu nebo nastavení rychlosti výstupního hřídele.

### 1.4 Funkce servomotoru

Servomotor funguje jednoduchým způsobem a je snadno pochopitelný. Servomotor má obvykle systém nazývaný řízení s uzavřenou smyčkou. Tento systém obsahuje komparátor a zpětnovazební cestu. Je to jako nastavení, které neustále kontroluje a upravuje motor tak, aby zůstal na správném místě. Komparátor je důležitou součástí servomotoru. Pečlivě kontroluje, kde se motor právě nachází, a porovnává jej s tím, kde by měl být. Pokud je rozdíl, signalizuje, že došlo k chybě, a říká motoru, aby provedl nezbytná nastavení, aby se dostal do správné polohy.

Servomotory jsou běžně řízeny pomocí metody zvané Pulse Width Modulation (PWM). Tato technika vyžaduje přenos elektrického signálu obsahujícího pulsy různých délek do motoru. Tyto impulsy mají šířku, která se pohybuje mezi 1 až 2 milisekundami, a jsou opakovaně odesílány rychlostí 50krát za sekundu do servomotoru. Nastavení šířky pulsu slouží jako prostředek pro efektivní řízení polohy rotujícího hřídele v servomotoru. Jednodušeji řečeno, změna doby trvání těchto impulsů vede motor k dosažení požadované polohy pro jeho rotující hřídel.

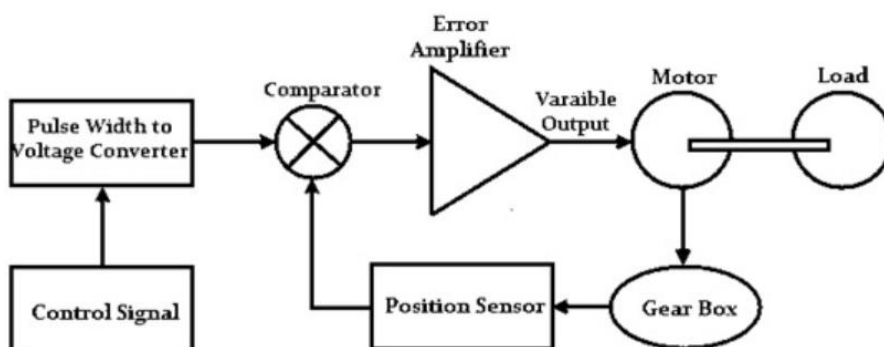
## 1.5 Typy servomotorů

Servomotory jsou obecně rozděleny do dvou kategorií v závislosti na jejich zdroji energie:

- Stejnosměrný servomotor
- AC servomotor

## 2 Stejnosměrný servomotor

Stejnosměrný servomotor se skládá ze základních součástí, jako je stejnosměrný motor, snímač polohy, sestava převodovky a řídicí obvod. Tento motor umožňuje přesné ovládání rychlosti a polohy. Pro nastavení požadovaného výstupu se pomocí potenciometru, pulzního převodníku nebo časovačů určí stejnosměrné referenční napětí. V digitálním řízení generují mikroprocesory pulzy PWM pro přesnost. Zpětná vazba získaná prostřednictvím potenciometru vede zesilovač chyb a zajišťuje přesné polohování motoru. Zesilovač porovnává aktuální a požadované polohy a generuje chybové napětí, které napájí motor, dokud není chyba nulová, což usnadňuje přesné otáčení.

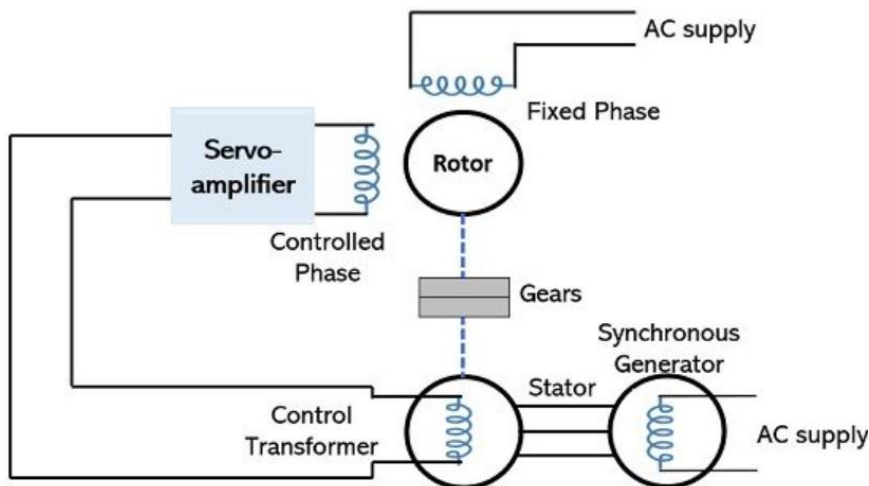


Obr. 3 – Blokové schéma servomotoru s DC motorem (GEEKSFORGEKS.ORG, 2024)

### 2.1 AC servomotor

Střídavé servomotory jsou specifickým typem servomotoru, který převádí střídavou elektřinu na přesné mechanické pohyby, se zaměřením na dodržení přesné úhlové rychlosti. Tyto motory jsou v podstatě dvoufázové indukční motory, se specifickými konstrukčními odlišnostmi. Jejich mechanický výkon je v rozsahu od několika wattů, do několika stovek

wattů. Pracují ve frekvenčním rozsahu 50 až 400 Hz. To, co je odlišuje, je jejich využití řídicího systému s uzavřenou regulační smyčkou, která využívá enkodéry, ke sledování rychlosti a polohy aktuátoru. Díky této vlastnosti jsou tyto motory výjimečně vhodné pro přesné ovládání, čímž se liší od ostatních typů motorů, které nemají tak propracovanou strukturu zpětné vazby.



Obr. 4 – Servomotor s AC motorem (GEEKSFORGEES.ORG, 2024)

## 2.2 Charakteristika servomotoru

Servomotory disponují tedy klíčovými vlastnostmi, které z nich dělají vynikající adepty pro aplikace, které vyžadují přesné ovládání polohy. Mezi klíčové vlastnosti servomotorů patří:

- **Vysoká přesnost:** Servomotory poskytují přesné ovládání polohy, rychlosti a točivého momentu. Této přesnosti je dosaženo použitím zpětnovazebních zařízení, jako jsou enkodéry, které nepřetržitě monitorují skutečnou polohu motoru a poskytují zpětnou vazbu řídicí jednotce.
- **Rychlá doba odezvy:** Servomotory mají působivou dobu odezvy, která jim umožňuje rychle upravit rychlost a polohu na základě měnících se vstupních signálů.
- **Vysoký točivý moment:** Další charakteristikou servomotorů je jejich schopnost dodávat vysoký točivý moment i při nízkých otáčkách. Vysoký točivý moment servomotorů zajišťuje, že dokážou zvládnout těžké zatížení a provádět úkoly s přesností.
- **Řízení s uzavřenou smyčkou:** Servomotory pracují v systému řízení s uzavřenou smyčkou, což znamená, že neustále dostávají zpětnou vazbu o své skutečné poloze a podle toho upravují svůj výkon.
- **Široký rozsah rychlostí:** Servomotory nabízejí široký rozsah rychlostí, což jim umožňuje pracovat při vysokých i nízkých rychlostech bez kompromisů ve výkonu.
- **Nízká setrvačnost:** Nízká setrvačnost rotoru umožňuje rychlé zrychlení a zpomalení, což přispívá k dynamickému výkonu motoru.

## 2.3 Rozdíl mezi krokovým motorem a servomotorem

Krokové motory i servomotory mají své výhody a jsou vhodné pro různé aplikace. Když pochopíte jejich rozdíly, můžete učinit informované rozhodnutí při výběru motoru, který nejlépe vyhovuje vašim konkrétním potřebám.

Tab. 1 – Porovnání servomotoru a krokového motoru

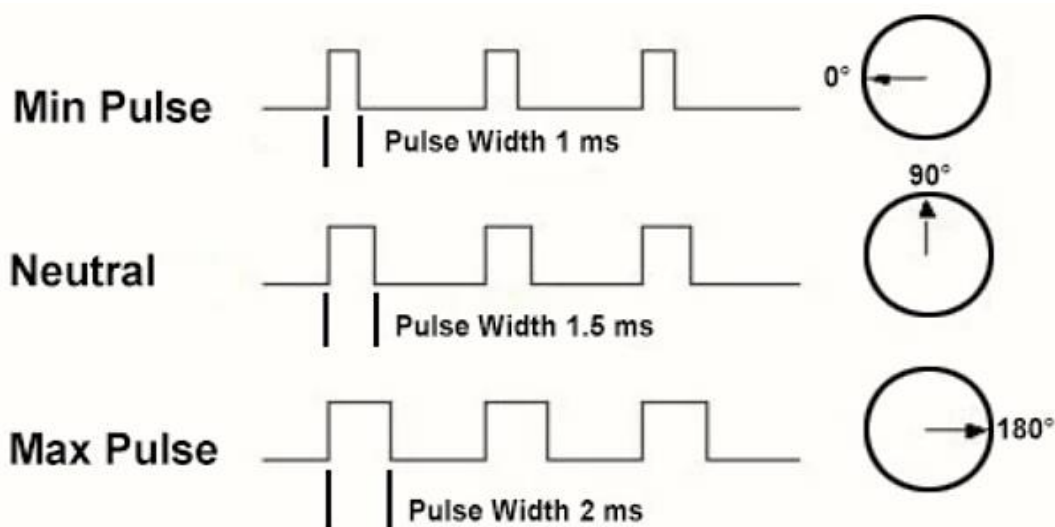
Parametr (vlastnost)	Servomotor	Krokový motor
Princip ovládání	Systém s uzavřenou smyčkou	Systém s otevřenou smyčkou
Přesnost	Vyšší přesnost díky zpětné vazbě a řízení v uzavřené smyčce	Nižší přesnost ve srovnání se servomotory
Mechanismus zpětné vazby	Vybaveno zpětnovazebními zařízeními (kodéry, potenciometry) pro nepřetržité sledování polohy	Obvykle chybí zpětná vazba
Náklady	Bývá dražší	Obecně ekonomičtější
Složitost	Složitější řídicí systém díky zpětné vazbě v uzavřené smyčce	Jednodušší systém ovládání
Variace rychlosti	Schopný vyšších rychlostí a dynamických úprav	Obecně funguje při nižších rychlostech
Generování tepla	Může generovat více tepla, zejména při vyšších rychlostech	Nízká tvorba tepla
Točivý moment při nízkých otáčkách	Dobrý točivý moment při nízkých otáčkách, ale ne tak vysoký jako u krokových motorů	Vysoký točivý moment při nízkých otáčkách
Aplikace	Upřednostňuje se pro aplikace vyžadující vysokou přesnost, dynamickou odezvu a přesné řízení polohy, jako je robotika a CNC stroje	Často se používá v aplikacích s méně náročnými požadavky na přesnost a rychlost

## 2.4 Jak ovládat servomotor?

Servomotory jsou ovládány přenosem elektrického impulsu, známého jako modulace šířky impulsů (PWM), přes řídicí vodič. Tento pulz má proměnnou šířku a skládá se z minimální a maximální hodnoty spolu s opakovací frekvencí. Servomotor má typicky omezený rozsah

pohybu, obvykle celkem 180°, se schopností otáčení o 90° v každém směru ze své neutrální polohy. Neutrální poloha je bod, kde se servo může otáčet rovnoměrně ve směru i proti směru hodinových ručiček.

Poloha hřídele servomotoru je určena dobou trvání impulsu PWM odeslaného přes řídicí vodič. Motor předpokládá příjem impulsu každých 20 milisekund (ms) a délka impulsu určuje, jak daleko se motor otočí. Například pulz 1,5 ms nastaví motor na 90°. Impulzy kratší než 1,5 ms posunou motor proti směru hodinových ručiček do polohy 0°, zatímco pulsy delší než 1,5 ms způsobí otočení serva ve směru hodinových ručiček do polohy 180°.



Obr. 5 – Nastavení polohy serva změnou šířky pulzu (GEEKSFORGEKS.ORG, 2024)

## 2.5 Nastavení polohy serva změnou ovládání šířky pulzu

Jakmile jsou tato serva natočena do požadované polohy, udrží se v této poloze a odolávají vnější síle, která se je pokouší z této polohy vytěsnit. Rozsah síly, kterou servo vydrží, se označuje jako jeho jmenovitý moment. Je důležité poznamenat, že serva neudrží svou pozici donekonečna; je vyžadováno opakování polohového impulsu, aby bylo servo instruováno, aby zůstalo v určené poloze.

## 2.6 Propojení servomotorů s mikrokontroléry

Aby bylo možné řídit servomotory, musí být propojeny s mikrokontroléry, které fungují jako mozek systému. Existuje několik způsobů propojení servomotorů s mikrokontroléry. Jedním z běžných přístupů je použití pulzně šířkové modulace (PWM). PWM pracuje tak, že mění šířku pulzního signálu pro řízení polohy servomotoru. Mikrokontrolér generuje PWM signál, který je poté odeslán do servomotoru. Změnou šířky impulsu může mikrokontrolér řídit úhel, pod kterým se servomotor otáčí. Chcete-li propojit servomotor s mikrokontrolérem, budete muset připojit servomotor k příslušným kolíkům mikrokontroléru.

Servomotory mají tři vodiče:

- Napájení
- Přízemní
- Signál

Napájecí a zemnicí vodiče jsou připojeny ke zdroji napájení, zatímco signální vodič je připojen k pinu PWM na mikrokontroléru. Jakmile jsou hardwarová připojení provedena, můžete začít programovat mikrokontrolér pro ovládání servomotoru. To zahrnuje psaní kódu, který generuje PWM signál s požadovanou šířkou pulzu. Mikrokontrolér bude nepřetržitě vysílat PWM signál do servomotoru, což způsobí jeho otočení do požadovaného úhlu. Je důležité si uvědomit, že různé servomotory mohou mít různé provozní charakteristiky, jako je rozsah úhlů, které mohou otáčet, nebo rychlost, kterou se mohou pohybovat. Proto je nezbytné prostudovat technický list nebo specifikace servomotoru, aby bylo zajištěno správné propojení a ovládání.

## 2.7 Aplikace servomotorů

Servomotory mají širokou škálu aplikací napříč průmyslovými odvětvími. Podívejme se na některé běžné aplikace servomotorů:

- **Robotika:** Servomotory se používají v robotických ramenech, chapadlech a kloubech k dosažení přesného polohování a plynulého pohybu. To umožňuje robotům provádět úkoly s přesností, jako je montáž, svařování a manipulace s materiálem.
- **CNC stroje:** Servomotory jsou široce používány ve strojích počítačového numerického řízení (CNC). Řídí pohyb rezných nástrojů a zajišťují přesné a konzistentní operace obrábění. Servomotory umožňují vysokorychlostní polohování a přesnou kontrolu nad procesem řezání, což vede k vynikající kvalitě a produktivitě.
- **Průmyslová automatizace:** Používají se v dopravnících, balicích strojích, tiskařských lisech a dalších automatizovaných zařízeních. Přesné řízení nabízené servomotory zajišťuje efektivní a spolehlivý provoz, zvyšuje produktivitu a snižuje prostoje.
- **Letectví a obrana:** Servomotory se používají v řídicích plochách letadel, naváděcích systémech raket a bezpilotních vzdušných vozidlech (UAV). Vysoká přesnost a odezva servomotorů umožňuje přesné ovládání letových ploch a naváděcích mechanismů, což zajišťuje bezpečný a spolehlivý provoz.
- **Elektronika:** Serva se běžně používají v elektronických zařízeních, jako jsou fotoaparáty, kde usnadňují automatické ostření a stabilizaci obrazu. Nacházejí se také ve spotřební elektronice, jako jsou DVD přehrávače a systémy domácí automatizace.
- **Obnovitelná energie:** Servomotory se používají v solárních polohovacích systémech k úpravě polohy solárních panelů, optimalizaci jejich orientace ke slunci pro zvýšení zachycování energie.

## 2.8 Výhody a nevýhody servomotoru

Výhody a nevýhody servomotorů, které určují jejich možnosti, příp. omezení jsou následující.

### 2.8.1 Výhody servomotoru

Servomotor je vysoce účinný a všestranný motor, který nabízí několik výhod. Zde jsou některé z klíčových výhod:

- **Přesné ovládání:** Servomotory poskytují přesné ovládání polohy, rychlosti a točivého momentu, díky čemuž jsou ideální pro aplikace, které vyžadují vysokou přesnost a opakovatelnost.
- **Vysoký točivý moment:** Servomotory mohou poskytovat vysoký točivý moment i při nízkých rychlostech, díky čemuž jsou vhodné pro úkoly, které vyžadují vysokou sílu a výkon.
- **Rychlá odezva:** Servomotory mají rychlou odezvu, což jim umožňuje rychle se přizpůsobit změnám zatížení nebo rychlosti.
- **Široký rozsah rychlostí:** Servomotory mohou pracovat v širokém rozsahu rychlostí, od velmi nízkých po velmi vysoké, díky čemuž jsou univerzální pro různé aplikace.
- **Energetická účinnost:** Servomotory jsou navrženy tak, aby byly energeticky účinné, spotřebovávaly méně energie, když nejsou v pohybu, a snižují tak celkové náklady na energii.

### 2.8.2 Nevýhody servomotoru

Zatímco servomotory nabízejí řadu výhod, je třeba vzít v úvahu také některé nevýhody:

- **Komplexní řízení:** Servomotory vyžadují komplexní řídicí systémy a mechanismy zpětné vazby, jako jsou „Bodeovy“ grafy v řídicích systémech, které mohou zvýšit celkovou složitost a náklady systému.
- **Vyšší náklady:** Ve srovnání s jinými typy motorů bývají servomotory dražší kvůli svým pokročilým funkcím a přesnému ovládání.
- **Velikost a hmotnost:** Servomotory jsou obecně větší a těžší než jiné typy motorů, což může omezit jejich použití v určitých aplikacích s omezeným prostorem.
- **Generování tepla:** Servomotory mohou během provozu generovat značné teplo, což vyžaduje dodatečná chladicí opatření, aby se zabránilo přehřátí.
- **Hluk:** V závislosti na konstrukci a kvalitě servomotoru může servomotor během provozu produkovat určitý hluk, což může být problémem v prostředích citlivých na hluk.

## 3 Závěr

Závěrem lze říci, že servomotory jsou přesnými motory elektrotechniky, které umožňují přesné řízení a přesné polohování v široké škále aplikací. Jejich schopnost poskytovat

výjimečnou přesnost, vysoký poměr točivého momentu k setrvačnosti, rychlou dobu odezvy a programovatelnost je činí nepostradatelnými v průmyslových odvětvích, jako je robotika, letecký průmysl a výroba. Vzhledem k tomu, že technologie postupuje vpřed, servomotory budou nepochybně hrát ještě významnější roli při utváření budoucnosti elektrotechniky. (GEEKSFORGEESK.ORG, 2024)



## BPAR cvičení č. 9

### Název úlohy: Přístrojový (měřicí) zesilovač

#### Zadání úlohy

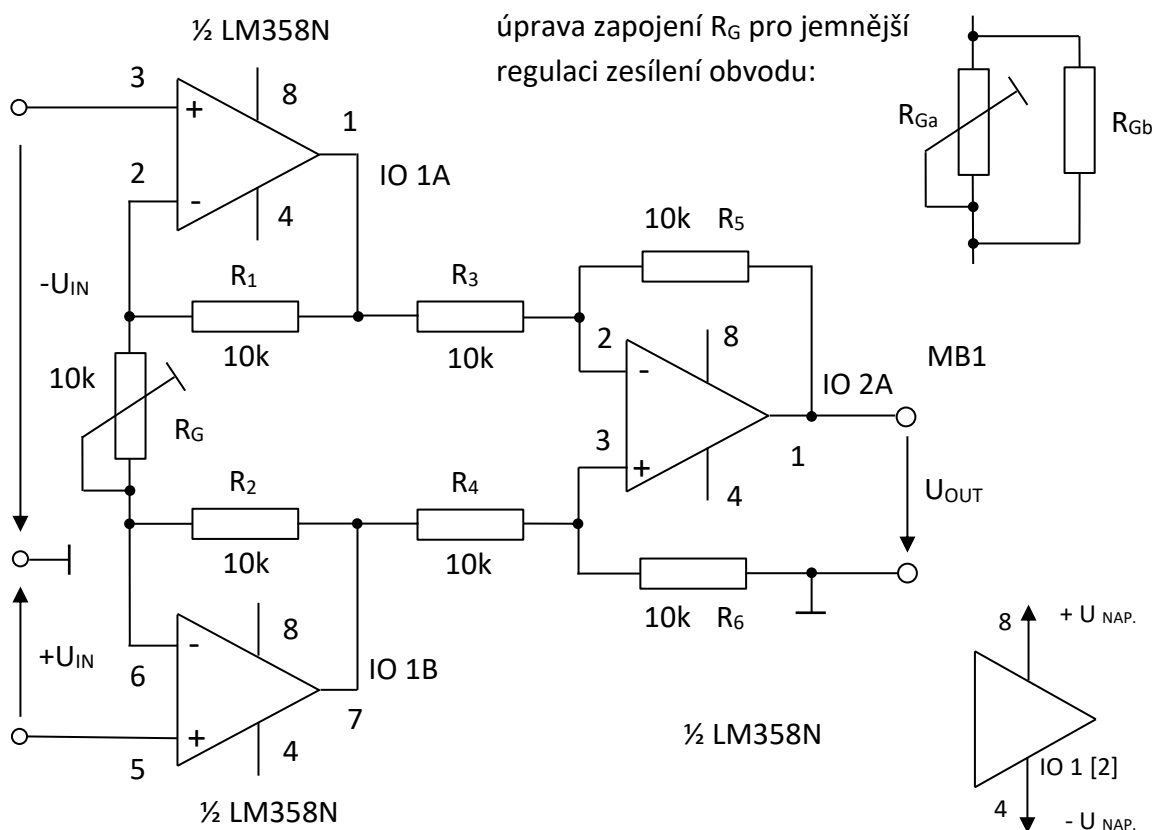
Cílem cvičení je výpočet a měření převodní charakteristiky přístrojového zesilovače. Od přístrojového zesilovače, jako vstupního obvodu měřicího zařízení, požadujeme velký vstupní odpor, nízký výstupní odpor, definované zesílení, možnost nastavení zesílení, pokud možno jedním nastavovacím prvkem a možnosti měřit vstupní veličinu diferencně a samostatně, proti zemnicí svorce. Existuje celá řada specializovaných integrovaných obvodů se zapojením přístrojového zesilovače (např. obvod AD8221). Tyto zesilovače jsou konstruovány s použitím operačních zesilovačů.

---

*Vždy se snažte porozumět danému zapojení elektronického obvodu. V případě, že máte za úkol průběhy příslušných veličin ověřit teoretickým výpočtem, proměřením dané části zapojení, uveďte tento postup s patřičným komentářem, výpočtem a zdůvodněním do protokolu.*

---

#### Přístrojový zesilovač se třemi operačními zesilovači



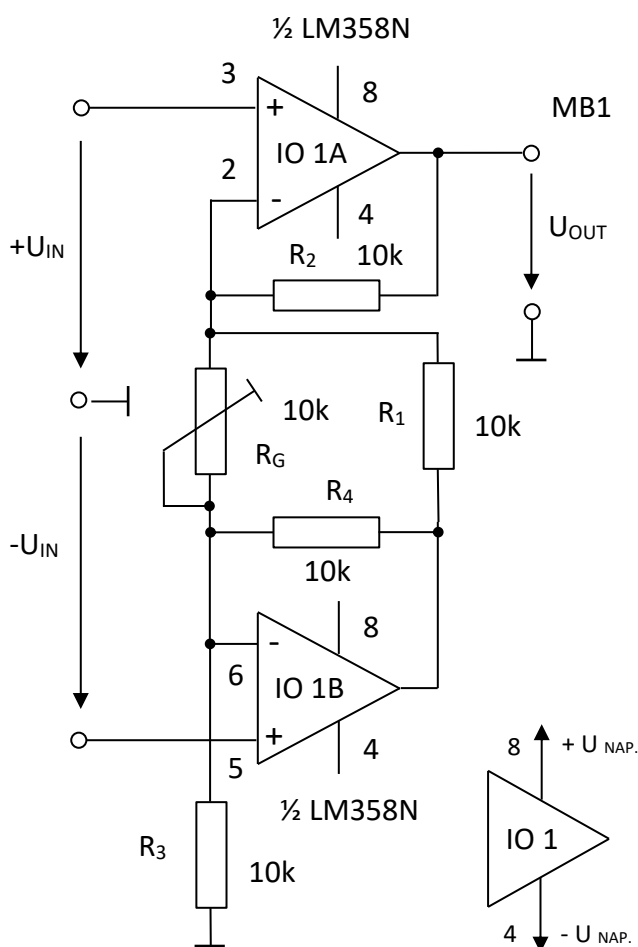
Obr. 1 – Schéma zapojení přístrojového zesilovače se třemi operačními zesilovači (zdroj autor)

Pro využití v automatizační technice jsou nejdůležitější dvě zapojení. Jsou to zapojení přístrojových měřících zesilovačů s použitím třech, nebo dvou operačních zesilovačů. Zapojení těchto zesilovačů je na obr. 1 a obr. 2a.

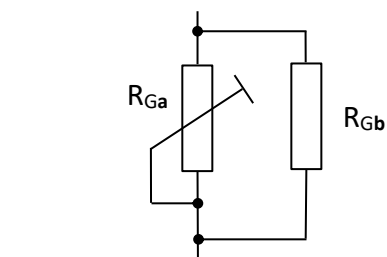
Zesílení je dáno rovnicí (pro  $R_3 = R_4$  a  $R_5 = R_6$ )

$$U_{OUT} = [U_{IN} - (-U_{IN})] \left(1 + \frac{2R_2}{R_G}\right) \quad (1)$$

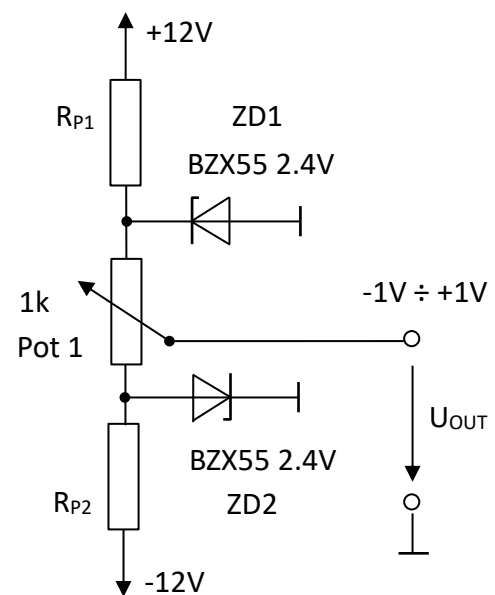
Přístrojový zesilovač se dvěma operačními zesilovači



a) Schéma zapojení přístrojového zesilovače se dvěma operačními zesilovači



b) úprava zapojení  $R_G$  pro jemnější regulaci zesílení obvodu



c) Obvod generování měřícího napětí

Obr. 2 – Schéma zapojení přístrojového zesilovače se dvěma operačními zesilovači (zdroj autor)

Zesílení je dáno rovnicí (pro  $R_1 = R_2$  a  $R_3 = R_4$ )

$$U_{OUT} = [U_{IN} - (-U_{IN})] \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{2R_2}{R_G}\right) \quad (2)$$

## Zadání úkolů cvičení a doporučený postup řešení

- Zapojte a oživte na nepájivém poli obvod přístrojového měřicího zesilovače, nejprve verzi se třemi operačními zesilovači (obr. 1) a následně verzi se dvěma operačními zesilovači (obr. 2a). Napájecí napětí obvodu bude symetrické,  $\pm 12V$ . Oživení obvodu proveďte pomocí napájecího zdroje, osciloskopu a generátoru harmonického signálu připojeného na příslušnou vstupní svorku zesilovače (zemní svorku sondy generátoru a osciloskopu připojte na společnou „zem“ aplikace). Před připojením obvodu ke zdroji napětí a jeho oživováním, nastavte hodnotu proudového omezení zdroje na nejnižší možnou hodnotu a až následně, po vyloučení zkratu v zapojeném obvodu, proudové omezení napěťového zdroje pomalu zvyšujte. Tento postup platí jak pro kladnou, tak pro zápornou, „větve“ napájecího zdroje napětí. **Uvedený postup připojování napájecího zdroje používejte vždy, při zapojování, oživování a laborování s elektronickými obvody!**
- Stanovte výpočtem velikost odporu rezistoru  $R_G$  obou zapojení pro definované zesílení +20dB. Vypočítané hodnoty použijte do realizace zapojení přístrojového zesilovače. Hodnotu odporu  $R_G$  nastavte otáčením běžce odporového trimru použitého v zapojení na místě  $R_G$  (pro snadnější nastavování hodnoty použijte zapojení kombinace rezistoru a odporového trimru podle obr. 1, případně obr. 2b).
- Vypočítejte a vynesete do grafů v „Excelu“ funkční závislost zesílení A[dB] na hodnotě rezistoru  $R_G$  (pro rozsah  $R_G \approx 1 \div 10 \text{ k}\Omega$  s krokem 0,5 k $\Omega$  . Výpočet proveďte pro oba typy měřicího zesilovače.
- Pro rozsah vstupního napětí -1V  $\div$  +1V (s krokem 0,1V) vypočítejte převodní charakteristiky obou typů zesilovačů a výsledky zpracujte do tabulky v „Excelu“.
- Pomocí generátoru harmonického signálu a osciloskopu ověřte skutečné zesílení přístrojového zesilovače (výsledky uveďte do protokolu). Pro testování použijte signál s harmonickým průběhem, amplitudou 0,5 V a kmitočtem 100 Hz. **Testovací signál přivádějte na svorku pro měření kladného napětí, svorku záporného napětí propojte se zemnicí svorkou!**
- Pomocí digitálního multimetru změřte převodní charakteristiku přístrojových zesilovačů. Měření převodní charakteristiky PZ proveďte v rozsahu vstupního napětí -1V  $\div$  +1V, s krokem 0,1 V. Naměřenou závislost  $U_{OUT} = f(U_{IN})$  zpracujte do tabulky a vynesete vždy do společného grafu s vypočítanou charakteristikou. Pro generování vstupního napětí zesilovače použijte potenciometr (víceotáčkový odporový trimr) zapojený podle schéma na obr. 2c. Vypočítejte velikost odporu  $R_{P1}$  a  $R_{P2}$  stabilizačních diod pro  $I_z = 5 \text{ mA}$ . Vypočítané hodnoty použijte do obvodového zapojení (vypočtené hodnoty odporů předřadných rezistoru konzultujte s vyučujícím). **Vstupní napětí přivádějte na svorku pro měření kladného napětí, svorku záporného napětí propojte se zemnicí svorkou!**
- **Vytvořte tabulku a graficky znázorněte odchylky  $\Delta$  mezi naměřenými a vypočítanými průběhy převodních charakteristik [ $\Delta = f(\Delta U_{OUT})$ ].**
- Výsledky realizace, výpočtů a měření uveďte do protokolu.
- Přílohou protokolu budou soubory v elektronické podobě ve formátu \*.doc a \*.xls.

**Tab. 1 – Vzor tabulky naměřených hodnot převodní charakteristiky přístrojového zesilovače (pro každý typ zesilovače bude v protokolu samostatná tabulka!)**

Převodní charakteristika přístrojového zesilovače se třemi [dvěma] OZ					
číslo měření	$U_{IN}$ [V]	$U_{OUT}$ [V] vypočítaná	$U_{OUT}$ [V] změřená	$\Delta$ [mV]	$\Delta$ [%]
1.	-1,00				
2.	-0,90				
3.	-0,80				
4.	-0,70				
.	...				
.	...				
N-2	+0,80				
N-1	+0,90				
N	+1,00				

**Tab. 2 – Vzor tabulky výpočtu hodnot zesílení v závislosti na velikosti rezistoru  $R_G$  (pro každý typ zesilovače bude v protokolu samostatná tabulka!)**

Regulace zesílení změnou velikosti $R_G$		
$R_G$ [k $\Omega$ ]	A [-]	A [dB]
0,50		
1,00		
...		
...		
...		
...		
...		
...		
7,50		
8,00		
8,00		
9,00		
9,50		
10,00		

#### Otázky k procvičení

1. Nakreslete schéma přístrojového zesilovače se třemi OZ.
2. Nakreslete schéma přístrojového zesilovače se dvěma OZ.

3. Kolika prvky lze měnit zesílení přístrojového zesilovače?
4. Jaké jsou hlavní, důležité, parametry přístrojového zesilovače?
5. Napište rovnice pro výpočet zesílení přístrojového zesilovače se třemi a dvěma OZ.
6. Vysvětlete funkci schéma zapojení na obr. 5. Uveďte vztah pro výpočet předřadného rezistoru  $R_{P1}$  a  $R_{P2}$  stabilizačních - „zenerových“ diod. Jaký proud teče potenciometrem **Pot 1**?
7. Sestrojte funkční závislost pro průběh odporu kombinace  $R_{Ga}$  a  $R_{Gb}$  v závislosti na natočení hřídele  $R_{Ga}$ , pro hodnoty  $R_{Ga}$

## 4 Použité zdroje

GEEKSFORGEEEKS.ORG. *Servo Motor* [online]. [cit. 1. 5. 2024]. Dostupný na WWW: [https://www.geeksforgeeks.org/servo-motor/?ref=header\\_search](https://www.geeksforgeeks.org/servo-motor/?ref=header_search)

TTPS://INSTRUMENTATIONBLOG.COM. *What is a Servo Motor?* [online]. [cit. 1. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://instrumentationblog.com/what-is-servo-motor/>

GLOBALSPEC.COM. *Servo Motor Working Principle* [online]. [cit. 13.6.2024]. Dostupný na WWW: <https://www.globalspec.com/pfdetail/motors/servo-motor-working-principle>

## 5 Studijní literatura

NĚMEC, Zdeněk: *Prostředky automatického řízení, elektrické*. Studijní opora oboru Aplikovaná informatika a řízení. Brno: VUT, FSI, 2002.

BALÁTĚ, Jaroslav. *Technické prostředky automatického řízení*. Praha, SNTL 1986.

## 6 Otázky k procvičení

- 1 Jak můžeme rozdělit servomotory?
- 2 Nakreslete blokové schéma servomotoru s DC motorem.
- 3 Nakreslete blokové schéma servomotoru s AC motorem.
- 4 Z jakých funkčních bloků se skládá servomotor?
- 5 Jaký typ snímače polohy je zpravidla použit v servomotoru?
- 6 Jakým způsobem se řídí pohyb servomotoru?
- 7 Uvedte porovnání servomotoru a krokového motoru.

## Seznam zkratk

PWM	pulzně šířková modulace
AC motor	střídavý motor
DC motor	stejnoseměrný motor

## Rejstřík

enkodér, 5  
moment, 1  
    kroutící, 1  
    setrvačnosti, 1  
motor, 1

- inteligentní, 1
- krokový, 1
- stejnoseměrný, 1
- střídavý, 1
- ovladač, 3
- převodovka, 1
- rotor, 3
- senzor, 1
  - polohy, 1
- servomotor, 1, 2, 5
  - stejnoseměrný, 2
  - střídavý, 2
- servozesilovač, 1
- stator, 3
- výkon, 5
  - mechanický, 5

# Prostředky automatického řízení

## Téma 10: Pneumatika, pneumatické akční členy

### Studijní cíl

Seznámit studenty se strukturou pneumatického systému, s jeho strukturou a stavebními pneumatickými prvky.

### Doba nutná k nastudování

2 hodiny

### Klíčová slova

Pneumatický systém, hydraulický systém, motor, kompresor, filtrace, pneumatický ventil, hydraulický ventil, aktuátor, chladič

## 1 Co je to pneumatický systém?

Pneumatika patří do okruhu mechanických zařízení, které k provádění výrobních operací využívá atmosférický, nebo stlačený vzduch. Pneumatický systém tvoří propojení různých komponent, mezi které patří kompresory, chladiče vzduchu, pneumatické regulátory a pohony, které přeměňují tlakovou energii stlačeného vzduchu na mechanickou práci.



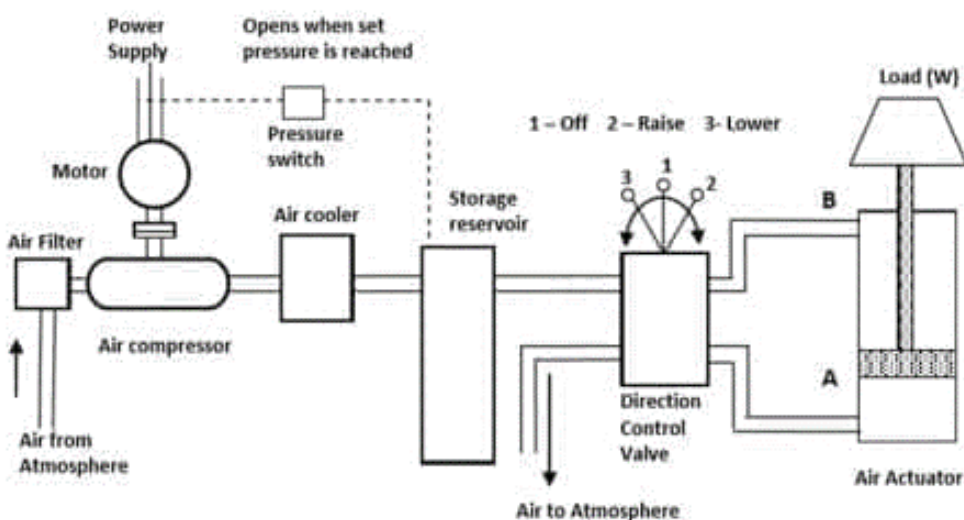
Obr. 1 – Příklad pneumatického dopravního systému (Carolyn, 2024)



Pneumatické systémy se používají v případech, kde lidská síla a přesnost již nestačí. V současnosti jsou pneumatické systémy hojně využívány v různých průmyslových odvětvích k realizaci automatizace různých procesů. Je nasazována tam, kde je potřeba manipulovat s těžkými břemeny, nebo pracovat se zvýšenou přesností pohybů. Dalším aspektem automatizace je zkrácení doby výrobních operací. Některé z nejběžnějších aplikací pneumatických systémů jsou například vzduchové brzdy, pneumatická ramena, pneumatické tryskání kabelů a pneumatické tlumiče. (Kumar, 2024)

## 2 Součásti pneumatického systému

Základní blokové schéma pneumatického systému je uvedeno níže.



Obr. 2 – Pneumatický systém (Kumar, 2024)

### 2.1 Vzduchové filtry

Vzduch obsahuje různé nečistoty, jako jsou pylová zrna, prachové částice, saze atd. Tyto nečistoty je třeba ze vzduchu odstranit, než se dostane do pneumatického okruhu.

Proto se používá vzduchový filtr, aby se zabránilo vniknutí těchto nečistot do pneumatického okruhu. Vzduchový filtr je vláknitý nebo porézni materiál, který zachycuje pevné částice a umožňuje průchod vzduchu.

Může také obsahovat nějaký absorpční materiál, jako je dřevěné uhlí, které absorbuje částice znečišťujících plynů a saze. (Kumar, 2024)

### 2.2 Vzduchový kompresor

Vzduchový kompresor je zařízení sloužící ke generování stlačeného vzduchu.

Obecně se v pneumatických systémech používají vzduchové kompresory s axiálním prouděním. Tyto kompresory mají rotující lopatky - oběžná kola, která jsou roztáčena pomocí elektromotoru.

Oběžné kolo vytváří podtlak, který nasává vzduch přes vzduchový filtr. Tlak vzduchu na výstupu z oběžného kola je větší než atmosférický tlak.

Poměr výstupního tlaku k tlaku na vstupu kompresoru se nazývá kompresní poměr. Kompresní poměr se liší podle účelu použití.



**Obr. 3 – Vzduchový kompresor (Carolyn, 2024)**

### 2.3 Motor

K chodu kompresoru v pneumatickém systému se používá vhodný motor.

Výkon motoru závisí na velikosti kompresoru a výkonu potřebném pro provoz kompresoru. Motor je přímo připojen k napájecímu zdroji. (Kumar, 2024)

### 2.4 Vzduchový chladič:

Teplota vzduchu se zvyšuje, když je vzduch stlačen v kompresoru. Tento horký vzduch není vhodný pro další provoz. Proto je důležité ochladit horký vzduch vycházející ze vzduchového kompresoru. Chlazení vzduchu je zajištěno vzduchovým chladičem.

Hlavním cílem vzduchového chladiče je snížit teplotu a obsah vlhkosti ve vzduchu vycházejícím ze vzduchového kompresoru.

Existují dva typy běžně používaných vzduchových chladičů:

- Vzduchem chlazený vzduchový chladič.
- Vodou chlazený vzduchový chladič.

U vzduchem chlazeného vzduchového chladiče je horký vzduch uzavřen v trubkách a pomocí ventilátoru je na něj vháněn studený vzduch, který odvádí teplo od horkého vzduchu bez snížení tlaku.

Zatímco v případě vodou chlazeného chladiče vzduchu dochází k výměně tepla nepřímým kontaktem mezi horkým vzduchem z kompresoru a studenou vodou.

Mnohem nižší teplotu lze dosáhnout vodou chlazeným vzduchovým chladičem než vzduchem chlazeným vzduchovým chladičem. Protože studená voda je k dispozici ve velkém množství, vodou chlazené vzduchové chladiče jsou nákladově efektivní a rychlé. (Kumar, 2024)

## 2.5 Zásobník

Zásobník je vzduchová tlaková nádoba používaná k uchování stlačeného vzduchu pod vysokým tlakem.

Toto akumulární zařízení zajišťuje plynulý přísun stlačeného vzduchu a eliminuje výkyvy způsobené aktuální spotřebou tlakového vzduchu.

Akumulární nádrže hrají důležitou roli v pneumatických systémech, protože zajišťují rychlou reakci na požadavky uživatelů. Akumulární nádrže mohou skladovat suchý i mokrý vzduch v závislosti na poptávce.

Zásobník musí být robustní konstrukce a jejich plášť musí mít vysokou pevnost v tahu. Běžně používanými materiály pro skladovací nádrže jsou tedy měkká ocel, hliník, uhlíková a nerezová ocel.

Akumulární nádrže se vyrábějí rozdělené na několik částí. Každý díl je nejprve upraven na požadovaný rozměr. Tyto díly se pak montují svařováním a ohýbáním. (Kumar, 2024)

## 2.6 Jednotka FRL

Plná forma FRL je "filtr, regulátor a maznice", tyto tři se obecně používají jako jedna jednotka v pneumatickém systému, ale lze je použít i jako různé jednotlivé jednotky.



Obr. 4 – Pneumatické maznice (Carolyn, 2024)

FRL je důležitou součástí pneumatického systému, protože snižuje ztráty a zvyšuje účinnost systému. Tři základní funkce jednotky FRL jsou následující.

K odfiltrování odpadních vod, nečistot a nečistot ze vzduchu vycházejícího ze zásobní nádrže. To provádějí podatelé a je to obecně první krok v jednotce FRL.

Druhou funkcí jednotky FRL je regulovat tlak a omezit jeho překročení horní hranice. To se provádí pomocí regulátoru tlaku. Regulace tlaku je důležitým krokem, protože zabraňuje poškození systému a také snižuje nežádoucí ztráty způsobené vysokým tlakem.

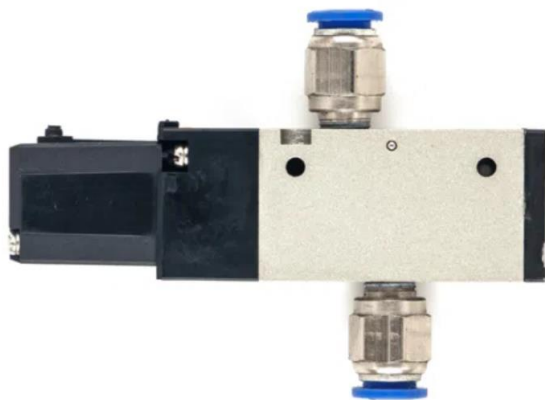
Posledním stupněm jednotky FRL je mazání vzduchem. Ve vzduchu se mazání provádí smícháním tenké mlhy oleje nebo jiných maziv do stlačeného vzduchu. To se obvykle provádí po filtraci a regulaci. Tento mazaný vzduch snižuje tření mezi pohyblivými částmi pneumatického systému a tím snižuje ztráty energie a zvyšuje životnost zařízení.

Pokud by jednotka FRL nebyla přítomna v pneumatickém systému, snížila by životnost systému, zvýšila by spotřebu energie a snížila účinnost systému. (KUMAR, A., 2024)

## 2.7 Směrový regulační ventil

Směrové regulační ventily jsou nejdůležitějším zařízením používaném v pneumatickém systému. Směrové regulační ventily nebo DVC se používají k řízení směru a množství vzduchu vstupujícího do pohonů.

Ventily přenášejí tlakovou energii vzduchu na pohony podle povelu vydaného obsluhou. Obecně používaným ventilem v pneumatickém systému je elektromagnetický ventil, někdy také známý jako šoupátkový ventil. (Kumar, 2024)



Obr. 5 – Pneumatický ventil (Carolyn, 2024)

Tyto ventily jsou ovládány působením elektromagnetické cívky spojené s elektromagnetem.

## 2.8 Pneumatické aktuátory

Aktuátory jsou zařízení, které přeměňují tlakovou energii média na mechanický pohyb. V případě pneumatického pohonu je použitým médiem vzduch.

Aktuátory jsou zařízení, ze kterých získáváme mechanický pohyb.



**Obr. 6 – Pneumatický aktuátor (Carolyn, 2024)**

V průmyslu se používá mnoho typů pohonů. Pohony lze rozdělit na základě tvaru dráhy pohybu, který umožňují realizovat. (Kumar, 2024)

- Lineární aktuátory
- Jednočinné válce
- Dvojčinné válce
- Otočné pohony
- Lopatkový typ
- Typ s ozubeným hřebenem a pastorkem



**Obr. 7 – Lineární aktuátor (Carolyn, 2024)**

### 3 Pneumatický okruh

Vzduch přichází do kompresoru přes vzduchový filtr v důsledku podtlaku generovaného lopatkami kompresoru. Vzduch je odfiltrován ve vzduchovém filtru a poté jde do kompresoru. Stlačený vzduch pak vstupuje do vzduchového chladiče, kde se snižuje teplota vzduchu, aby se zlepšila účinnost systému. Tento stlačený studený vzduch se pak ukládá do zásobního zásobníku, aby byl vzduch snadno dostupný.

Vzduch pak vstupuje do jednotky FRL, kde je znovu filtrován, je regulován tlak a je přidáváno trochu oleje pro mazání vzduchu.

Z jednotky FRL jde vzduch do směrového regulačního ventilu, kam je vzduch posílán podle akce uživatele.

Z DCV vzduch nakonec vstupuje do aktuátoru, kde se tlaková energie přeměňuje na mechanickou práci. (Kumar, 2024)

### 4 Rozdíly mezi hydraulickým a pneumatickým systémem

Tab. 1 – Porovnání pneumatického a hydraulického systému (Kumar, 2024)

<b>Pneumatický systém</b>	<b>Hydraulický systém</b>
Pneumatický systém používá jako pracovní tekutinu vzduch.	Hydraulický systém používá jako pracovní kapalinu olej.
Jedná se o systém s otevřenou smyčkou.	Jedná se o systém s uzavřenou smyčkou.
Konstrukce pneumatických systémů je jednoduchá.	Konstrukce hydraulického systému je složitá.
Náklady na pneumatický systém jsou nízké	Náklady na hydraulický systém jsou vysoké
Tlak v systému je nízký, proto je velikost malá.	Vnitřní tlak systému je vysoký, proto je velikost větší.
Přesnost je menší.	Přesnost je vysoká.
Vzduch uvnitř systému není hořlavý.	Olej uvnitř systému je hořlavý.
Systém snadno nekoroduje.	Systém snadno koroduje.
Poměr výkonu k velikosti je menší.	Poměr výkonu k velikosti je větší.

#### 4.1 Výhody pneumatického systému

- Použité médium, vzduch, je k dispozici neomezeně.
- Pracovní médium je nehořlavé.
- Je nezávislý na venkovní teplotě.
- Systém je bezpečný a čistý.
- Generuje okamžitou mechanickou práci.
- Problémy s korozí jsou zanedbatelné.

#### 4.2 Nevýhody pneumatického systému

- Systém je hlučný.
- V systému často dochází k netěsnostem.
- Nízký poměr výkonu a hmotnosti.
- Vždy náchylné k prachu a nečistotám.
- Vhodné pouze pro nízkotlaké aplikace.

### 5 Aplikace pneumatického systému

Pneumatické systémy mají v současnosti široké uplatnění. Některé z hlavních okruhů aplikací pneumatických systémů jsou:

- Automatizace výrobních linek.
- Ovládání dveří vlaků metra a železničních vozidel.
- Lékařské přístroje.
- Myčky automobilů.
- Pohon pneumatických brzd.

## BPAR cvičení č. 10

### Název úlohy: PWM generátor, převodník U/PWM a PWM/U

#### Zadání úlohy

V této úloze provedete návrh a realizaci zapojení pulzně-šířkového generátoru (PWM) řízeného napětím. PWM generátor se používá například pro buzení výkonových obvodů určených k ovládání akčních členů v obvodech automatizační techniky. PWM signál lze také použít pro přenos informací po komunikační sběrnici, nebo jako AD převodník. PWM signál lze následně převést zpět na stejnosměrné napětí, připojením dolnofrekvenční propusti na jeho výstup. Dostaneme tak převodník DA. Návrh časových konstant frekvenčně závislých prvků převodníku je nutné volit s ohledem na použitou frekvenci PWM signálu.

#### V rámci této úlohy se seznámíte a procvičíte si

- schéma zapojení PWM generátoru s využitím operačních zesilovačů.
- realizaci zapojení PWM generátoru jako budiče akčních členů.
- zapojení, realizaci a měření parametrů převodníku PWM/U.
- zapojení dolnofrekvenčního filtru s použitím kaskádního zapojení RC článků.
- měření veličin pomocí osciloskopu.

---

*Vždy se snažte porozumět danému zapojení elektronického obvodu. V případě, že máte za úkol průběhy příslušných veličin ověřit teoretickým výpočtem, proměřením dané části zapojení, uveďte tento postup s patřičným komentářem, výpočtem a zdůvodněním do protokolu.*

---

#### Zadání úkolů úlohy a doporučený postup řešení

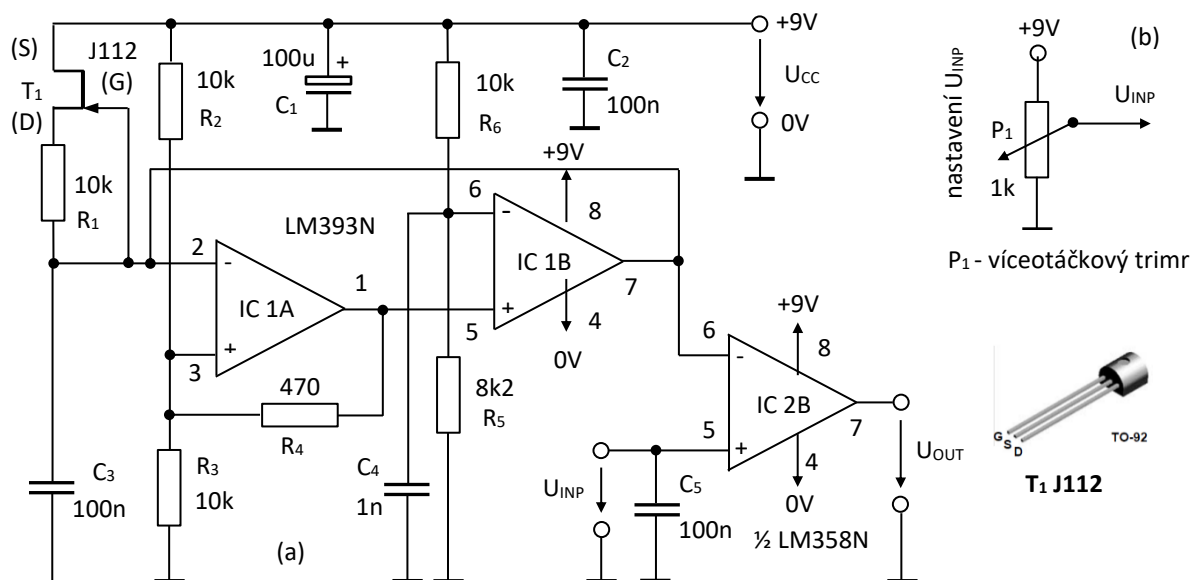
- Podle schématu zapojení PWM generátoru (převodníku U/PWM a PWM/U) z obr. 1a a 2, zapojte příslušný elektronický obvod na nepájivém poli. Realizaci provádějte až po důkladném prostudování zapojení a pochopení funkce elektronického obvodu a pečlivé samostatné přípravy na řešení této úlohy (případné výpočty velikostí neznámých elektronických součástek a uzlů, kde bude prováděno měření).
- Obě zapojení realizujte zároveň, do jednoho obvodu, pro možnost současného měření obou charakteristik.
- Změřte převodní (statickou) charakteristiku generátoru PWM signálu a převodníku PWM/U. Sestrojte funkční závislosti  $D=f(U_{IN})$ ,  $U_{OUT}=f(D)$  a  $U_{OUT}=f(U_{IN})$  v podobě grafů, použijte software tabulkového procesoru Excel. Pro záznam naměřených a vypočtených veličin použijte předpřipravenou tab. 1. Pro generování vstupního napětí použijte obvod zapojený podle schématu na obr. 1b.
- Bezchybnou činnost realizovaného zapojení předvedte vyučujícímu.



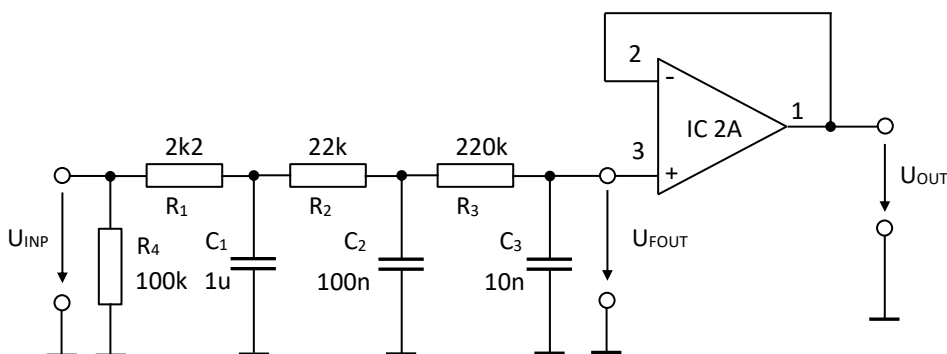
- Přílohou protokolu budou soubory v elektronické podobě ve formátu \*.doc, \*.xls.
- Protokol musí obsahovat seznam použitých přístrojů a použitých součástek použitých v laboratorní úloze.
- Při zpracování protokolu postupujte v souladu s doporučeným postupem probíraným v rámci výuky předmětu!

### Upozornění

Před připojením obvodu ke zdroji napětí a jeho ožíváním, nastavte hodnotu proudového omezení zdroje na téměř nejnižší možnou hodnotu (cca 50mA) a až následně, po vyloučení zkratu v zapojeném obvodu, proudové omezení napěťového zdroje pomalu zvyšujte. **Uvedený postup připojování napájecího zdroje používejte vždy, při zapojování, ožívání a laborování s elektronickými obvody!**



Obr. 1 – (a) Zapojení obvodu PWM generátoru ( $U/PWM$ ), (b) generování měřicího napětí (zdroj autor)

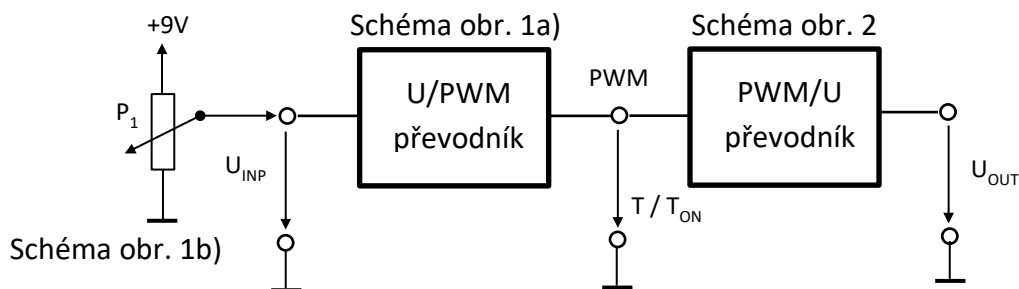


Obr. 2 – Zapojení převodníku PWM/U (zdroj autor)

### Poznámka

Elektronické obvody jsou napájeny ze zdroje stejnosměrného napětí +9V. Po nastavení tohoto napětí na regulovatelném zdroji vašeho pracoviště a zahájení měření parametrů obvodu již toto napětí neměňte! Velikost napájecího napětí uveďte do protokolu.

### Zapojení měřicího pracoviště



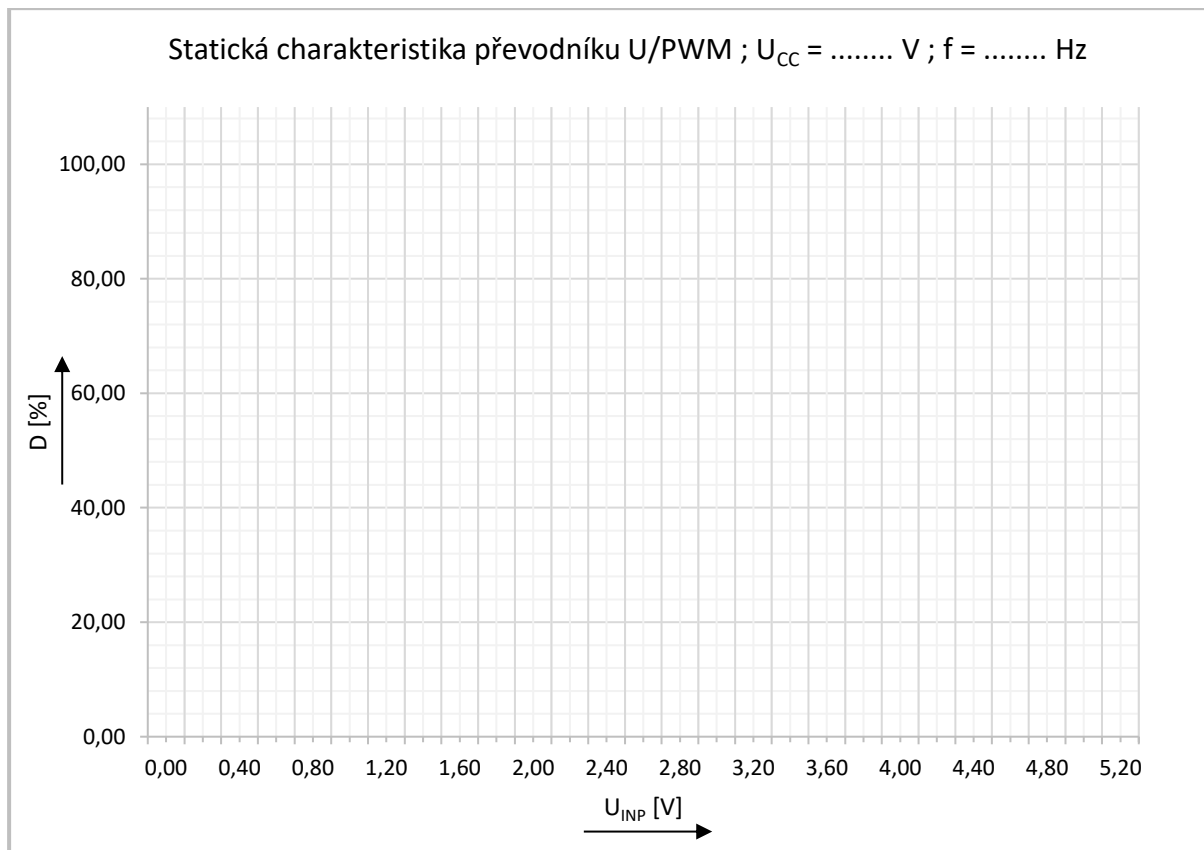
**Obr. 3 – Měření statické charakteristiky PWM generátoru (U/PWM převodník) a převodníku PWM/U (zdroj autor)**

Vstupní a výstupní napětí měřte digitálním měřicím přístrojem a periodu  $T$  a časový úsek  $T_{ON}$  průběhu PWM signálu osciloskopem!

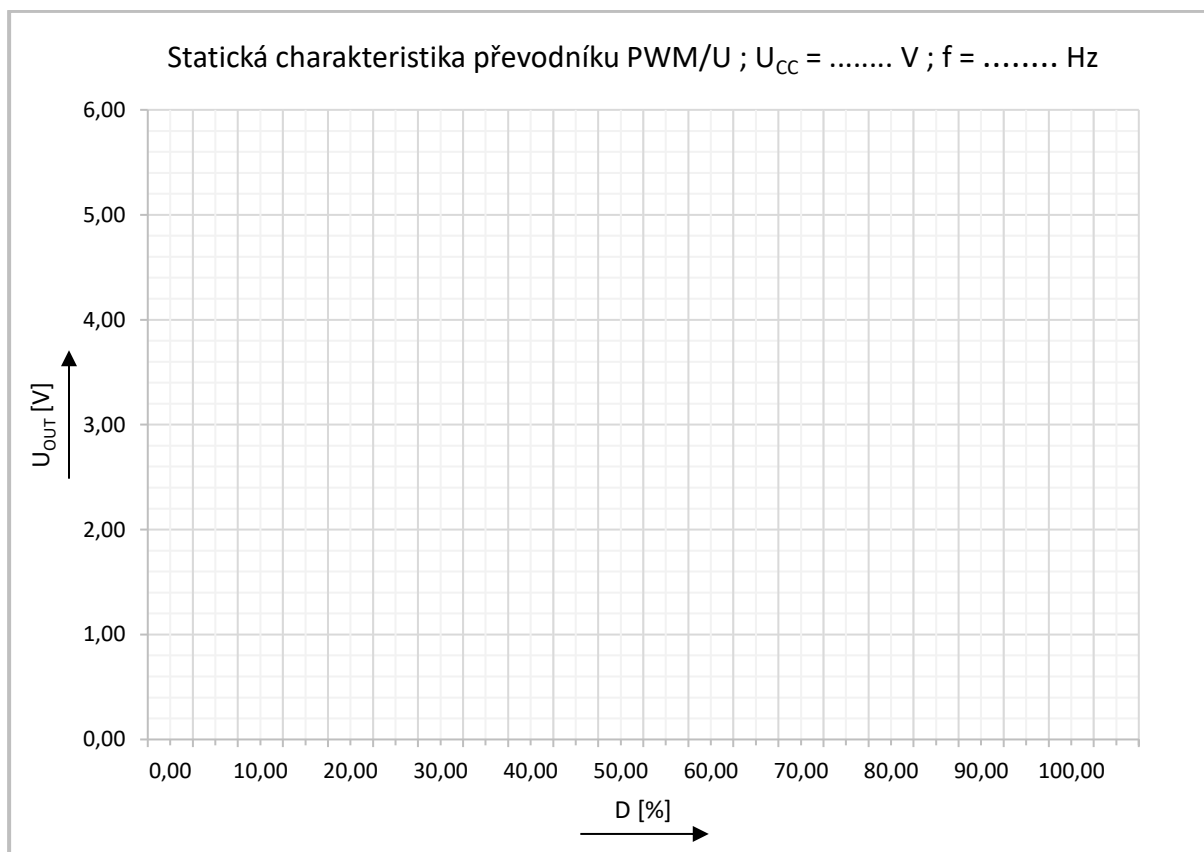
**Tab. 1 – Statická charakteristika generátoru PWM signálu (převodníku U/PWM) a převodníku PWM/U**

$U_{INP}$ [V]	$T$ [mS]	$T_{ON}$ [mS]	$D$ [%]	$U_{OUT}$ [V]
0,00				
0,20				
0,40				
0,60				
0,80				
1,00				
1,20				
1,40				
.....				
.....				
.....				
.....				
4,40				
4,60				
4,80				
5,00				

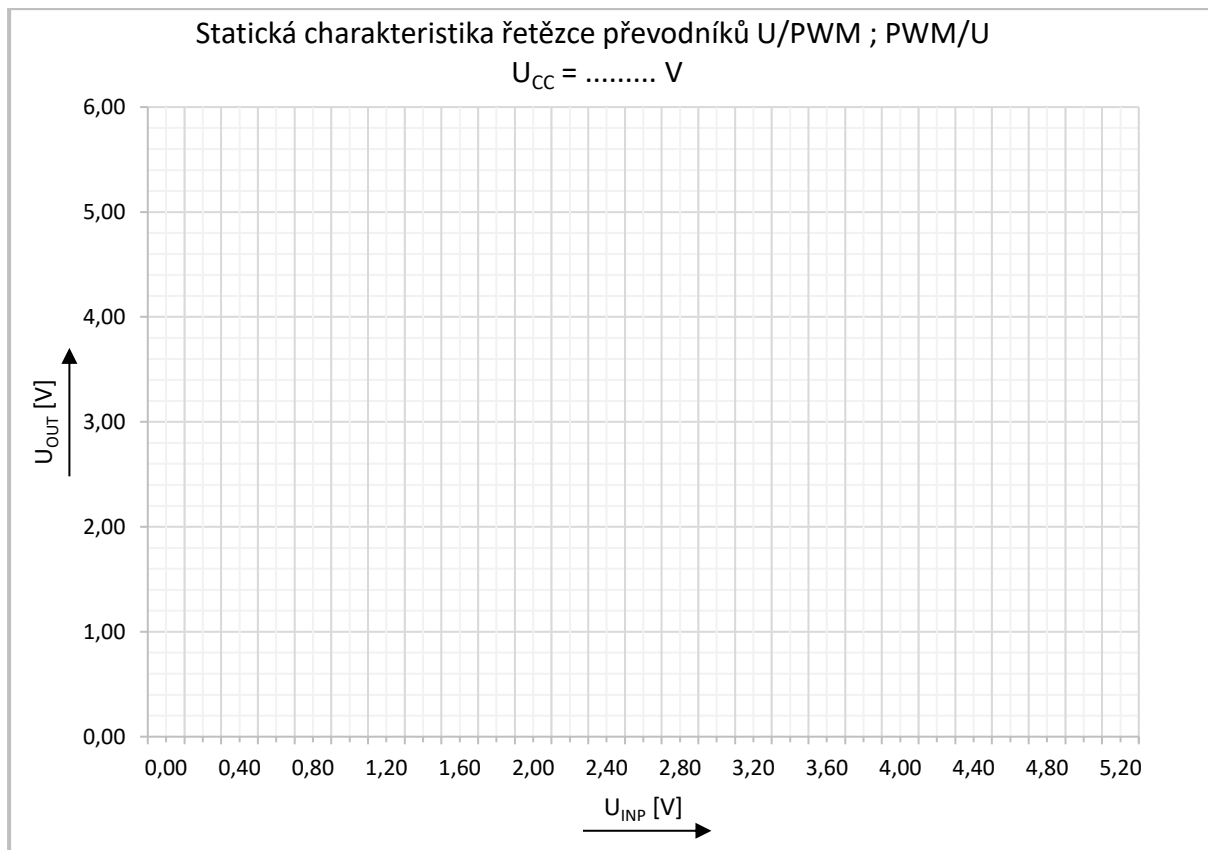
Grafické zpracování naměřených hodnot je uvedeno na obr. 4 až 6.



**Obr. 4 – Statická charakteristika převodníku U/PWM (vytvořeno v Excel)**



**Obr. 5 – Statická charakteristika převodníku PWM/U (vytvořeno v Excel)**



**Obr. 6 – Statická charakteristika řetězce převodníků U/PWM a PWM/U (vytvořeno v Excel)**

### Samostatná příprava

1. Proveďte stažení příslušné technické dokumentace k použitým součástkám úlohy.
2. Prostudujte dokumentaci k použitým elektronickým součástkám realizace úlohy.
3. Prostudujte charakteristické vlastnosti signálu *PWM*. Sestavte vzorce pro výpočet hodnot veličin *D* a *U<sub>OUT</sub>*.
4. Proveďte podrobnou analýzu obvodového zapojení úlohy.
5. Odhadněte chování výstupního dolnofrekvenčního filtru v zapojení převodníku PWM/U.
6. Překreslete obvodová schémata do pracovního sešitu.
7. Připravte si tabulky v prostředí Excel pro záznam měření a sestavení grafů statické charakteristiky.

### Otázky k procvičení

1. Nakreslete zapojení PWM generátoru a vysvětlete jeho funkci.
2. Co vyjadřuje parametr „*D*“ u PWM signálu.
3. Nakreslete zapojení dolnofrekvenční propusti bez a s operačním zesilovačem.
4. Co je to pásmo propustnosti filtru?
5. Jaký je sklon AFCH použitého filtru převodníku PWM/U?

## 6 Použitá literatura

KUMAR, Amrit. *Pneumatic System* [online]. [cit. 27. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://themechanicalengineering.com/pneumatic-system/>

CAROLYN, Lin. *What Are Pneumatic Components* [online]. [cit. 27. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://pneumaticmfg.com/blog/pneumatic-components-and-their-functions/>

## 7 Otázky k procvičení

- 1 Jaký je rozdíl mezi pneumatickým a hydraulickým systémem?
- 2 Jaké jsou komponenty pneumatického systému?
- 3 Jaké zařízení je zdrojem tlakového vzduchu?
- 4 Jak funguje pneumatický ventil?

## Seznam zkratk

GUI grafické uživatelské rozhraní

AFCH amplitudově frekvenční charakteristika

PWM pulzně šířková modulace

FRL filtr, regulátor, maznice

## Rejstřík

akumulační nádrž, 4

automatizace, 2

chladič, 1

kompresor, 1, 3

pneumatický okruh, 2

pneumatický systém, 3, 5

pneumatika, 1

    pohon, 1

    regulátor, 1

stlačený vzduch, 1, 3

tlaková nádoba, 4

tlumič, 2

    pneumatický, 2

ventil, 5

    regulační, 5

    směrový, 5

vzduch, 6

vzduchový filtr, 2, 3  
vzduchový chladič, 4  
vzduchový kompresor, 3

# Prostředky automatického řízení

## Téma 11: Hydraulika, hydraulické akční členy

### Studijní cíl

Seznámit studenty s hydraulickými technickými prostředky automatizace.

### Doba nutná k nastudování

2 hodiny

### Klíčová slova

Hydraulika, akční člen, hydraulická kapalina, hydraulický akční člen, zdroj, píst, komora

## 1 Hydraulika, hydraulický pohon

Pohonná jednotka stroje je zpravidla elektrická, která se ovládá přímo elektrickými signály a elektronickými obvody s výstupem, s nějakou elektrickou veličinou. Většinou se jedná o napětí nebo proud. Tyto elektrické signály zajišťují ovládání funkcí stroje. Každý typ pohonu ke své činnosti potřebuje nějaký zdroj energie. Pokud budeme nahlížet obecně na zdroj energie, potom může být tímto zdrojem nejen elektrická energie, ale i například lidská síla, síla hydraulické kapaliny, nebo pneumatické síly vzduchu. Hlavním úkolem pohonu je přeměna energie zdroje na mechanický pohyb. K dispozici jsou různé typy elektrických pohonů, jako jsou elektrické, hydraulické, pneumatické, mechanické, nebo tepelné pohony. Zaměříme se nyní na hydraulický pohon a jeho práci s akčními členy.



**Obr. 1 – Hydraulický pohon (Electronics Coach, 2024)**

Podstatou hydraulického pohonu je, že využívá přeměnu tlakové energie kapaliny na energii mechanickou. Základem hydraulického pohonu je válec, nebo kapalinový motor, který pracuje

s hydraulickou silou a převádí ji na mechanický pohyb. Mechanický pohyb může být ve formě rotačního, lineárního nebo oscilačního pohybu.



**Obr. 2 – Hydraulický pohon (CINA CILINDRI, 2024)**

Protože je hydraulická kapalina téměř nestlačitelná, je hydraulický pohon schopen vyvinout velkou sílu. Princip činnosti hydraulického pohonu spočívá v tom, že k práci používá tlak kapaliny namísto tlakového vzduchu, který působí tlakovou silou na membránu, spojenou s pohonem ventilu a tím měnil zdvih dříku polohového ventilu. U hydraulických pohonů se používá namísto membrány píst, který přeměňuje změnu tlaku kapaliny na mechanickou sílu.

### 1.1 Typy hydraulických pohonů

Hydraulické pohony se rozdělují do tří typů, podle generovaného pohybu. Je to lineární, rotační a oscilační rotační pohon.

1. Pro lineární ovládání se používá lineární pohon. Poskytují sílu nebo pohyb v přímce, takové hydraulické pohony se nazývají hydraulické válce.
2. K rotačnímu ovládání se používá rotační pohon. Poskytují točivý moment nebo rotační pohyb; Takové hydraulické pohony se nazývají hydromotory. Použitím těchto pohonů lze dosáhnout konstantního úhlového pohybu.
3. Oscilační (kývavý) pohon se používá pro částečný úhlový pohyb. Tyto pohony jsou schopné částečných úhlových pohybů, které mohou být i úplnými otáčkami, i když obvyklejší je pohyb, který nepřesahuje 360 stupňů, spíše je menší.

### 1.2 Parametry elektrohydraulického pohonu.

Ovládací jednotka hydraulického motoru je řízena elektrickými signály, které ovládají hydraulickou část mechanické konstrukce hydromotoru, obvykle s následujícími parametry:

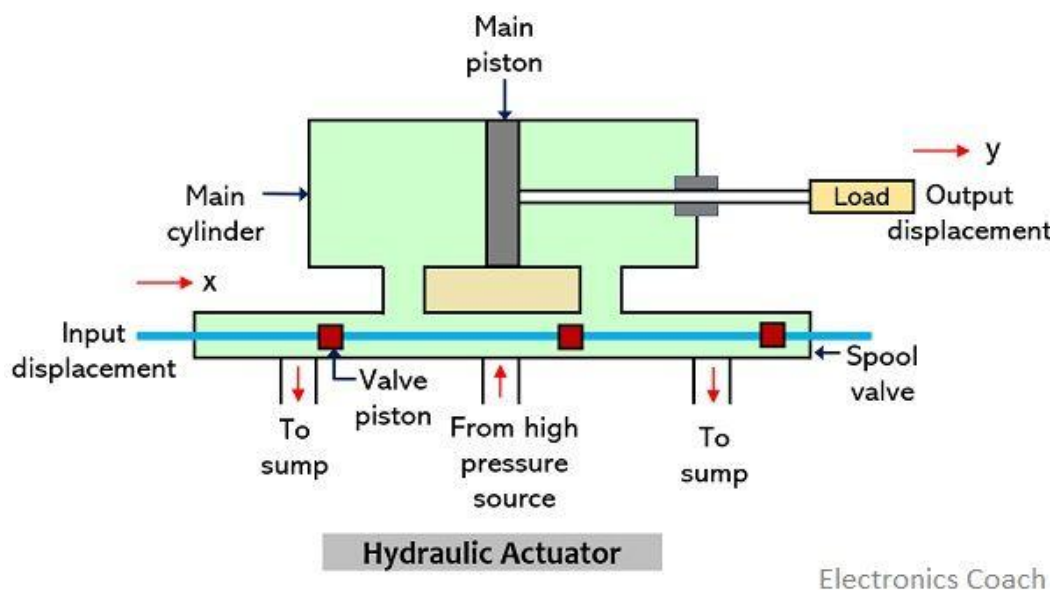
- napájecí napětí, které je obvykle  $24\text{ V} \pm 10\%$
- Bateriové napájecí napětí může být od  $20\text{ V}$  do  $36\text{ V}$
- Příkon je max.  $40\text{ VA}$
- Řízené proudové výstupy v rozsahu  $0$  do  $1,6\text{ A}$



- Pulzně šířkově modulovaný signál s kmitočtem 160 Hz
- Pracovní proud je + 0,2 až 1,1 A
- Maximální proud je 1,6 A
- Ovládací napětí je 0 až ± 10 V, nebo proud 0 až ± 20 mA
- Doba náběhu se mění přibližně od 1 do 10 sekund @ 100 % jmenovité hodnoty
- Přípustná okolní teplota se pohybuje od – 10 °C do 70 °C
- Připojení jsou Konektor 64-pólový a DIN 41612

### 1.3 Princip hydraulického pohonu

Schéma systému hydraulického pohonu je uvedeno níže.



Obr. 3 – Hydraulický akční člen (Electronics Coach, 2024)

### 1.4 Princip práce hydraulické pohonu

Hydraulický systém využívá Pascalův zákon, který říká, že tlak vyvolaný vnější silou, která působí na povrch tekutiny v uzavřené nádobě, je v každém místě kapalného tělesa stejně velký, a to ve všech směrech. Pokud je tlak  $P$  působí na plochu  $A$ , pak síla  $F$  bude:

$$F = P A \quad (1)$$

Řízení hydraulického pohonu může být provedeno vytvořením rozdílu v tlaku ve dvou komorách hlavního válce, tím dojde k translačnímu pohybu pístu. Hlavní válec obsahuje dvě dutiny a dvě komory, které se vytvoří rozdělením hlavního válce hlavním pístem.

Rychlost přívodu kapaliny do válce lze regulovat polohou šoupátkového ventilu. Tento ventil obsahuje čtyři vstupy, kde každý vstup může být připojen k jiné části hydraulického obvodu. První dva samostatné vstupy jsou připojeny k odtokové části a přívodu kapaliny, zatímco další dva vstupy jsou připojeny samostatně ke dvěma komorám v hlavním válci.

Nejprve je šoupátkový ventil přítomen v neutrální poloze, takže v hlavním válci nedochází k proudění tekutiny. Podle toho, jakým směrem se bude pohybovat v hydraulickém pohonu kapalina, tak se bude pohybovat i píst. Platí, že když je vstupní posun (0), pak výstupní posun bude také (0).

Jakmile je dán pokyn k posunu, šoupátkový ventil se začne pohybovat doprava, což způsobí, že se kapalina pohybuje z vysokotlakého zdroje do levé boční komory v hlavním válci. Síla působící na levou komoru ve válci se tedy zvyšuje, tím vznikne síla, která způsobí pohyb pístu.

## 1.5 Výhody a nevýhody hydraulického pohonu

Mezi výhody hydraulického pohonu patří následující:

- Jednoduchý design
- Je levný
- Robustní konstrukce
- Schopnost produkovat vysoké síly
- Ochrana motoru před jeho přetížením
- Rotující části umožňují rychlou změnu provozních režimů.
- Tyto pohony generují 25krát větší síly ve srovnání s pneumatickými válci stejné velikosti.
- Pracují do velikosti tlaků cca až do 4 000 psi.
- Mohou udržet stabilní tlak a točivý moment
- Čerpadla a motory v pohonu mohou být uspořádány na značnou vzdálenost díky malé ztrátě výkonu.

Nevýhody hydraulického pohonu zahrnují následující:

- Vysoké nároky na údržbu
- Možnosti částečného řízení pohybu
- Nedostatečné možnosti monitorování stavu pohybu
- Ke své činnosti potřebuje další části hydraulického rozvodu energie, jako je zásobník kapaliny, čerpadlo, motor, výměníky tepla a přetlakové ventily a zařízení pro snížení provozního hluku.
- Netěsnost hydraulického systému může vést ke snížení účinnosti a hygienicky závadnému provozu, což může vést k možnému poškození okolních součástí a prostorů.

## 1.6 Aplikace hydraulického systému

Mezi aplikace hydraulických pohonů patří zejména aplikace vyžadující značnou sílu:

- Používají se pro různé aplikace z okruhu stavebních strojů, kterými jsou pohony jeřábů, navijáků, samohybných jeřábů, rypadel, kolových vojenských vozidel, pohony podavačů materiálu, pohony míchadel různých médií s vysokou hustotou.

- Míchačky, válcové mlýny, bubnové pohony pro fermentory, ovládání brzd pro automobily, drtiče použitých pneumatik, vrtné soupravy, vysoce výkonné vyžínače trávy a rýhovačky.
- Hydraulický zvedák
- Vysoce přesné polohování těžkých břemen
- Hydraulické brzdy
- Hydraulický píst
- Může být použit opačně, jako senzor

(ELPROCUS, 2024)

## BPAR cvičení č. 11

### Název úlohy: Napětím řízený generátor – VCO

#### Zadání úlohy

V této úloze provedete návrh a realizaci zapojení generátoru řízeného napětím – „VCO“. VCO generátor je vlastně převodník napětí na frekvenci. Používá se například pro převod signálu generovaného snímačem měřené neelektrické veličiny. Konkrétně se může jednat o transformaci výstupního signálu úhlového (nebo lineárního) potenciometrického snímače polohy, na změnu kmitočtu. Tím je možno zajistit bezztrátový přenos signálu. Společně se zapojením převodníku frekvence na napětí tak může realizovat přenosový řetězec informace o poloze. Svou charakteristikou zapadá tento převodník do kategorie číslicového zpracování a přenosu signálu.

#### V rámci této úlohy se seznámíte a procvičíte si

- schéma zapojení převodníku U/F s využitím operačních zesilovačů.
- realizaci zapojení převodníku U/F.
- zapojení, realizaci a měření parametrů převodníku U/F.
- měření veličin pomocí DMM a osciloskopu.

---

*Vždy se snažte porozumět danému zapojení elektronického obvodu. V případě, že máte za úkol průběhy příslušných veličin ověřit teoretickým výpočtem, proměřením dané části zapojení, uveďte tento postup s patřičným komentářem, výpočtem a zdůvodněním do protokolu.*

---

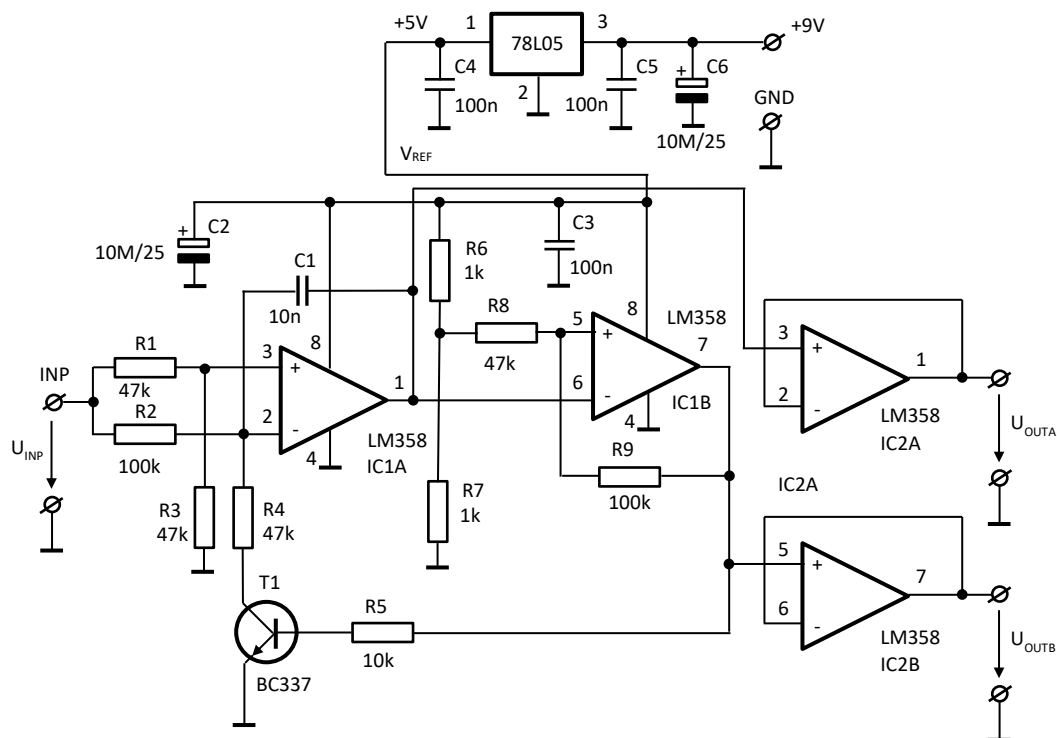
#### Zadání a doporučený postup řešení

- Podle schématu zapojení VCO generátoru (převodník U/F) z obr. 1. zapojte příslušný elektronický obvod na nepájivém poli. Realizaci provádějte až po důkladném prostudování zapojení a pochopení funkce elektronického obvodu a pečlivé samostatné přípravy na řešení této úlohy (případné výpočty velikostí neznámých hodnot elektronických součástek a uzlů, kde bude prováděno měření).
- Změřte převodní (statickou) charakteristiku VCO generátoru. Sestrojte graf funkce  $F=f(U_{IN})$  v prostředí software „Excel“. Pro záznam naměřených veličin použijte předpřipravenou tab. 1. Pro generování vstupního napětí použijte víceotáčkový odporový trimr, zapojený do vstupu převodníku podle schématu na obr. 2.
- Proveďte výpočet teoretického, lineárního, průběhu převodní charakteristiky U/F převodníku. Výsledky výpočtu zaznamenejte do tab. 1 a z vypočtených dat sestrojte v software Excel převodní charakteristiku. Pro zobrazení grafu převodní charakteristiky stanovené výpočtem použijte již vytvořený graf z předchozího bodu zadání.

- Bezchybnou činnost realizovaného zapojení a zpracovaná data ve formě tabulek a grafů předvedte vyučujícímu.
- Přílohou protokolu budou soubory v elektronické podobě ve formátu \*.doc, \*.xls.
- Protokol musí obsahovat seznam použitých přístrojů a použitých součástek použitých v laboratorní úloze.
- Při zpracování protokolu postupujte v souladu s požadavky na jeho zpracování, specifikovanými v rámci výuky předmětu!

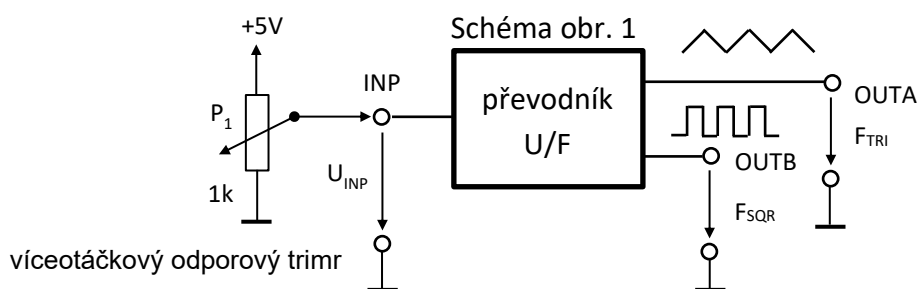
### Upozornění

Před připojením obvodu ke zdroji napětí a jeho ožíváním, nastavte hodnotu proudového omezení zdroje na téměř nejnižší možnou hodnotu (cca 50 mA) a až následně, po vyloučení zkratu v zapojeném obvodu, proudové omezení napěťového zdroje pomalu zvyšujte.



Obr. 1 – Schéma zapojení převodníku U/F (zdroj autor)

### Zapojení měřicího pracoviště



Obr. 2 – Schéma zapojení měřicího pracoviště (zdroj autor)

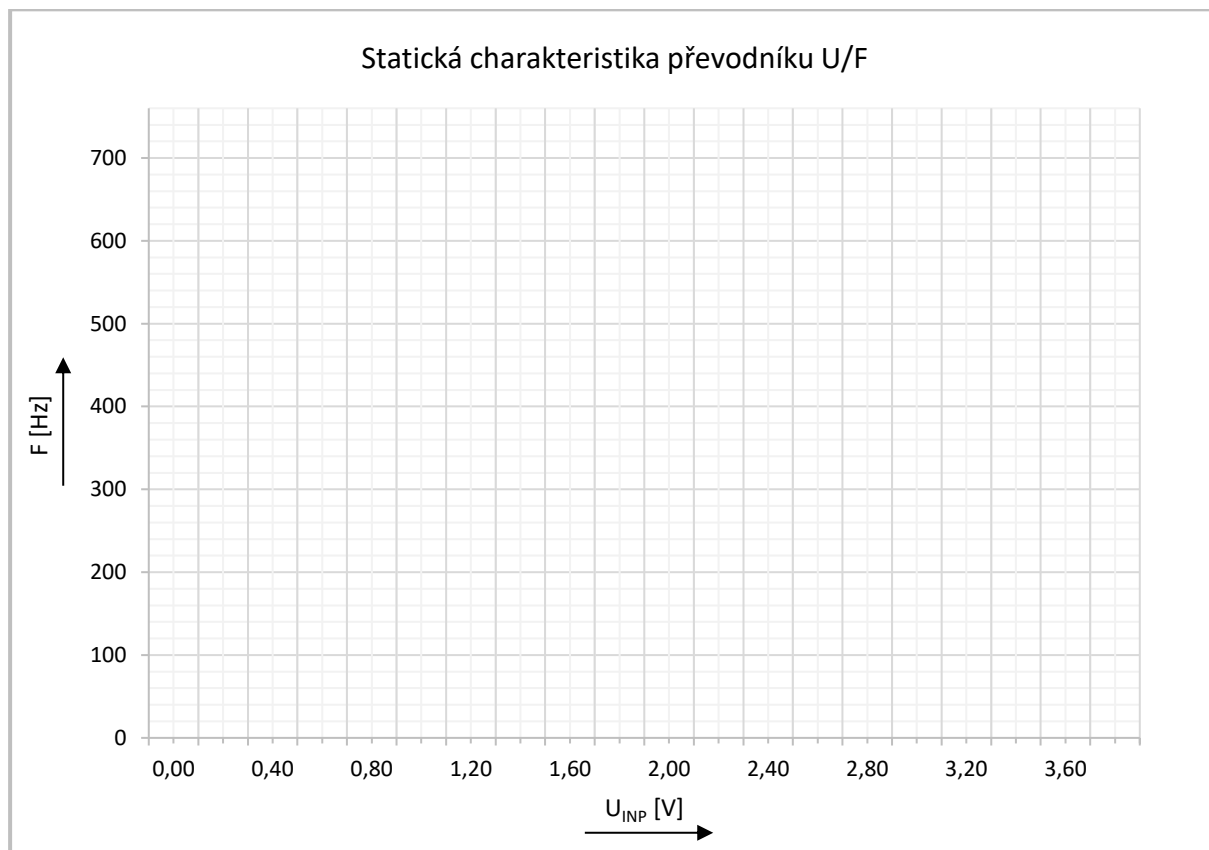
Pro výstupní kmitočet VCO platí rovnice:

$$F_{APROX.} = k V_{IN} + q \quad (1)$$

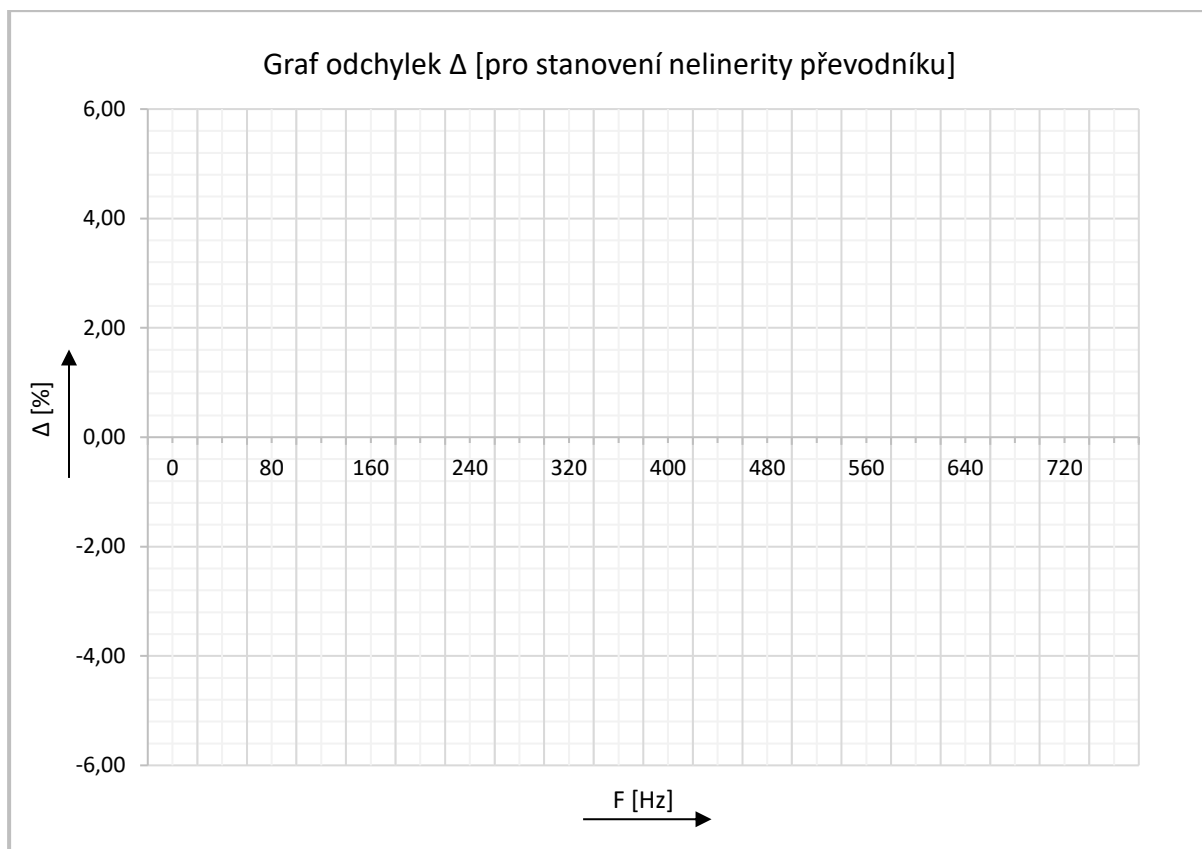
Potřebné parametry rovnice (1) získáte aproximací naměřené převodní charakteristiky, z jejího zpracování ve formě grafu.

**Tab. 1 – Statická charakteristika převodníku U/F**

U <sub>INP</sub> [V]	F <sub>APROX.</sub> [Hz]	F <sub>MĚŘ.</sub> [Hz]	Δ [%]
0,00			
0,20			
0,40			
.....			
.....			
.....			
3,00			
3,20			
3,40			
3,60			



**Obr. 3 – Statická charakteristika převodníku U/F (vytvořeno v Excel)**



**Obr. 4 – Graf odchylek (vytvořeno v Excel)**

### Poznámka

Vstupní napětí převodníku měřte DMM a kmitočty na výstupu OUTB měřte osciloskopem vašeho laboratorního pracoviště!

### Samostatná příprava

1. Provedte stažení příslušné technické dokumentace k použitým součástkám úlohy.
2. Prostudujte dokumentaci k použitým elektronickým součástkám realizace úlohy.
3. Provedte podrobnou analýzu obvodového zapojení úlohy.
4. Překreslete obvodová schémata do pracovního sešitu.
5. Připravte si tabulku v prostředí Excel pro záznam výpočtů, měření a sestrojení grafů statické charakteristiky.

### Otázky k procvičení

1. Nakreslete zapojení převodníku  $U / F$  a vysvětlete jeho funkci.
2. Jaké je využití převodníku  $U / F$ ?
3. Co vyjadřuje parametr „ $k$ “ a „ $q$ “ v rovnici (1)?
4. Co je nelinearita statické charakteristiky.

## 2 Použité zdroje

ELECTRONICS COACH. *Hydraulic Actuator* [online]. [cit. 20.5.2024]. Dostupný na WWW: <https://electronicscoach.com/hydraulic-actuator.html>

ELPROCUS. *What is a Hydraulic Actuator: Working & Its Applications* [online]. [cit. 20. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://www.elprocus.com/hydraulic-actuator/>

CINA CILINDRI OLEODINAMICI FORNITORE. *Macchine idrauliche principi teorici pompe motrici trasmissioni idrau cavalli c.* [online]. [cit. 28. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://dixonwebsitedesign.com/sell-571340-macchine-idrauliche-principi-teorici-pompe-motrici-trasmissioni-idrau-cavalli-c.html>

## 3 Otázky k procvičení

- 1 Co je hydraulický akční člen?
- 2 Jaké ovládací napětí má elektrohydraulický hydrogenerátor?
- 3 Jak pracuje ovládání hydraulického pístu?

## Seznam zkratek

DMM digitální měřicí přístroj

GUI grafické uživatelské rozhraní

VCO napětím řízený oscilátor (generátor)

## Rejstřík

akční člen, 1

čerpadlo, 4

elektronický obvod, 1

generátor, 6

VCO, 6

hydraulický, 2, 5

motor, 2

píst, 5

pohon, 2, 4

válec, 2

zvedák, 5

Hydraulika, 1

hydromotor, 2

motor, 4

píst, 1



pohonná jednotka, 1  
pohyb, 1  
    mechanický, 1  
převodník, 6, 9  
    U/F, 6  
zdroj, 1  
    elektrický, 1

# Prostředky automatického řízení

## Téma 12: NC a CNC stroje

### Studijní cíl

Seznámit studenty s konstrukcí a dělením NC a CNC strojů podle různých hledisek.

### Doba nutná k nastudování

2 hodiny

### Klíčová slova

NC, CNC, děrná páska, instrukce, řídicí signály, obrábění

## 1 NC a CNC stroje

Nejprve provedeme definici, popis konstrukce a typů NC a CNC strojů. Numerickým řízením nazýváme proces obrábění, který pracuje s předdefinovanou sadu alfanumerických kódů k řízení činností konkrétního obráběcího nástroje. Používané alfanumerické kódy obsahují informace o definovaném pohybu nástroje. U tradičních strojů byla manuální obsluha zodpovědná za řízení různých parametrů. Těmi parametry rozumíme například otáčky a směr otáčení motoru, rychlost posuvu a hloubka řezu nástroje. V NC strojích je za řízení všech parametrů je zodpovědný ovládací panel s elektronickým řídicím obvodem. Příkladem NC stroje je například 3D tiskárna, pomocí které můžeme snadno vytvářet výtisky nejen mechanických součástí ale i např. výtisky budov. Jedná se zpravidla o poměrně složité součástky, které by bylo bez NC technologie nemožné.

### 1.1 Koncepte konstrukce numerického řídicího systému NC stroje

Následující bloky se podílejí na funkčním řešení NC stroje:

1. Instrukční sada, nebo příslušný jednoúčelový software
2. Řídicí jednotka stroje (zpravidla s MCU)
3. Výstupní kanál signálu
4. Čtečka paměťového média

5. Paměť dat
6. Informace o zpětné vazbě
7. Řízený stroj.



Obr. 1 – NC stroj (Saif, 2024)

## 1.2 Sada instrukcí nebo programu

Program je podrobná sada instrukcí, které vedou obráběcí stroj k tomu, co a jak dělat. Programátor je zodpovědný za napsání programu v alfanumerické podobě. Každý krok programu indikuje pohyb a polohu obráběcího stroje. Tato instrukce funguje jako vstup do řídicí jednotky stroje (MCU).

K uložení této sady instrukcí obvykle používáme paměťové médium, jako je děrná páska. Dříve se používaly děrné štítky, 35 mm filmový film a magnetické pásky.

Poznámka: Existují dva další způsoby zadávání. První z nich je ruční zadávání instrukcí a druhý způsob je, přímým propojením s řídicím počítačem, nazývaným také DNC (Direct Numeric Control).

### 1.3 Řídicí jednotka stroje (MCU)

Tato část je mozkiem stroje, stejně jako je CPU u počítače. Skládá se z hardwaru a řídicí elektroniky, která provádí čtení a dekodování informací uložených na vstupním médiu a generuje signály pro ovládání obráběcího stroje. Základní součásti řídicí jednotky se sestávají ze čtečky páskové paměti, datového bufferu, výstupních portů ovládacích signálů a vstupního portu pro zajištění zpětné vazby.

### 1.4 Řídicí signály

Ty jsou zodpovědné za odesílání pokynů obráběcímu stroji (servomotoru) o tom, jakou funkci provést a jakým způsobem.

### 1.5 Čtečka paměťového média

Jedná se zpravidla o elektromechanické zařízení, které načítá instrukce uložené na děrné pásce.

### 1.6 Vyrovnávací paměť dat

Čte data uložená ve čtečce pásek.

### 1.7 Zpětnovazební komunikace

Ty jsou zodpovědné za odesílání dat zpět do řídicí jednotky stroje.

## 2 Strojní součásti NC stroje

Jsou to součásti NC stroje, které svým uspořádáním umožňují vykonávání obráběcích operací. Předpokládejme například NC stroj určený k provádění vrtacích operací. Tento NC stroj se bude skládat z pracovních nástrojů, jako jsou obráběcí vřetena, motory pohonů os, které vykonávají jejich pohyb, řezné nástroje, pracovní stoly, pracovní přípravky a další podpůrné vybavení.

Všechny tyto prvky fungují na základě instrukcí přicházejících z řídicí jednotky. Tyto součásti NC stroje jsou zodpovědné za provádění více funkcí, jako je vlastní vrtání, řezání, rotace obrobku, výměna nástrojů atd.

## 3 Klasifikace NC stroje

NC stroje lze rozdělit do čtyř typů:

1. Podle typu trajektorie pohybů obráběcího nástroje
2. Podle druhu řízení (regulačních smyček)
3. Podle typu zdroje energie
4. Podle typu polohovacího systému.

### 3.1 Podle typu pohybu

Podle řízení pohybu to bylo rozděleno do tří typů:

- Mechanismus z bodu do bodu
- Mechanismus přímého řezu
- Konturovací mechanismus

#### 3.1.1 Mechanismus z bodu do bodu

V tomto systému se obrobek nebo vřeteno pohybuje ve stanovené poloze z jednoho bodu do druhého, takže vřeteno může pracovat na obrobku. Tento systém je také známý jako polohovací systém. Příkladem je numerické řízení. Je to nejjednodušší ze všech tří metod, takže je to nejlevnější.

#### 3.1.2 Mechanismus rovného řezu

Tento systémový řezný nástroj je rovnoběžný s jednou z os, kterou může být (X, Y nebo Z) a pohybuje se řízenou rychlostí. Je vhodný pro frézovací operace k výrobě obrobků obdélníkového tvaru. Může také provádět pohyb z bodu do bodu.

#### 3.1.3 Konturovací mechanismus

Je to jeden z nejsložitějších a nejdražších mechanismů, protože zahrnuje ovládní dvou nebo více os současně, aby se dosáhlo požadovaného tvaru. V tomto systému se obrobek pohybuje po spojitě dráze tak, že nástroj může pracovat, zatímco se pohybují osy, což mu umožňuje vytvářet úhlový povrch nebo 2D a 3D křivky.

### 3.2 Klasifikace podle regulačních smyček

Podle kontrolních smyček to bylo rozděleno do tří typů:

- Otevřená smyčka
- Uzavřená smyčka

### 3.2.1 Otevřená smyčka

V tomto systému jsou pokyny předávány motoru ovladačem, ale pohyb a směr nejsou dokonalé, ale přesto mohou generovat požadovaný tvar. Je obecně levnější než uzavřená smyčka.

### 3.2.2 Uzavřená smyčka

Tato metoda využívá mnoho senzorů, převodníků a čítačů k přesnému odhadu polohy stolu. Využívá zpětnovazební jednotku k porovnání polohy obrobku se signálem přijatým z řídicí jednotky. Je to drahý a komplikovaný systém.

## 3.3 Klasifikace na základě napájecího zdroje energie

Na základě napájecího zdroje to bylo rozděleno do tří typů:

- Elektrický systém
- Hydraulický systém
- Pneumatický systém

### 3.3.1 Elektrický

Tento systém využívá střídavé a stejnosměrné motory, které ke svému chodu využívají napájení. Využívá složité elektroinstalace a elektronické řídicí systémy.

### 3.3.2 Hydraulický

K zajištění potřebné energie využívá hydraulická čerpadla. Jde o docela malý pohon, který má vysoký krouticí moment. Obvykle je vhodný pro mechanické operace s rychlou odezvou.

### 3.3.3 Pneumatický systém

Tento systém využívá pneumatické válce a čerpadla. Stroje pro NC obrábění tento systém používá jen zřídka, protože je poměrně velký a má nízký krouticí moment.

## 4 Klasifikace podle polohovacího systému

Podle polohovacího systému byl rozdělen do dvou typů:

- Přírůstkové
- Absolutní polohovací systém

#### 4.1 Přírůstkové polohování

V tomto systému se přírůstek nebo změna předchozí polohy stává referenčním bodem pro určení další polohy.

#### 4.2 Absolutní polohování

V tomto systému je výchozí bod brán jako referenční bod, takže řídicí jednotka musí vypočítat polohu sama.

## 5 Postup práce na NC stroji

### 5.1 Kroky pro použití NC stroje ve výrobním procesu jsou následující

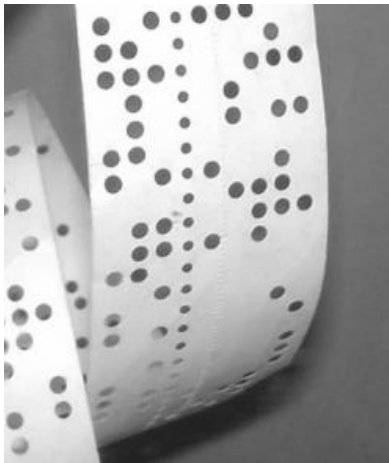
- Proces plánování: Tento proces zahrnuje interpretaci technických výkresů obrobku v souladu s plánovanými výrobními procesy. Tento plánovací proces se týká přípravy průvodního listu. Průvodní list je dokument zobrazující posloupnost operací, kterými musí obrobek projít.
- Proces programování: V rámci tohoto procesu programátor zapíše program v podobě posloupnosti operací, kterými musí obrobek projít, nebo podle procesu obrábění. Naprogramované instrukce se převedou na výstupní signál, který řídí akce, jako jsou otáčky vřetena, výběr nástroje, pohyb nástroje a průtok řezné kapaliny.
- Příprava děrného pásku: Tento krok zahrnuje vyděrování programu do pásky. Při ručním programování jednotlivých instrukcí se děrování programu provádí pomocí zařízení obdobného typu, jako je psací stroj, s možností děrování pásky.
- Kontrola vstupních dat děrné pásky: Po přípravě dat přichází na řadu kontrola správnosti obráběcích dat. Někdy se provádí prostřednictvím počítačového programu, který provádí simulace obráběcích dat. Tímto způsobem lze odhalit hlavní chyby v datech. Druhým způsobem je "zkušební test", který zahrnuje provedení všech obráběcích akcí skutečným nástrojem na zkušebním vzorku obrobku. Tento vzorový obrobek může být vyroben například z plastu nebo pěnového materiálu.
- Výroba: Toto je poslední krok v konfiguraci NC stroje ve výrobě. Zahrnuje opracování polotovaru obrobku, specifikaci a přípravu obráběcích nástrojů, speciálních přípravků a dalších nástrojů potřebných k nastavení NC stroje pro výrobu. Po spuštění NC obráběcí stroj založí polotovar obrobku a pracuje s ním podle pokynů uložených na

pásce. Po dokončení akce se obroběný polotovár vyjme ze stroje, buď ručně, nebo automaticky a vloží se další polotovár určený k obrábění.

## 6 Rozdíl mezi NC, CNC a DNC strojem

### 6.1 NC stroj (numericky řízený stroj)

Řídící jednotka stroje (MCU) obráběcího stroje čte sadu zakódovaných instrukcí, které obsahují čísla, abecední písmena a symboly. Pro provádění výrobních operací na obrobku se tyto kódované instrukce převádějí na elektrické impulsy, pomocí kterých řídicí jednotky stroje ovládají motory pohonů stroje. Termín „numerické řízení“ (NC) označuje techniku pro řízení výrobních procesů pomocí numerických instrukcí, které jsou přímo vloženy do bufferu (naprogramovány) obráběcích strojů.

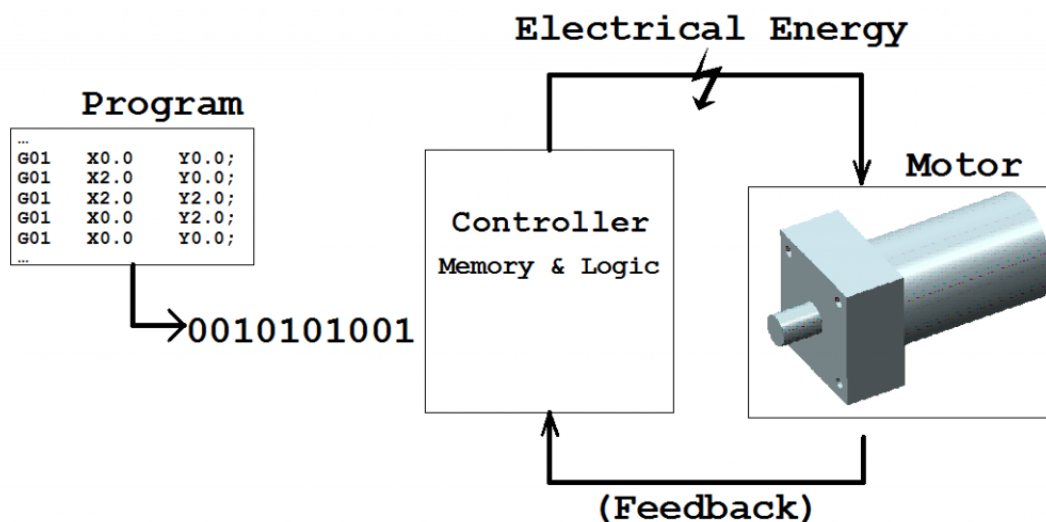


Obr. 2 – Děrná páska NC stroje (Engineering Technology, 2024)

### 6.2 CNC stroj (numerický počítačově řízený stroj)

Počítačové numerické řízení je známé jako CNC. Jedná se o zařízení, které je řízeno počítačem obráběcího stroje. Vnější vzhled připomíná NC stroj. CNC stroje používají jako vstupní médium počítačovou klávesnici nebo ovládací zařízení. Počítač řídí každou numerickou operaci v CNC stroji. Programy potřebné ke spuštění stroje jsou uloženy přímo v paměti počítače. Kromě toho, provádí počítač zobrazování aktuálního stavu stroje zobrazováním vybraných parametrů stroje. Těmito parametry jsou například aktuální pozice vřetena, jeho otáčky, rychlost posuvu atp.





Obr. 3 – Koncepte CNC stroje (Engineering Technology, 2024)

### 6.3 DNC stroj (přímou numericky řízený stroj)

System, který integruje několik strojů prostřednictvím přímého připojení k hlavnímu počítači, je známý jako přímé numerické řízení (DNC). Centrální počítač je koncipován tak, aby každému stroji poskytoval podle potřeby pokyny k práci s vloženým nástrojem. Centrální počítač také získává data ze zařízení. Výsledkem je, že každý obráběcí stroj a hlavní počítač si vyměňují informace obousměrně.



Obr. 4 – Koncepte DNC strojů (Engineering Technology, 2024)

#### 6.4 Rozdíl mezi NC a CNC strojem

NC je numericky řízený stroj. Počítačově numerické řízení je známé jako CNC. NC stroj je zařízení, které je řízeno sadou instrukcí, které jsou vyjádřeny ve formě čísel, znaků a symbolů. Skupina instrukcí je označována jako program NC stroje. Naopak CNC stroj je zařízení, které pomocí připraveného počítačového programu řídí pohyby obrobku a nástroje. K zápisu programu se používají alfanumerická data.

Programy NC stroje se načítají postupně z děrných štítků, nebo pásek. Na rozdíl od CNC strojů, které používají k ovládní klávesnici, podobnou běžné počítačové klávesnici. Z výše uvedeného vyplývá, že upravit program NC stroje je náročné. Naproti tomu změna programu CNC stroje je poměrně jednoduchá.

NC stroj potřebuje Vysoce kvalifikovaný operátor potřebuje j. Na rozdíl od CNC stroje, který zvládne obsluhovat i méně zkušená obsluha. NC stroj je levnější. Cena stroje je ve srovnání s CNC strojem poměrně vysoká. U NC strojů byly nutné nízké náklady na údržbu. Současně jsou náklady na údržbu u CNC stroje značné. Ukládání programů do NC stroje není možné. Naproti tomu CNC stroj umožňuje opakované použití programů, které byly uloženy na počítačích.

NC stroje poskytují menší flexibilitu a výpočetní výkon. CNC stroje však nabízejí větší flexibilitu a výpočetní výkon. Přesnost NC stroje je nižší než u práce, kde je neuvěřitelná přesnost CNC stroje. NC stroj potřebuje k dokončení úkolu více času. Ve srovnání s CNC strojem splní úkol daleko rychleji. Není možné nepřetržitě provozovat NC stroj. CNC stroj však může pracovat nepřetržitě po celý den.

#### 6.5 Rozdíl mezi CNC a DNC strojem

CNC neumožňuje vzdálené ovládní provozu. Naproti tomu DNC usnadňuje činnost dálkové ovládní. Počítač CNC stroje je jeho součástí. Počítač u DNC stroje může být umístěn vně stroje a nemusí být jeho součástí. CNC stroje vykonává postupně obráběcí instrukce. Stroj DNC je přímo řízen počítačem, který příslušné instrukce posílá přímo do stroje.

Oba stroje, CNC i NC jsou řízeny počítačem. NC stroj potřebuje program umístěný na děrném štítku, nebo páске. Modernější je umístění programu na děrnou pásku. CNC stroj spolupracuje přímo s příslušným softwarem řídicího počítače, který ovládá CNC stroj generováním příslušných kódů a zároveň se podílí na řízení celého stroje. DNC stroj je ovládán on-line připojeným počítačem, který je součástí sestavy technologického procesu.

## 7 Použitá literatura

Autor neuveden. *NC vs CNC vs DNC Machines – What's the Difference* [online]. [cit. 18. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://blog.thepipingmart.com/other/comparison-between-nc-cnc-and-dnc-machines/>

ENGINEERING TECHNOLOGY. *Introduction to CNC* [online]. [cit. 18.5.2024]. Dostupný na WWW: <http://www.manufacturinget.org/home/4476-computer-aided-manufacturing/introduction-to-cnc/>

SAIF, M. *WHAT IS DNC MACHINE* [online]. [cit. 18.5.2024]. Dostupný na WWW: <https://www.theengineerspost.com/dnc-machine/>

KUMAR, Amrit. *NC Machine* [online]. [cit. 18. 5. 2024]. Dostupný na WWW: <https://themechanicalengineering.com/nc-machine>

## 8 Studijní literatura

ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN – technická literatura, 2006. ISBN 978-80-7300-207-7.

ŠTULPA, Miloslav. *Technologie obrábění: CNC soustružení, frézování, vrtání: pro praxi*. Praha: Grada publishing, 2022. ISBN 978-80-271-2883-9.

## 9 Otázky k procvičení

- 1 Co znamená zkratka DNC?
- 2 Z jakých částí se skládá NC stroj?
- 3 K čemu slouží „děrný štítek“?
- 4 Jakým způsobem se vytváří „děrná páska“?
- 5 Jaká je funkce bufferu NC stroje?
- 6 Jaké jsou rozdíly mezi NC a CNC strojem?

## Seznam zkratk

DNC Distributed Numerical Control System

CAD Computer Aided Design

CAM Computer Aided Manufacturing

CNC Computer Numerical Control

## Rejstřík

CNC, 1

děrná páska, 1, 2, 3, 6

děrný štítek, 2

instrukce, 3, 6

- Instrukční sada, 1
- jednotka, 1
  - řídící, 1
  - stroje, 1
- kód, 1
  - alfanumerický, 1
- magnetická páska, 2
- motor, 1, 5
  - otáčky, 1
  - směr, 1
  - stejnoseměrný, 5
  - střídavý, 5
- obráběcí stroj, 3
- obrobek, 7
- polotovary, 7
- system, 5
  - elektrický, 5
  - hydraulický, 5
  - Pneumatický, 5
- tiskárna, 1
  - 3D, 1
  - součástky, 1
  - výtisky, 1
- zařízení, 3
- zkušební
  - test, 7
  - vzorek, 7

# Prostředky automatického řízení

## Téma 13: Programování CNC strojů

### Studijní cíl

Seznámit studenty s programováním CNC strojů, s koncepcí tvorby řídicího kódu práce CNC strojů, dostupným softwarem pro tvorbu těchto řídicích kódů a různými typy ovládání CNC strojů.

### Doba nutná k nastudování

2 hodiny

### Klíčová slova

CNC, řídicí kód, obrábění, G-kód, M-kód

## 1 Úvod do programování CNC strojů

Programováním CNC strojů (Computer Numerical Control) lze označit proces transformace vytvořeného 3D modelu návrhu na posloupnost strojově srozumitelných instrukcí pro CNC stroj. Soubor těchto instrukcí je pak načten do paměti řídicí jednotky CNC stroje, aby následně svým zpracováním umožnil zcela automatickou výrobu součástí s využitím možností CNC stroje. Programování CNC strojů se tak stává kritickým místem v současné průmyslové výrobě. Většina obráběcích operací materiálů se v současnosti vykonává právě na CNC strojích, a tím se zcela nahrazuje starší způsob ručního obrábění, na manuálně ovládaných strojích. CNC stroje nejen vedou k ulehčení práce při strojních operacích, ale jsou i na vyšší úrovni kvality a produktivity práce.

CNC stroje lze programovat buďto ručně, většinou s využitím místní konzole stroje, nebo, a to je častější případ, pomocí softwarového balíku označovaného zkratkou CAM (Computer-Aided Manufacturing). CAM software podstatně snižuje náročnost programování žádaných pracovních kroků při obrábění složitých strojních součástí. Tento tematický okruh se zabývá programováním CNC strojů, probere různé typy CNC programování a pokusí se vytipovat nejvhodnější CNC programovací software.



Obr. 1 – Programovací konzole (Xometry, 2024)

## 1.1 CNC program

Program vytváří CNC programátor, který je k tomu vyškolen. CNC programátor může vytvořit program CNC buď ručně, nebo použít CNC programovací software k jeho tvorbě. Ve většině případů se autor programu, CNC programátor objevuje při konečném obrábění na CNC stroji i v roli jeho obsluhy. Tyto skutečnosti kladou na CNC programátory poměrně značné nároky.

Podle individuálních schopností, zkušeností a dovedností budoucích CNC programátorů se lze naučit základům CNC programování v průběhu několika týdnů. Programování CNC strojů se stává samostatným studijním oborem, jehož studium, které lze absolvovat na vysokých školách technického směru, může trvat řádově i roky.

Pokud budeme rozebírat náročnost osvojení si základů CNC programování, můžeme konstatovat, že je poměrně snadné jejich osvojení. Pokročilejší CNC programovací techniky však vyžadují studium celé řady souvisejících témat, včetně vlastní funkce obráběcích strojů, vhodnosti používaných nástrojů pro tvorbu specifických dílů obráběných součástí, nebo vlastností obráběných materiálů při strojním obrábění. Dostatečnou motivací pro studium programování CNC je, že se ho lze naučit s obdobným úsilím, jako jakékoli jiné pokročilejší téma.

## 1.2 CNC programování

CNC programování se týká hlavně konverze vytvořených 3D modelů CAD (Computer Aided Design) do souboru strojově čitelných instrukcí, které zahrnují:

- Instrukce pro ovládání stroje (spuštění, zastavení, příprava stroje atp.)
- použité řezné nástroje
- rychlost posuvu přesunu nástroje

CNC programování je tedy proces vytváření souboru instrukcí pro ovládání řezných nástrojů. Jak už bylo zmíněno, CNC programátoři mohou použít CAM software k vytváření CNC programů, nebo mohou ručně zadat CNC kód pro jednoduché díly.

CNC programování přebírá 3D informace o profilu a velikosti plánované součásti a transformuje je do tvaru jednotlivých instrukcí, kterým CNC stroj „rozumí“ a může použít k dělení materiálu a tím postupnému vytvoření požadovaného tvaru. Z tohoto důvodu musí mít CNC programátor přístup k příslušnému 3D modelu vyráběné součásti, ve formátu jeho modelu, generovaným CAM softwarem. CNC programátor následně použije CAM software k vygenerování pohybových drah obráběcího nástroje, na základě informací o geometrii vyráběné součásti a prvků, jako jsou otvory, drážky nebo komplikované tvary jejího povrchu. CAM software pak vygeneruje program pro CNC, který často označujeme jako „G-kód“. Tento G-kód je pak importován do CNC stroje. Po zahájení činnosti stroje jsou tyto G-kódy postupně načítány a stroj postupuje podle pokynů, zakódovaných v kódu, dokud nedosáhne poslední instrukce kódu, která zpravidla znamená dokončení prováděných operací.

## 2 Kódy pro CNC programování

Kódy CNC programování, které jsou specifické pro provádění daného úkolu, jsou označeny různými písmeny abecedy, a sdělují obráběcímu stroji, kdy, kde a jak oddělit část materiálu z vloženého polotovaru. Tyto kódy jsou souhrnně známé pod názvem "G-kódy", i když symbol "G" se odkazuje pouze na "geometrii" součásti. Termín "G-kód" v sobě zahrnuje všechny různé typy kódovaných instrukcí, potřebných k úspěšnému obrábění součásti. Nejběžnější typy CNC kódů jsou:

1. **D-kódy:** Značí tzv. offset nástroje CNC stroje, který může být buď vzdáleností od středové osy nástroje k jeho řezné hraně, nebo jak daleko nástroj vyčnívá z držáku nástroje.
2. **F-kódy:** Jsou kódy pro řízení rychlosti posuvu. Představují různé rychlosti, kterými se musí nástroj pohybovat při řezání.
3. **G-kódy:** „G v G-kódech“ se odkazuje na „geometrii“. G-kódy dávají stroji pokyn, odkud, z jaké souřadnice, se má začít nástroj pohybovat, kde zastavit a jakým způsobem se pohybovat mezi těmito dvěma body.

4. **M-kódy:** Označují různé funkce ovládní stroje, jako je například, ovládní chladicí kapaliny a obráběcího vřetena. M-kódy se v zásadě odkazují na negeometrické akce.
5. **N-kódy:** N-kódy jsou identifikační řádky nebo bloky strojového kódu. Štítky řádků pomáhají programátorovi CNC organizovat a sledovat ručně napsaný CNC kód. Čísla řádků často nejsou vyžadována pro kód generovaný CAM.
6. **S-kódy:** Jedná se o rychlostní kódy, které představují požadované otáčky nástrojového vřetena v různých časech v průběhu procesu obrábění.
7. **T-kódy:** Identifikují nástroj, který se má použít při obrábění specifického prvku na obrobku. Jsou použity ve spojení s automatickou výměnou nástrojů.

### 3 Algoritmus tvorby CNC kódu

Jak tedy vytvoříme kód pro CNC stroj. Chceme-li vytvořit CNC kód, musíte se nejprve seznámit s obecnými principy CNC obrábění, stejně jako se softwarem CAD/CAM a jazykem strojových instrukcí G-code. Pochopení toho, které CNC nástroje se používají k výrobě požadované součásti, jak se daný materiál chová během obrábění, jsou klíčové k optimalizaci nejlepší dráhy nástroje a nastavení požadované rychlosti pracovního posuvu (rychlosti) nástroje v průběhu automatizovaného provozu. Je také důležité porozumět softwaru CAM, jak se s ním pracuje a co se tedy od programátora vyžaduje. Obecné kroky při vytváření kódu CNC jsou následující:

1. **Export 3D modelu:** CAD model musí být nejprve exportován do CAM softwaru. Některé CAD systémy mají integrované obě funkce CAM, takže není potřeba žádný export.
2. **Vytvoření dráhy nástroje:** Převedte model CAD na dráhy nástroje. To lze provést buď ručně, což je vhodnější pro jednoduché součásti, nebo nechat CAM software generovat dráhy nástroje automaticky. Výběr nástroje musí být založen na požadovaných vlastnostech součásti a dostupných nástrojích.
3. **Ověření drah nástroje:** Dále je důležité ověřit, zda jsou dráhy nástroje bezpečné a že nehrozí nebezpečí nárazu stroje do obrobku nebo upínacích přípravků. Tento krok lze provést ručně, automaticky (simulováním drah nástroje v softwaru CAM) nebo pomocí softwaru pro ověřování dráhy nástroje třetí strany.
4. **Importování kódu do CNC stroje:** G-kód musí být poté vložen do CNC stroje. Tento proces lze provést pomocí přenosného datového úložiště, jako je flash disk, SD karta, nebo lze kód stáhnout přímo do počítače, pokud je připojen k místní síti.



## 4 Volba CNC programovacího software

Nejlepší CNC programovací software pro danou úlohu závisí na cílové aplikaci. Pokročilý software nabízí množství nastavení včetně možných analýz, které lze použít k jemné optimalizaci procesu obrábění, zatímco jednodušší software vystavuje uživatele pouze nejkritičtějším nastavením. Níže jsou uvedeny některé z nejlepších softwarových balíčků CNC programování, které jsou v současné době k dispozici:

1. Mastercam: Přestože Mastercam má některé funkce CAD, je to především balíček CAM, který je výkonný a snadno použitelný. Mastercam byl jedním z prvních CAM programů na trhu a existuje již více než 30 let. Mastercam je oblíbenou volbou pro CNC programátory.
2. Meshcam: Meshcam je relativně jednoduchý softwarový balík CAM. Jako takový je ideální pro začátečníky. Z jeho rychlosti však mohou těžit i ostřílení odborníci při programování jednoduchých dílů.
3. Fusion 360: Fusion 360® je hybridní program CAD/CAM. To znamená, že lze vytvořit CAD model a následně vygenerovat CNC kód, vše v jednom softwarovém balíčku. Fusion 360 se snadno používá a má pokročilé funkce pro zkušenější uživatele.
4. Solidworks: Solidworks je další hybrid CAD/CAM. Solidworks CAM je však přídavný modul a jako takový může být drahý. Je však velmi výkonný a má širokou škálu funkcí.
5. Vectric: Softwarové produkty Vectric jsou navrženy speciálně pro aplikace CNC frézování a gravírování. Vectric nabízí řadu vynikajících softwarových balíčků, včetně Aspire, VCarve a Cut2D.

## 5 Typy CNC programování

CNC programování lze rozdělit na několik typů, viz následující kapitoly.

### 5.1 Ruční CNC programování

Manuální přístup je nejzákladnější formou CNC programování. Zahrnuje ruční zadávání příkazů do ovládací konzoly, která je obvykle připojena k CNC stroji. Ruční CNC programování je dobrou volbou pro jednoduché díly. Může se však jednat o časově náročnou metodu předávání instrukcí CNC stroji náchylnou k chybám. Z tohoto důvodu není ruční CNC programování vhodné pro složité díly. Při ručním CNC programování musí programátor dobře rozumět CNC stroji a tomu, jak funguje. Na rozdíl od pokročilejšího softwaru CAM neposkytuje manuální CNC programování žádný druh vizualizace nebo varování před možnými chybami v kódu, které mohou vést k poškození CNC stroje nebo nástrojů.

## 5.2 Počítačem podporovaná výroba (CAM)

CAM software se používá k vytváření CNC programů pro jednoduché i složité díly. Je to nejpoužívanější metoda CNC programování. CAM software je rychlejší a přesnější než ruční CNC programování. Poskytuje programátorovi vizuální znázornění drah nástroje, což mu pomáhá odhalit jakékoli potenciální problémy, jako je náraz nástroje do upínacího přípravku. CAM software poskytuje uživateli větší flexibilitu při převodu programu z jednoho typu CNC stroje na jiný, aniž by musel přepisovat celý program, jak by bylo nutné při vytváření manuálního G-kódu. Pokročilé softwarové balíčky CAM mohou být drahé, ale investice se obvykle vyplatí podnikům, které při výrobě složitých součástí spoléhají na CNC stroje.

## 5.3 Konverzační programování

Konverzační programování zahrnuje použití CNC stroje, který má vestavěné konverzační programovací rozhraní. Toto rozhraní umožňuje uživateli zadávat příkazy v jednoduché angličtině namísto v G-kódu, jak je tomu u běžného ručního programování. Některé systémy budou klást operátorovi řadu řízených otázek, aby plně definovaly úlohu. Konverzační programování se používá pro jednoduché CNC obráběcí operace. Je to rychlá a snadná alternativa k ručnímu programování. Konverzační programování je omezeno na jednoduché CNC operace. (Xometry, 2024)

## 6 Použitá literatura

XOMETRY. *CNC Programming* [online]. [cit. 18.5.2024]. Dostupný na WWW:  
<https://www.xometry.com/resources/machining/cnc-programming/>

## 7 Studijní literatura

ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN – technická literatura, 2006. ISBN 978-80-7300-207-7.

ŠTULPA, Miloslav. *Technologie obrábění: CNC soustružení, frézování, vrtání: pro praxi*. Praha: Grada publishing, 2022. ISBN 978-80-271-2883-9.

## 8 Otázky k procvičení

- 1 Popište postup tvorby G-kódů pro CNC stroj.
- 2 Co znamená zkratka CAM?
- 3 Co znamená zkratka CAD?
- 4 Uveďte příklady G-kódu.

- 5 Co vyjadřují tzv. M-kódy?
- 6 Co vyjadřují tzv. F-kódy?

## Seznam zkratk

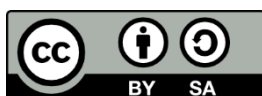
CAD Computer Aided Design  
CAM Computer Aided Manufacturing  
CNC Computer Numerical Control

## Rejstřík

3D model, 1  
CNC, 1  
instrukce, 3  
kód, 1  
    G, 1  
    M, 1  
nástroj, 3  
    posuv, 3  
    přesun, 3  
    řezný, 3  
obráběcí nástroj, 3  
obrábění, 1  
programování, 5  
programování, 3  
    CNC, 3  
programování  
    konverzační, 6  
programování, 6  
ruční obrábění, 1  
strojní operace, 1

Vytvořeno v rámci projektu **Studijní program Automatizace (SPAUT)**  
na **Univerzitě Pardubice**, reg. č. NPO\_UPCE\_MSMT-16591/2022.

Toto dílo podléhá licenci Creative Commons BY 4.0. Pro zobrazení licenčních podmínek navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.



Financováno  
Evropskou unií  
NextGenerationEU



Národní  
plán  
obnovy

MS  
MIT  
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY