

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Synchronní a asynchronní pohony s optimalizací polohy**

**vedoucí práce: Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.  
autor: Bc. Roman Zoubek**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

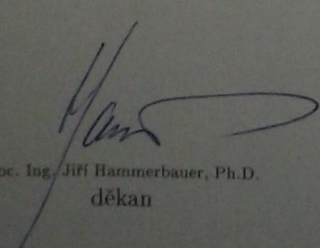
Jméno a příjmení: Bc. Roman ZOUBEK  
Osobní číslo: E12N0035K  
Studijní program: N2644 Aplikovaná elektrotechnika  
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika  
Název tématu: Synchronní a asynchronní pohony s optimalizací polohy  
Zadávající katedra: Katedra elektroenergetiky a ekologie

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

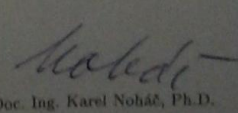
1. Popište výhody a nevýhody různých způsobů řešení pohonů rotujících skupin.
2. Vytvořte matematický model vzájemné synchronizace rotujících skupin.
3. Proveďte simulace vhodných stavů a tyto verifikujte prakticky.
4. Zhodnoťte perspektivy využití jednotlivých druhů pohonů v průmyslu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:  
1. internet  
2. katalogy výrobců měničů

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.  
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky  
Datum zadání diplomové práce: 15. října 2014  
Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2015

  
Doc. Ing. Jiff Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## **Anotace**

Tato diplomová práce je zaměřena na simulace jevů, pro pásové dopravníky používané ve výrobních halách. Srovnání simulací, vyhodnocení jejich správnosti a navržení jiného řešení. Dále zkouška pro názornost, jako praktické zkouška.

## **Klíčová slova**

synchronní stroj, asynchronní stroj, stejnosměrný stroj, čidla, řízení polohy, dopravníkové pasy, simulace

## **Abstract**

This thesis is focused on the simulation of phenomena for belt conveyors used in the production halls. Compared simulations, evaluate their accuracy and propose other solutions. Further test for clarity, as a practical test.

## **Key words**

synchronous machines, induction machines, DC machines, sensors, position control, conveyor belts, simulation

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne

Podpis autora

.....

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce doc. Ing .Bohumilu Skalovi. Ph.D. dále Ing. Václavu Jirovskému Csc. za vedení mé diplomové práce, rady a připomínky, jejich trpělivost při vytváření této práce.

## Obsah

Seznam symbolů a použitých zkratk.....	10
Úvod .....	11
1 Rozdělení elektrických strojů se zaměřením na motory (přehled) .....	12
2 Stejnoseměrné stroje .....	14
3 Asynchronní stroje .....	15
3.1 Základní konstrukce .....	15
3.1 Princip činnosti asynchronního motoru .....	15
4 Synchronní stroje .....	16
4.1.1 Základní konstrukce .....	16
5 Obecný matematický model Asynchronního motoru .....	17
6 PLC (Programovatelné automaty) .....	21
7 Frekvenční měnič .....	23
8 Způsoby odměřování a řízení polohy .....	24
Selsyn .....	24
8.1 Resolver .....	25
8.2 Optické snímače polohy .....	25
8.3 Základní princip a rozdělení optických snímačů .....	27
9 Tendence vývoje elektrických strojů .....	36
9.1 Vývoj elektrických strojů v průmyslu .....	36
9.2 Supravodivé motory .....	36
10 Dopravníkové pásy .....	37
11 Simulace .....	42
11.1 Simulace v Matlabu .....	43
11.2 Simulace Verze 1 .....	45



11.3	Simulace Verze 2.....	50
11.4	Zhodnocení obou simulací .....	55
12	Praktická ukázka funkce pásu .....	56
13	Závěr .....	60
	Použitá literatura .....	61
	Přílohy.....	63

## Seznam symbolů a použitých zkratk

$L_a$ [H]	vlastní indukčnost
$M_s$ [H]	vzájemná indukčnost
$\Psi_a$	výsledný spřažený tok
$i_d$ [A]	proud kotvy
$U_d$ [V]	napájecí napětí
$F_{\text{mot}}$	přenos motoru
$M_z$ [Nm]	moment zvratu
$M$ [Nm]	moment
$\omega$ [ $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	hlová rychlost
$U_i$ [V]	napětí indukované
PWM	pulzně šířková modulace
$f$ [Hz]	frekvence
$N$	počet impulsů na otáčku
$U$ [V]	napětí
$n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	otáčky
$\cos \varphi$ [-]	účinník
$P$ [W]	činný výkon

## **Úvod**

V této práci věnuji problematice synchronizaci pohonů. Nejdříve popisují základní principy pohonů, jak je známe. Dále si uvedeme základní matematické modely jednotlivých pohonů, jako další popisují jednotlivé části, se kterými se můžeme setkat při odměřování polohy nebo jejím nastavením.

Zmiňuji se také v krátkosti o tendenci vývoje pohonů. V praktické části uvádím simulace dopravníkového pásu složeného ze dvou částí. Nejprve jsou zrealizované pomocí programu Matlab ve, kterém je chod pásu nasimulovaný. Na základě výsledků z první simulace zlepšujeme funkci pásu, a tím jeho chod. Zhodnocuji její použitelnost v praxi, pak je prakticky částečně vyzkoušena na poskytnutých přístrojích.

# 1 Rozdělení elektrických strojů se zaměřením na motory (přehled)

*Rozdělení dle různých hledisek:*

- *dle funkce:* motory, generátory (alternátory, hydroalternátory)
- *dle velikosti napájecího napětí v souladu s ČSN 330010 ed.2 tab. 1. v části. 4.2):*
- nízkonapěťové
- vysokonapěťové

*- dle provedení s ohledem na jejich určení:*

- normální (standartní) motory - určené pro běžné aplikace
- motory určené pro napájení z měničů frekvence /neharmonické napájení)
- servomotory -

*- dle druhu napájecího napětí a jejich provedení:[1]*

- **stejnoseměrné** - s rozdělením dle provedení buzení:

- s permanentními magnety
- s buzenými póly v provedení: - s cizím buzením (cize buzené)
- s vlastním buzením v provedení:
- se sériovým buzením (sériové)
- s paralelním buzením
- se smíšeným buzením (kompaundní)
- s kombinovaným buzením[1]

- **střídavé** - s rozdělením: - *dle principu funkce:*

- **asynchronní (indukční)** s následným rozdělením:

- *dle provedení rotoru:* - nakrátko (klecové)
- kroužkové (se sběracím ústrojím)
- s masivním rotorem (např. Ferrarisuv motor)

- *dle počtu fází:*

- 1-fázové
- 2-fázové
- 3-fázové

- *dle provedení vinutí (jejich počtu a možnosti přepínání počtu pólů):*

- s jedním nepřepínatelným vinutím (jednovinut'ové - jednorychlostní)
  - s jedním přepínatelným vinutím (jednovinut'ové - dvou rychlostní)
  - s dvěma vinutími nepřepínatelnými (dvouvinut'ové - dvou rychlostní)
  - s dvěma vinutími (z toho s jedním vinutím přepínatelným - dvouvinut'ové tří rychlostní)[1]
- 
- **synchronní** s rozdělením:
    - *dle provedení rotoru*: s vyjádřenými (vyniklými) póly, s hladkým rotorem
    - *dle provedení buzení*
      - buzené - s permanentními magnety (servomotory)
      - s buzením přes kroužky (alternátory)
      - s buzením bez kroužku (samobuzené - vinutí + usměrňovač na rotoru)
      - nebuzené (reluktanční)
    - s tlumící klecí, bez tlumící klece
  - **komutátorové** s rozdělením:
    - informační** (čidla)
      - tachogenerátory - el. signál je úměrný otáčkám (synchronní, asynchronní, stejnosměrné)
      - selsyn - polohový transformátor (převádí mech. veličinu na elektrickou) na rotační pohyb
      - rozkládač - polohové transformátory na rot. pohyb ( $U_{výst} \gg \sin, \cos j$ )
      - inkrementální snímač
    - **speciální** (např. krokový, ventilový stř. motor, el. měniče, důlní stroj, trakční, s diskovým rotorem)
      - dle zapojení buzení*: se sériovým zapojením (sériové)
    - derivační s napájením: do statoru, do rotoru (Schrage)
    - **univerzální** (muže pracovat při napájení ss proudem nebo 1-fáz. stř. proudem)[1]

## 2 Stejnosměrné stroje

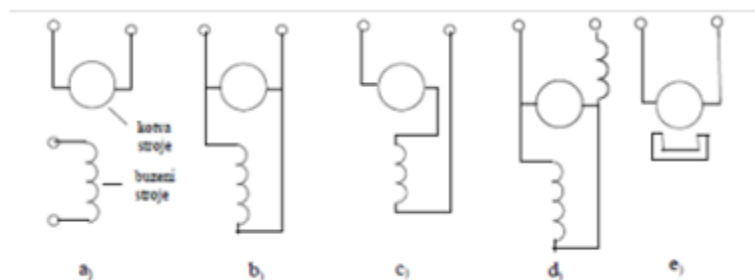
Princip činnosti lze vysvětlit na elementárním stroji, jehož vinutí kotvy tvoří pouze dva vodiče A a B, spojené do jednoho závitu, umístěném na rotoru, který se otáčí v magnetickém poli vytvořeném dvojicí hlavních pólů.[2]

Závit je připojen ke dvěma lamelám komutátoru, které jsou navzájem izolovány a otáčejí se společně s rotorem. Na komutátor dosedají dva nepohyblivé kartáče, které jsou umístěny do tzv. neutrální osy, tj. do geometrické osy mezi dvěma sousedními hlavními póly. Stejnosměrné stroje mohou pracovat jako generátory (přeměňují mechanickou energii na elektrickou), nebo jako motory (přeměňují naopak elektrickou energii na mechanickou).[2]

Otáčí-li se kotva otáčkami  $n$ , pohybují se vodiče závitu o délce  $l$  v magnetickém poli s indukcí  $B$  rychlostí  $v$  (kolmou složkou na směr siločar) indukují se do nich dle indukčního zákona tzv. pohybová napětí.

Za polovinu otáčky si vodiče vymění místa a indukovaná napětí v nich změni svůj směr, a mají tedy tvar střídavého napětí. Vodiče jsou připojeny k lamelám komutátoru, na který dosedají kartáče. Ke spodnímu kartáči (+) je vždy připojen vodič pod jižním pólem a k hornímu kartáči (-) vodič pod severním pólem.[2]

Polarita napětí na kartáčích se tedy nemění, to znamená, že komutátor usměrňuje střídavé napětí indukované ve vinutí kotvy. Vnější obvodem připojeným ke kotvě protéká stejnosměrný proud, zatímco ve vodičích kotvy má proud střídavý charakter. Časové průběhy indukovaných napětí v jednotlivých vodičích a indukovaného napětí na svorkách nezátíženého stroje jsou dány šířkou pólu, tvarem pólových nástavců stroje a skutečnou indukcí magnetického pole ve vzduchové mezeře, která není po celém obvodu konstantní. Mezi póly je velmi slabá. Indukované napětí na svorkách stroje je pulzující, pro jeho zlepšení se vinutí kotvy vyrábí s větším počtem cívek a jemu odpovídajícímu počtu lamel komutátoru.[2]



Obr 1 Druhy stejnosměrných strojů a) s cizím buzením b) s derivačním buzením c) se sériovým buzením d) s kompaunzním buzením e) permanentními magnety

## 3 Asynchronní stroje

### 3.1 Základní konstrukce

Ve statoru je založené třífázové vynutí a to vytváří točivé pole. Vzduchová mezera o tloušťce asi 0,1 mm odděluje statorový a rotorový magnetický obvod, které jsou leštěné.[3]

Rotor může být proveden jako

- Klec nakrátko (Cu, Al)
- Vinutý, které je vyvedeno pomocí kroužků a kartáčů

Vinutý rotor má obdobně jako stator třífázové vinutí založeno v drážkách. To se vždy spojuje do hvězdy a takto vzniklý uzel se nevyvádí ven, ale je vytvořen přímo na rotující části stroje – rotoru. Počet pólů rotorového vinutí musí být shodný. Vývody z pohyblivého se rotoru se svorkovnicí se realizují pomocí kluzných kontaktů – třech kroužků a uhlíkových kartáčů. Častěji se užívají stroje s klecovou kotvou, protože nemá kluzný kontakt, který je náročný na údržbu. Klec má v drážkách hliníkové nebo měděné tyče bez izolace a na koncích jsou tyče spojeny hliníkovými kruhy nakrátko (provedení je nenáročné na údržbu).[3]

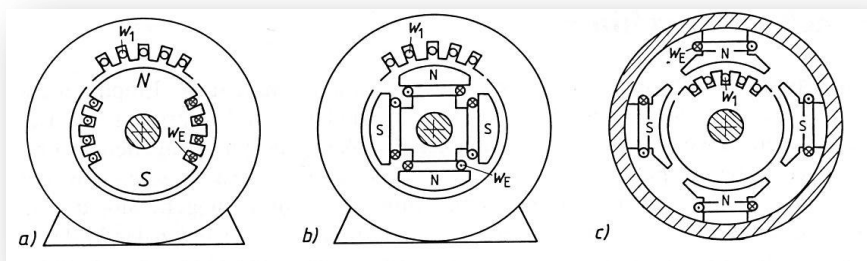
### 3.1 Princip činnosti asynchronního motoru

Princip činnosti AM je založen na vzájemném elektromagnetickém působení točivého magnetického pole statoru a proudu, vytvořených ve vinutí rotoru tímto magnetickým polem. AM je tedy založen na indukci napětí a proudu v rotoru, a proto se také nazývá indukčním motorem. Točivé magnetické pole se u AM vytvoří ve vinutí statoru (pevná, nepohyblivá část stroje), které je nejčastěji provedeno jako trojfázové, kde vinutí jednotlivých fází jsou prostorově natočena o  $120^\circ$ , a kterými protéká trojfázový harmonický proud. Asynchronní stroje mohou také pracovat jako asynchronní generátory (to znamená, že mechanickou energii přeměňují na elektrickou). V případě, že poháněním AM dosáhneme jeho mechanických otáček vyšších, než jsou otáčky synchronní, čímž indukovaná napětí a proudy v rotoru jsou opačného smyslu a stroj tedy dodává činný elektrický výkon do sítě. Poháníme-li stroj mechanickým momentem působícím proti otáčení točivého magnetického pole, pracuje jako synchronní brzda, tj. moment asynchronního stroje působí proti hnacímu mechanickému momentu.[3]

## 4 Synchronní stroje

### 4.1.1 Základní konstrukce

Synchronní stroje jsou dva základní typy rychloběžné a pomaloběžné. Společným prvkem těchto strojů je stator, odlišujícím pak rotor. Stator je v principu u všech tří typů stejný. Jedná se o konstrukčně posunuté třífázové vedení, které je uloženo v drážkách statoru. Uložení tohoto vinutí závisí na konkrétním stroji, ale základní náznak je vidět na Obr. 2. Rotor turbostroje je tvořený masivním ocelovým válcem, kde zhruba dvě třetiny obvodu jsou vyfrézované radiální drážky. V těchto drážkách je uloženo pólové vinutí. V tomto typu konstrukce se vytváří nejčastěji dvou pólové nebo čtyřpólové rotory. Rotor hydrostroje je osazený vyniklými póly s pólovými nástavci, kde kolem jednotlivého pólu je umístěno vinutí. Speciálním případem rotoru synchronního stroje je vnější rotor, který je ve své podstatě jen konstrukce hydrostroje reverzně. [4]



Obr. 2: a) turboalternátor, b) hydroalternátor, c) invertovaný hydroalternátor

**Generátor** - V tomto režimu je na hřídel připojeno otáčivé médium s konstantními otáčkami, například parní či vodní turbína. Základní myšlenkou je pomocí točivého pohybu „rozpohybovat“ elektrické pole a vytvořit rozdíl potenciálu o určité frekvenci, což je možné díky nabuzenému rotorovému vinutí. Nabuzení způsobuje stejnosměrný proud, který protéká jednotlivým vinutím pólů. Pak se mezi rotorem a státorem ve vzduchové mezeře vytvoří magnetické pole, které naindukuje do statorového vinutí střídavé napětí. [4]

**Motor** - Používají se ve stálých provozech, a to z důvodů složitosti rozběhu, ze stejné příčiny se neprovádí reverzace otáček. Synchronní kompenzátor – pracuje jako elektrický motor naprázdno. V závislosti na buzení, případně zatížení, dodává od sítě jalový výkon. Slouží k řízení napětí a kompenzaci účinníku v síti.



Krokové motory – jde o nízkovýkonové stroje, které využívají přesného řízení motoru. Řízení tohoto motoru je velmi náročné na řídicí obvody, proto se zde využívá hlavně mikroprocesorové techniky.

Princip spočívá ve vyslání impulsu do statorové cívky, rotor na to zareaguje natočením, aby zvýšil magnetickou vodivost.[4]

## 5 Obecný matematický model Asynchronního motoru

Asynchronní motor je pro svou jednoduchost a nízkou cenu nejčastěji používaný typ elektromotoru, může však pracovat i jako generátor elektrické energie. [5]

### 1. Matematický model motoru

Matematický model je odvozen za následujících předpokladů:

- Napájecí soustava je trojfázová, souměrná, napětí jsou harmonická.
- Vinutí jednotlivých fází je sinusově založeno v drážkách statoru.
- Magnetizační charakteristika je lineární.
- Odporů a indukčností jednotlivých fází jsou shodné.
- Ztráty v železe se zanedbávají[5]

Pro zápis soustavy rovnic lze použít buď maticové formy, nebo zápisu pomocí prostorových vektorů. Pro implementaci je vhodnější maticový zápis, pro názornost zápis vektorový.

### Základní rovnice asynchronního stroje

Asynchronní stroj je konstrukčně tvořen dvěma trojfázovými systémy vinutí vázanými vzájemnou magnetickou vazbou. Vzájemná indukčnost vinutí statoru a rotoru se s časem mění díky otáčení rotoru vůči statoru. Můžeme tedy napsat celkem šest základních rovnic pro jednotlivé obvody (fáze). Pro další úvahy se omezíme nejprve na stojící asynchronní stroj s uvažováním všech uvedených omezujících předpokladů.[5]

Pro výsledný spřažený tok jedné fáze statorového vinutí v základní poloze můžeme napsat:

$$\Psi_a = L_a i_a + M_s i_b \cos\left(\frac{2}{3}\pi\right) + M_s i_c \cos\left(-\frac{2}{3}\pi\right) + M i_A + M i_B \cos\left(\frac{2}{3}\pi\right) + M i_c \cos\left(\frac{2}{3}\pi\right),$$

$L_a$  - Vlastní indukčnost fáze statorového vinutí.

$M_s$  - Vzájemná indukčnost dvou fází statorového vinutí.

$M$  - vzájemné indukčnost odpovídajících si fází statorového rotorového vinutí

Předpokládáme, že vinutí nemá vyvedený společný uzel, tedy platí  $i_b + i_c = -i_a$  a zároveň pro rotor  $i_A + i_C = -i_B$ . Dále platí  $\cos\left(\frac{2}{3}\pi\right) = -\frac{1}{2}$ . Po dosazení do rovnice 1 dostaneme výsledný vztah:[5]

$$\Psi_a = \left(L_a + \frac{1}{2}M_s\right) i_a + \frac{3}{2}M i_a$$

V předchozí rovnici můžeme označit výslednou indukčnost jedné fáze statorového vinutí:

$$\Psi_a = \left(L_a + \frac{1}{2}M_s\right) i_a$$

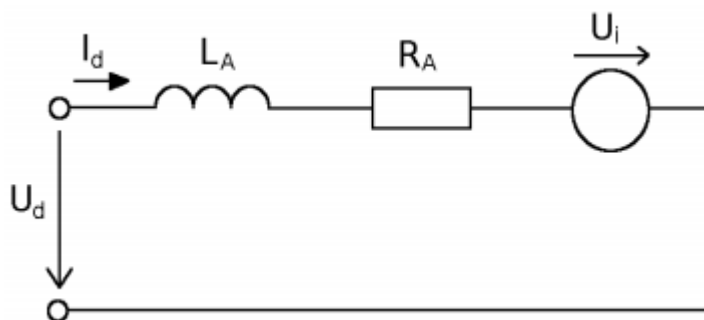
a vzájemnou indukčnost statoru a rotoru:

$$L_{sh} = \frac{3}{2}M$$

Napětíová rovnice jedné fáze statorového vinutí má tvar:

$$u_a = R_s i_a + \frac{d\Psi_a}{dt}$$

Stejnou úvahu lze provést i pro všechny ostatní fáze statorového a rotorového vinutí a sestavit tak všech šest základních rovnic AS.[5]

**Matematický model stejnosměrného cize buzeného motoru**

Obr 3 náhradní schéma cize buzeného motoru

Náhradní schéma stejnosměrného cize buzeného motoru je na Obr 3

Prvky  $L_a$  a  $R_a$  zahrnují celkovou indukčnost a odpor obvodu kotvy. Z náhradního schématu na obr. výše[6]

$$U_d = R_a i_d + L_a \frac{d i_d}{dt} U_i$$

Pomocí Laplaceovy transformace vztahu lze vypočítat proud kotvy  $i_d$ :

$$U_d - U_i = R_a I_d + L_a p I_d$$

$$I_d = \frac{U_d - U_i}{R_a + pL_a}$$

Přenos motoru lze určit jako podíl proudu kotvy  $I_d$  a napájecího napětí  $U_d$ :

$$F_{\text{mot}} = \frac{I_d}{U_d - U_i} = \frac{1}{R_a + pL_a} = \frac{1/R_a}{1 + pL_a/R_a} = \frac{1/R_a}{1 + pL_a/R_a} = \frac{K_{\text{mot}}}{1 + p\tau_{\text{mot}}}$$

Z vypočítaného proudu lze určit moment motoru ze vztahu:

$$M = k \phi I_d$$

Známe-li moment motoru  $M$  a odečteme-li od něj moment záběrný  $M_z$  je možné vypočítat rychlost motoru  $\omega$  jako[6]

$$\omega = \int \frac{1}{J} (M - M_z) dt$$

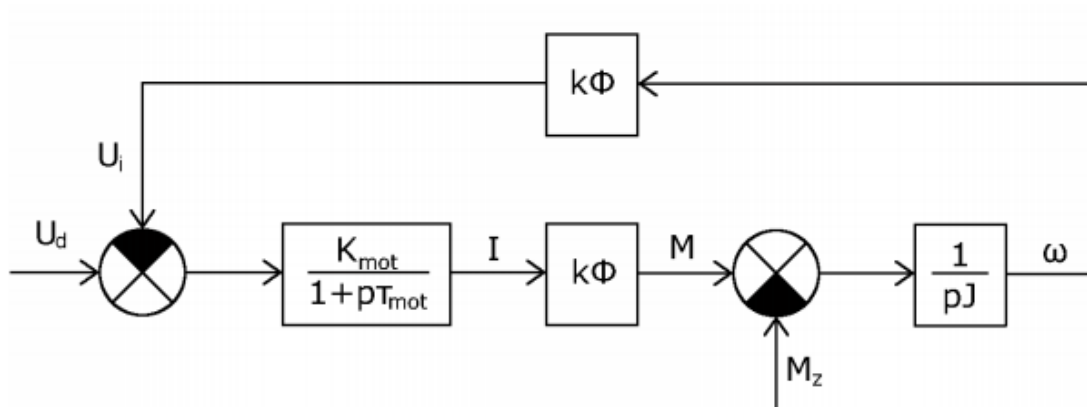
Je vhodné tento vztah upravit pomocí Laplaceovy transformace do tvaru:

$$\omega = \frac{1}{pJ} (M - M_z)$$

Pro výpočet indukovaného napětí lze použít vztah:

$$U_i = k \phi \omega$$

Ze vztahů je dále možné sestavit blokové schéma modelu stejnosměrného cize buzeného motoru podle níže použitého obrázku.[6]



Obr 4 Blokové schéma cize buzeného motoru

Pro řešení simulace pohonu se stejnosměrným motorem pomocí diferenciálních rovnic lze ze vztahu určit:

$$\frac{d i_d}{dt} = \frac{U_d - U_i - R_a i_d}{L_a}$$

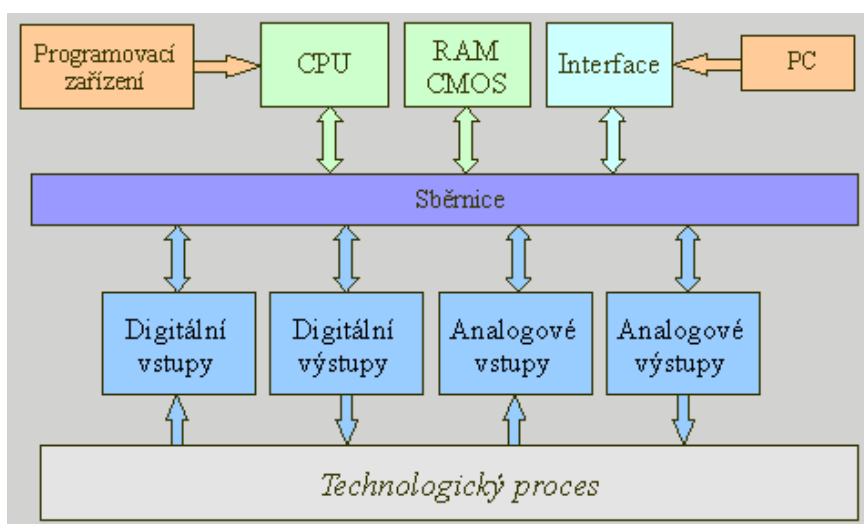
Proud  $i_d$  tekoucí indukčností kotvy se nemůže měnit skokem. Pro výpočet proudu v čase  $t + \Delta t$ , za podmínky dostatečně malého  $\Delta t$  lze používat vztah:[6]

$$i_d(t + \Delta t) = i_d(t) + \frac{d i_d}{dt} \Delta t$$

## 6 PLC (Programovatelné automaty)

PLC automaty jsou odlišné od běžných počítačů nejen tím, že zpracovávají program cyklicky, ale i tím, že jejich periferie jsou přímo uzpůsobeny pro napojení na technologické procesy. Převážnou část periférií v tomto případě tvoří digitální vstupy (DI) a digitální výstupy (DO). Pro další zpracování signálů a napojení na technologii jsou určeny analogové vstupy (AI) a analogové výstupy (AO) pro zpracování spojitých signálů. S rozvojem automatizace v průmyslu jsou používány i další moduly periferních jednotek připojitelných k PLC, které jsou nazývány funkčními moduly (FM) např. pro polohování, komunikační procesory (CP) pro sběr a přenos dat, a další specifické moduly podle výrobce konkrétního systému. [7]

Bloková struktura programovatelného automatu je znázorněna na obrázku 5. Základem PLC jsou v principu tři funkční bloky: zpracování informace, vstupy/výstupy a paměť.



Obr 5 Blokové schéma PLC

Dnes existují výkonná a rychlá PLC obsahující mimo různé průmyslové komunikační sběrnice (Profibus, Profinet, MODBUS, CANOpen či DeviceNET) i klasické ethernetové rozhraní, slot pro paměťovou SD kartu, a dokonce někdy i USB připojení a je s nimi možné realizovat i aplikace dříve vyhrazené jen počítačům. [7]

## Hlavní prvky PLC

**Centrální procesorová jednotka** - dává programovatelnému automatu inteligenci

**Paměť** -zde jsou uloženy uživatelské registry, které slouží pro uložení uživatelského programu

**Binární vstupy** -zde se připojují tlačítka

**Analogové vstupy** -zde se připojují například snímače teploty

**Binární výstupy** -jsou určeny k buzení cívek relé, stykačů

**Analogové výstupy** -těmito výstupy lze ovládat spojité servopohony a frekvenční měniče

**Základní požadavky na logické automaty:** Robustnost, rychlost, architektura, diagnostika

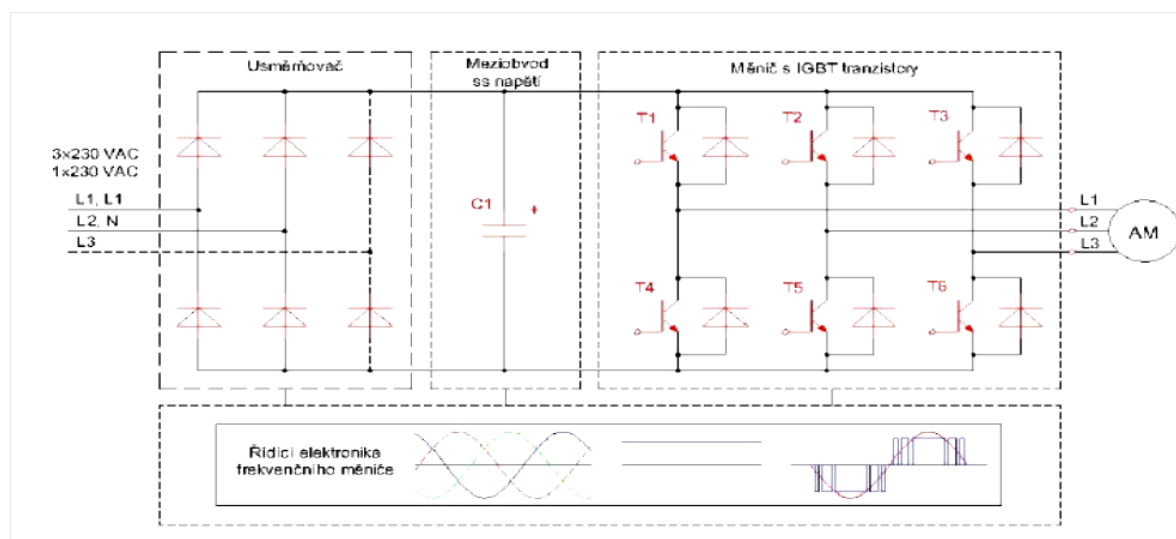


Obr. 6. PLC řízení s moduly

Na obr. je vidět na adresování jednotlivých karet.

## 7 Frekvenční měnič

Frekvenční měniče slouží k plynulé regulaci otáček točivých pohonů při zachování vysokého záběrového momentu. Principiálně frekvenční měnič mění konstantní napětí a frekvenci napájecí sítě na stejnosměrné napětí, a to následně s pomocí výkonových elektrických prvků převádí na střídavé napájecí napětí pohonu, viz Obr. 7. Výkonovými elektrickými prvky jsou nejčastěji IGBT tranzistory, které jsou spínané řadou PWM signálů. Řídící elektronika ovládá funkci jednotlivých částí frekvenčního měniče.[8]



Obr 7. Schéma funkce frekvenčního měniče

Velkou výhodou při použití frekvenčních měničů k řízení otáček asynchronních pohonů je omezení odběru jalového výkonu z napájecí sítě. Frekvenční měnič odebírá prakticky jen činný výkon a jalový výkon je získáván z meziobvodu stejnosměrného napětí. V praxi se používá několik druhů řízení frekvenčních měničů a v následujícím textu uvedu základní principy řízení otáček pro asynchronní motory.

Frekvenční měnič PowerFlex 40 využívá skalární řízení otáček dle U/f křivky pro aplikace nenáročné na moment a vektorové řízení momentu s, nebo bez nutnosti zavedení zpětné vazby s funkcí „Sensorless Vector“.

Frekvenční měnič PowerFlex 700S využívá skalární řízení otáček dle U/f křivky pro aplikace nenáročné na moment, precizní vektorové řízení s nebo bez nutnosti zavedení zpětné vazby s funkcí FOC a funkcí řízení motorů s permanentními magnety.[8]

## 8 Způsoby odměřování a řízení polohy

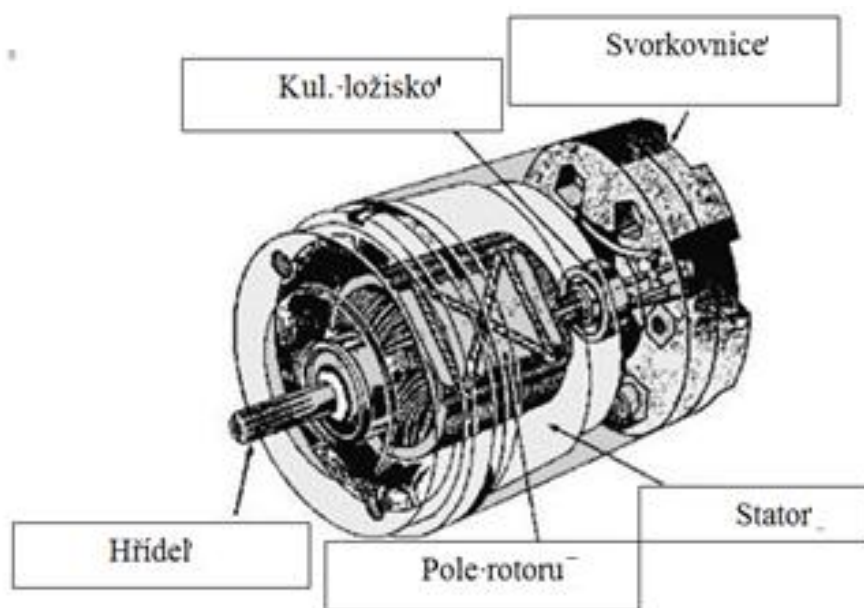
K odměřování skutečné polohy používáme snímače absolutní, inkrementální a cyklicky absolutní. Absolutní snímače udávají absolutní hodnotu polohy v celém rozsahu odměřování. Předností absolutního odměřování je existence informace o skutečné poloze hned po zapnutí zařízení. Realizují se jako optické s kódovacími kotoučky.

Inkrementální snímače mají vysokou přesnost i rozlišitelnost, avšak informaci o absolutní poloze dává referenční bod. Jsou buď rotační, nebo lineární.

Cyklicky absolutní snímače odměřují absolutní polohu pouze v omezené oblasti. Polohy mohou být jak rotační (selsyny, rezolvery), tak lineární (induktosyny).[9]

### Selsyn

Rozměry selsynů bývají často zmenšeny na nejmenší možnou míru. Konstrukčně se podobají motorům asynchronním s vinutou kotvou. Selsyny se vyrábějí na kmitočet 50 až 500 Hz a vždy jako dvou pólové. V drážkách statorových plechů je obvykle uloženo souměrné trojfázové vinutí. Rotor má obvykle vyniklé póly s budícími cívkami, nebo rovněž trojfázové vinutí uložené v drážkách (diferenciální selsyn). Rotorové vinutí je většinou napájeno přes kroužky a kartáče ze střídavé sítě. Mimo tato základní vinutí může mít selsyn ještě tlumící vinutí nebo setrvačnick k utlumení kývání rotoru při náhlých změnách rychlosti nebo zatížení. [10]

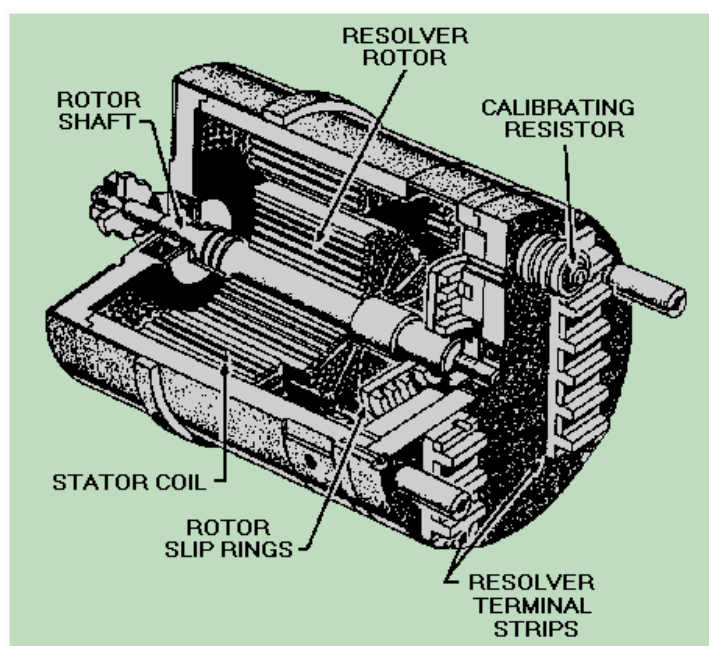


Obr. 8 selsyn - základní části



## 8.1 Resolver

Je polohový transformátor používaný jako absolutní snímač úhlu natočení. Využívá změny vazby (vzájemné indukčnosti) mezi vinutími na rotoru a statoru. Resolver má dvojfázové vinutí na statoru a jednofázový rotor. Vinutí umístěná na statoru jsou vůči sobě o  $90^\circ$  natočená. Resolver může být napájen do rotoru nebo statoru. V prvním případě je napájen harmonickým průběhem rotor. Přenos signálu na pohybující se rotor je pomocí indukční vazby. V případě použití dvoupólového resolveru získáme vyhodnocením jeho signálů snadno informaci o absolutní poloze, což je předností tohoto snímače.[11]



Obr 9. Resolver -základní části

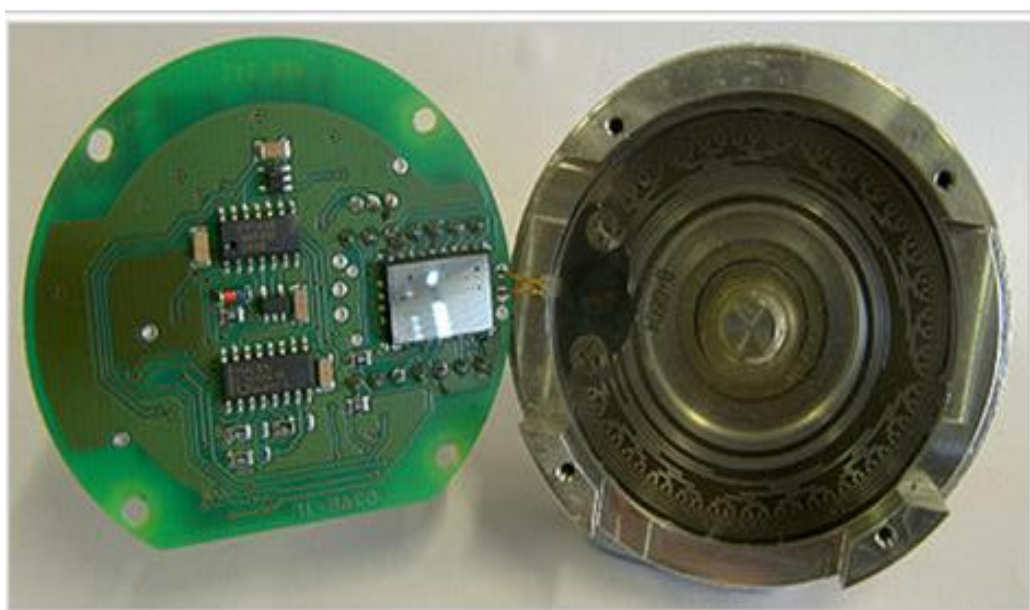
## 8.2 Optické snímače polohy

Inkrementální snímače, snímače přírůstkové nebo inkrementální enkodéry nazýváme čidla, které převádí rotační nebo lineární pohyb na elektrický signál, který dále nese informaci a poloze pohyblivé části zařízení.

Základem těchto snímačů polohy je tzv. **Grayův kód**.

## Grayův kód

Zrcadlový binární kód, známý také jako Grayův kód (Frank Gray, 1887-1969, americký fyzik a výzkumník), je binární číselná soustava, ve které se každé dvě po sobě jdoucí hodnoty liší v bitovém vyjádření změnou pouze jedné bitové pozice. Zrcadlový binární kód byl původně navržen pro zabránění rušivého výstupu z elektromechanických přepínačů (hazardy relé). Dnes je Grayův kód používán pro podporu opravy chyb v digitální komunikaci, jako je digitální pozemní televize a některé systémy kabelové televize. Také některé snímače polohy (lineární i rotační) udávají absolutní polohu v Grayově kódu, aby byl vyloučen výskyt chybné hodnoty při přechodu mezi dvěma sousedními polohami.[12]

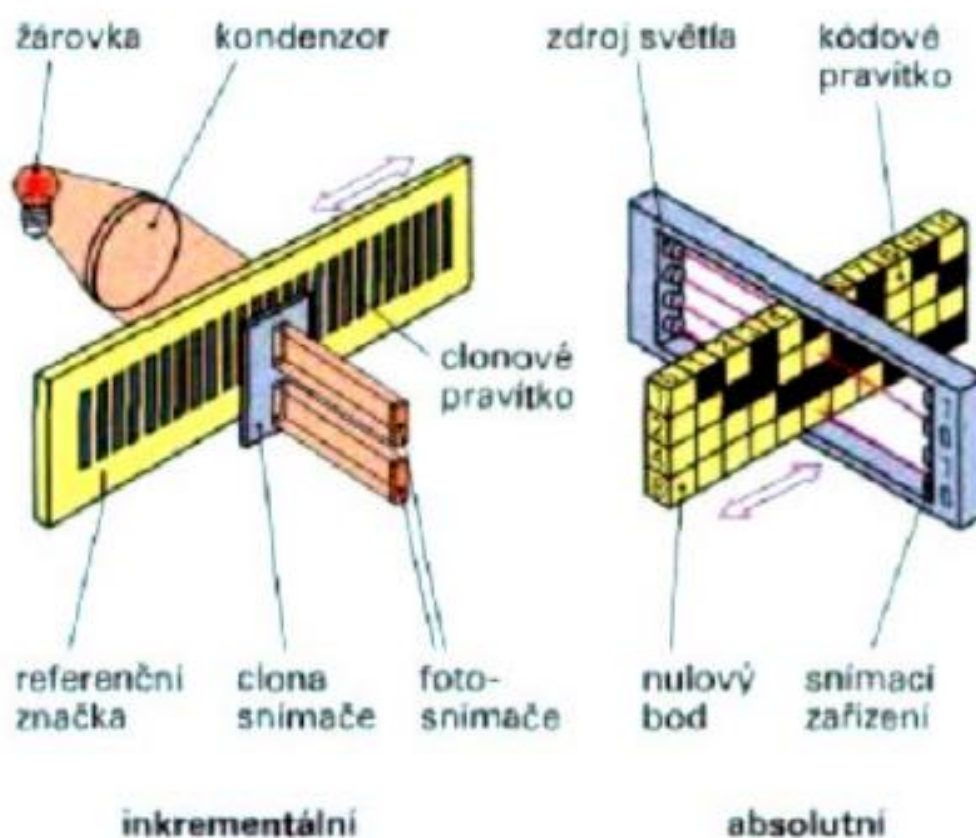


*Obr. 10 Grayův kód použitý na dělicím kotouči absolutního snímače polohy  
(pravá část obrázku, kotouč je v levé části poškozen)*

### 8.3 Základní princip a rozdělení optických snímačů

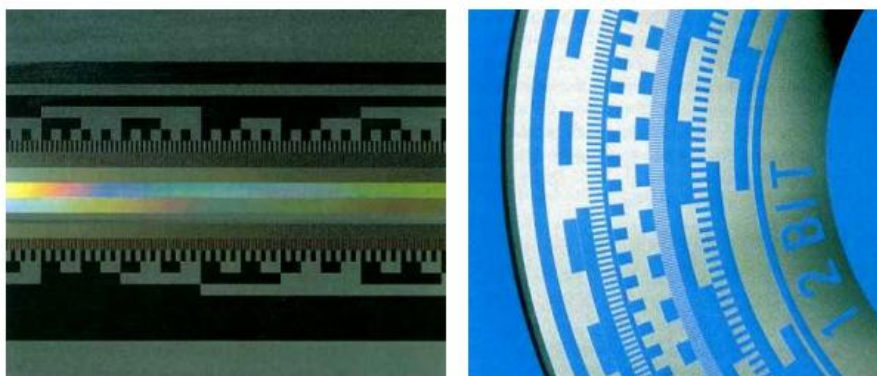
Základem pro velmi přesné odměřování polohy jsou optické snímače úhlového natočení a snímače lineárního pohybu, které využívají převod polohy přímo na číslcový údaj. Bez ohledu na konkrétní fyzikální princip lze tyto snímače rozdělit na snímače:

- Inkrementální: generují sled pulsů
- absolutní: produkují sled unikátních kódů

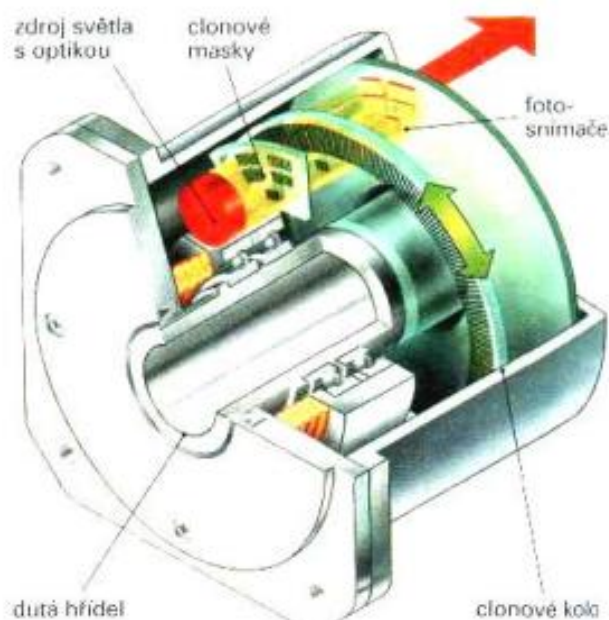


Obr. 11 základní rozdělení inkrementálních čidel

Základem snímačů polohy je pohyblivý disk, na kterém jsou znázorněny jednotlivé fáze polohy či natočení nebo obojího dohromady.



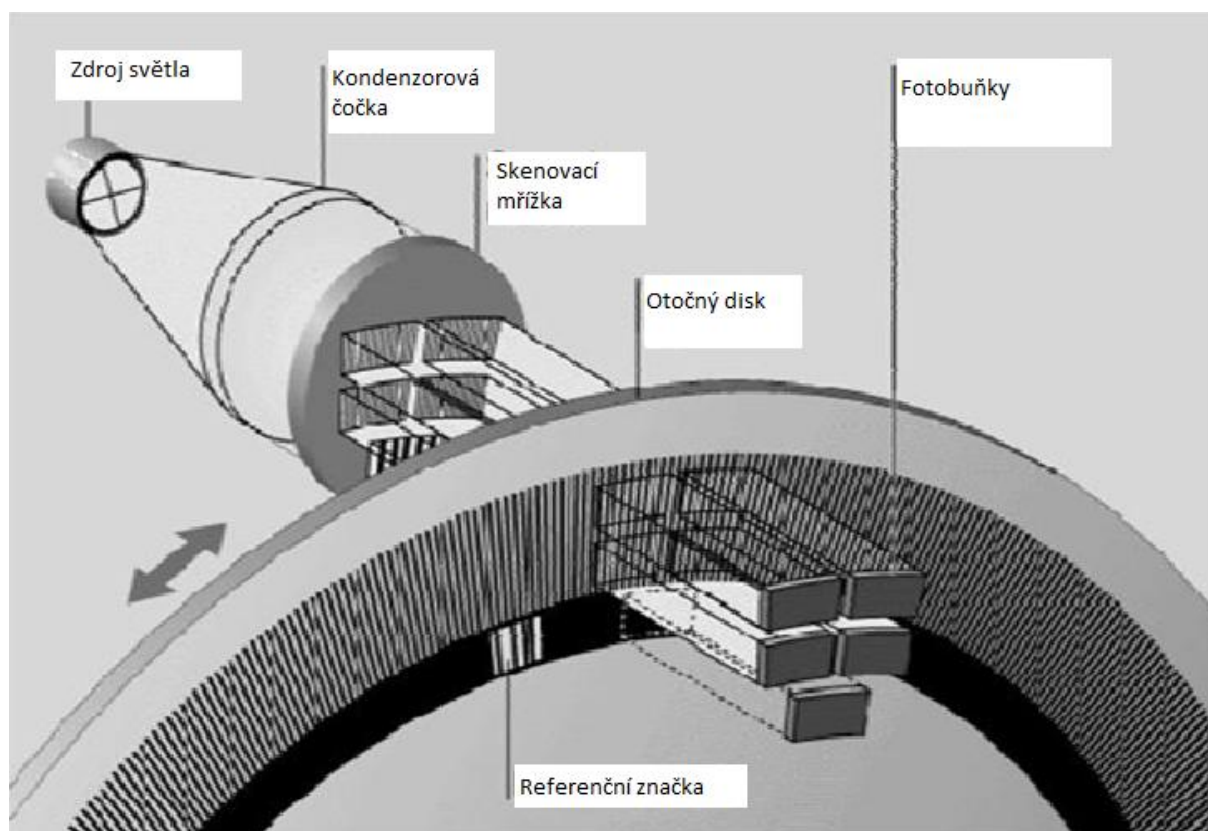
Obr 12 Lineární kódové pravítko a Lineární kruhové měřítko



Obr.13 Princip uložení lineárního kruhového měřítka

Inkrementální optické snímače obsahují zdroj světla, jehož paprsky procházejí kondenzorovou čočkou a vytvoří svazek rovnoběžných paprsků. Tyto paprsky procházejí optickou skenovací mřížkou a pak pohyblivým diskem opatřeným ryskami. Interferencí světla při otáčení disku vznikají stavy světla a tmy. Tyto změny osvětlení se vyhodnocují pomocí dvou párů fotobuněk. [13]

Vzniknou dva elektrické signály, které jsou fázově posunuty o čtvrt periody signálu. Vzájemný fázový posun určuje smysl otáčení kotouče. Elektronické zařízení dále dělí periodu signálu, takže rozlišení je o dva řády jemnější. Vzdálenost rysek je řádově 10 až 20 mikronů, kdežto elektronickým dělením lze dosáhnout až 0,01 mikronu. K určení referenční polohy je na disku ještě zvláštní značka.

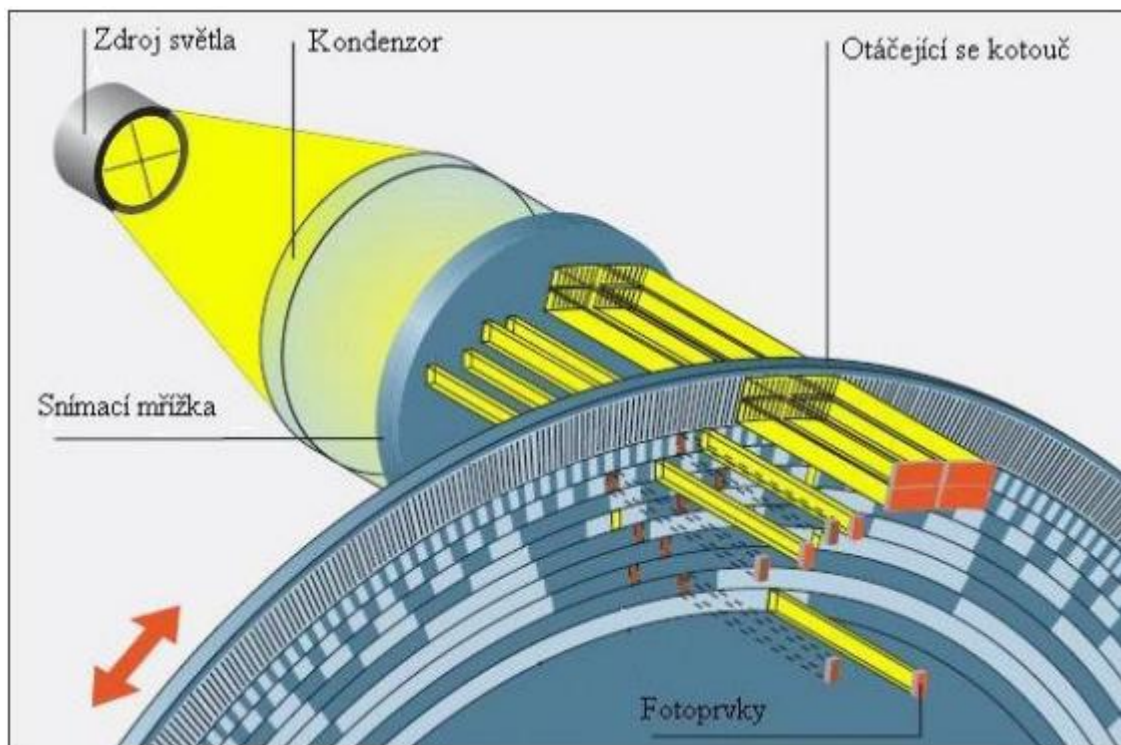


Obr. 14 Inkrementální optický snímač natočení

Úhlové snímače, které generují řadu impulsů, mohou být použity buď k měření úhlového natočení, kde počet přijatých impulsů je úměrný úhlu otočení, nebo jsou určeny k vyhodnocování otáček, kde frekvence impulsů je úměrná úhlové rychlosti.[13]

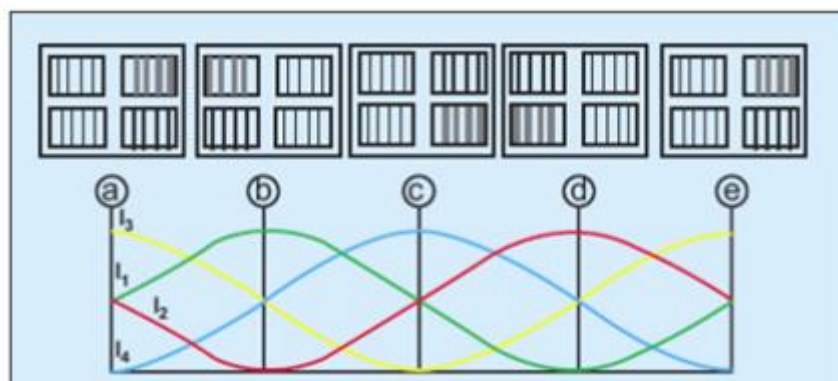
U inkrementálního snímače natočení je třeba po každém zapnutí stroje najet na referenční značku. Je zde také nebezpečí ztráty informace o poloze. Absolutní odměřování detekuje polohu takovou, jaká právě je, protože snímá informaci z velkého množství referenčních značek ve formě dalších stop na kódovacím kotouči. Princip funkce těchto snímačů je zřejmý z obrázku 14. Mezi těmito značkami je snímána poloha inkrementálně.

Kódování polohy je pomocí Grayova kódu, jehož výhodou je to, že sousední kódové kombinace se liší v jednom bitu, což minimalizuje případnou chybu, která je nejvýše rovna otočení kódovacího kotouče o jednu rozeznatelnou polohu. Kdyby se při tomto otočení měnilo více bitů a změna by proběhla jen u některých bitů, pak by byla chyba mnohonásobkem základního rozlišení. [13]



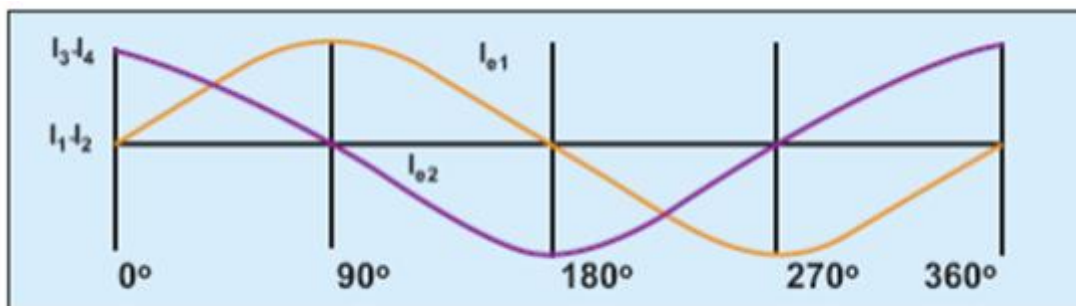
Obrázek 15 Princip fotoelektrického snímače

Inkrementální rotační snímače používají čtyři mřížky, které jsou vůči sobě posunuty o čtvrtinu dělicí periody a jsou paprskovité, aby měly stejný tvar, jako otáčející se kotouč. Obsahují navíc ještě jednu mřížku, tzv. nulový index, určující začátek otáčení. Při otáčení rotoru a tím i pohyblivé mřížky se budou na detektorech vytvářet čtyři sinusové průběhy, které budou vždy vůči sobě předsazeny o  $90^\circ$ . Tyto průběhy jsou znázorněny na obr. 15.[14]



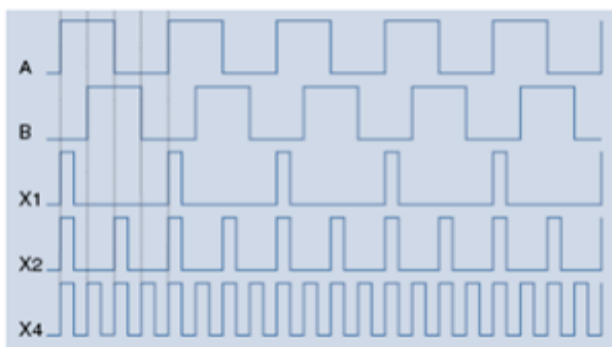
Obrázek 16 Sinusové průběhy na fotoprvcích

Pokud chceme získat symetricky rozložený signál vůči nulové ose, musíme použít diferenciální metodu, která spočívá v antiparalelním zapojení fotodetektorů 3 a 4, 1 a 2. Pomocí této metody odečteme sinusové signály  $I_3-I_4$  a  $I_1-I_2$  a jako výsledek dostaneme dva sinusové průběhy, které jsou vůči sobě symetrické a vzájemně předsazené o  $90^\circ$  - na obr. 17. Tyto sinusoidy jsou pomocí napěťových komparátorů přeměněny na pravoúhlé signály A a B, které nám slouží k rozpoznání směru otáčení. Takové signály se nazývají kvadrurní.[14]



Obrázek 17 Sinusové signály  $I_{e1}$  a  $I_{e2}$

Inkrementální rotační snímače s kvadrurním výstupem nám umožňují měnit rozlišení snímané polohy tím, které hrany detekujeme - na obr. 18:



Obrázek 18 Detekce kvadrurních signálů A a B

- čelo hran pouze jednoho kvadrurního signálu (X1),
- čelo a týl pouze jednoho kvadrurního signálu (X2),
- čelo a týl obou kvadrurních signálů (X4).

**Přesnost inkrementálních snímačů 15**

Pro vyjádření přesnosti inkrementálních snímačů považujeme za účelné zavést pro fázový posuv elektrických signálů označení elektrický stupeň ( $^{\circ}$  el.). Jedna perioda výstupního signálu odpovídá  $360^{\circ}$  elektrickým. Celá otáčka snímače představuje  $(360 \cdot N)^{\circ}$  el., kde  $N$  je počet impulsů na otáčku (ve většině případů – u snímačů bez interpolace – to odpovídá počtu rysek kotouče). [15]

U snímače s 5 000 ryskami na otáčku odpovídá přesnost  $\pm 50^{\circ}$  el. úhlové nejistotě  $0,01^{\circ}$ . Jde o nejistotu úhlu u každé z 20 000 hran obou signálů. Nejvyšší dosažitelné rozlišení při čtyřnásobném vyhodnocení je u tohoto typu snímače  $360^{\circ}/(4 \cdot 5\,000) = 0,018^{\circ}$ . Nejistota úhlu natočení může mít různé příčiny, např. nepřesné vycentrování jinak dokonalého rastrového kotouče.

U snímače s 5 000 ryskami na otáčku s tolerancí  $\pm 50^{\circ}$  el. může být maximální nesouosost, tj. odchylka středu dělení rastrového kotouče a středu otáčení hřídele, 0,003 mm. Průběh úhlových odchylek vzniklých vlivem nesouososti je při otáčení hřídelí snímače sinusový. Lze si to představit tak, že jedna polovina otáčky je jakoby kratší a druhá delší. Při natočení o polovinu otáčky může být u snímače s tolerancí  $\pm 50^{\circ}$  el. odchylka měřeného úhlu  $180^{\circ}$  maximálně  $100^{\circ}/N$ . To je v případě, že by se podařilo zvolit nejméně příznivou výchozí pozici měření. Všechny ostatní úhlové odchylky způsobené nesouosostí jsou menší, v nejpříznivějším případě je odchylka způsobená nesouosostí, nulová. [15]

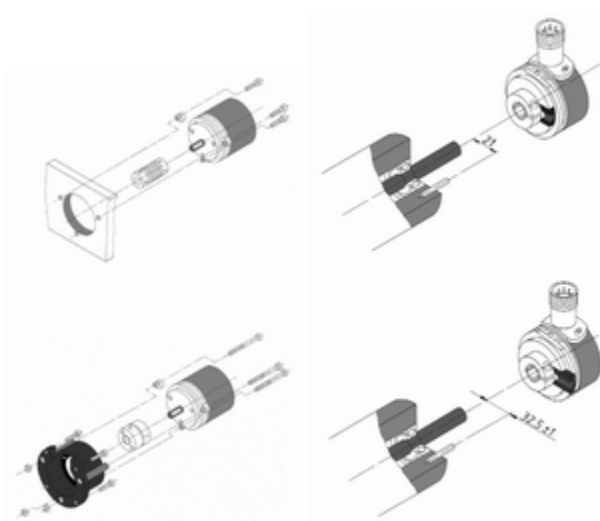
Ve specifikaci přesnosti je nutné zabývat se také fázovým posuvem signálů. Ten je definován jako fázový odstup shodných hran signálu 1 a signálu 2. Při montáži snímače se nastavuje na nominální hodnotu  $90^{\circ}$  el. a u standardního snímače musí být za provozu v tolerančním pásmu  $(90 \pm 25)^{\circ}$  el. Odstup souhlasných hran sousedních signálů tedy musí být z intervalu  $(65; 115)^{\circ}$  el. Při úvahách o nejistotě měření pomocí rotačního snímače je vždy nutné počítat také s nejistotou nastavení fázového posuvu signálů. Tato chyba má také sinusový průběh s periodou shodnou s periodou signálu. [15]



Rotační senzory se dají rozdělit podle konstrukce na:

- enkodéry s hřídelí
- enkodéry bez hřídele = s dutinou

Verze s dutinou se začaly nabízet teprve před několika lety, ale v současné době se z důvodu snadnější montáže stávají stále více vyhledávanými. U nich je totiž napojení na systémy s vlastní hřídelí (např. motory) snadnější a odpadají spojky, ve kterých může navíc docházet k nechtěnému prokluzu mezi hřídelí stroje a senzoru. [16]



Obr 19 Možnost připojení rotačních senzorů s hřídelí (vpravo) a s dutinou (vlevo)



Obr 20 Ukázka inkrementálního snímače s hřídelí od firmy Kuebler-Sendix 5000



Obr21 Ukázka inkrementálního snímače s utinou GEL 293 od firmy Lenord+Bauer

**Montáž**

15

Snímače polohy, zvláště s velkým rozlišením, je nutné správně namontovat. Obecně platí, že je třeba vždy použít pružnou hřídelovou spojku nebo pružné upevnění snímače. Ložiska ve snímači jsou předepjatá, a tudíž bez mechanické vůle. Spojí-li se pevně hřídel snímače s hřídelí, jejíž natočení se má měřit a jež je uložena s určitou vůlí, jsou ložiska snímače vystavena mechanickému zatížení, které má podstatný vliv na jejich životnost. Ještě horší je situace tehdy, spojí-li se pevně hřídele, které nejsou souosé. V takovém případě vede zatížení ložisek snímače velmi rychle k jejich zničení a v extrémním případě dokonce ke zlomení hřídele.[15]

U snímačů s (plnou) hřídelí je třeba zajistit zvláště přesné nastavení hřídele v radiálním směru. Pružné spojení musí být konstruováno tak, aby případná odchylka v radiálním směru neměla vliv na přesnost určení úhlové polohy. U dynamicky náročných měření je třeba vzít v potaz také tuhost spojky v krutu a její rezonanční frekvenci.[15]

U snímačů s dutou hřídelí musí být hřídel dobře vycentrována vůči otvoru ve snímači a pružná montážní ramena snímače nebo pružná satorová spojka musejí být namontovány bez vůle. Například maximální chybě snímače  $\pm 50^\circ$  el. odpovídá tolerance souososti 0,02 mm (popř. házivost 0,04 mm) nebo vůle v upevnění ramen  $\pm 0,02$  mm. Nebudou-li tyto tolerance při montáži dodrženy, bude snímač při měření vykazovat chyby, které budou větší, než je úhlová nejistota udávaná pro určité typy snímačů.[15]

U snímače s dutou hřídelí je třeba počítat také s vlivem vibrací, kterým je snímač vystaven vždy, když při montáži není kompenzována házivost. Například snímač, který byl namontován s házivostí 0,1 mm, je při otáčkách 3 600/min namáhán stálými vibracemi s amplitudou zrychlení  $7 \text{ m/s}^2$  a frekvencí 60 Hz. Snímač samotný tyto vibrace snese většinou bez problémů, ale může dojít např. k poškození nebo uvolnění přívodního kabelu.[15]

### **Chyby senzorů**

Chyby senzorů mohou být dány zvolenou konstrukcí, použitou elektronikou kde se může projevit především proměnlivá svítivost LED a citlivost fotodiod (fotosenzoru), nepřesnosti rozměrů a geometrie polohy průhledných prvků senzoru nebo excentrické uložení rotoru a uložení kotouče v případě detekce úhlu natočení. Mohou se projevit také vlivy okolí jako zkreslení signálu vedením, mechanické vibrace nebo překročení maximální frekvence signálu. Všechny tyto chyby se mohou projevit na výstupních signálech A a B. Typické jsou také kombinace těchto vlivů, např. při velmi pomalém posuvu (otáčení) a působení vibrací může dojít k vícenásobné detekci jednoho pulsu.[17]

Optické snímače jsou obzvláště citlivé na tři druhy poškození:

- selhání těsnosti senzoru, které dovolí vniknutí znečišťujících látek (voda, špína, olej)
- poškození optického disku během nárazu nebo kmitání
- selhání ložiska 8][14]

### **Shrnutí**

Z uvedeného přehledu je patrné, že pomocí inkrementálních snímačů lze dosáhnout v případě potřeby velmi přesné informace o aktuální nebo absolutní poloze. Kromě výběru typu a konstrukce snímače mají na přesnost měření vliv i mechanické uspořádání měřené soustavy, přesnost mechanického uspořádání, možné vnější vlivy i možnosti údržby a seřízení. V případě porovnání sestav pohonů, skládaných z asynchronního motoru, spojky, inkrementálního snímače a vyhodnocovací jednotky a na druhé straně kompaktního synchronního motoru se snímačem polohy/otáček na ose motoru, umístěným ve společné skříni, vychází lepší podmínky pro dosažení požadované přesnosti u synchronní soustavy. Odpadají nebo se minimalizují chyby v ložiscích, prokluzu spojovaných dílů, teplotní rozdíly v ohřívání jednotlivých částí soustavy, servisní a provozní zásahy.

## 9 Tendence vývoje elektrických strojů

Pro vývoj elektrických strojů jsou rozhodující tyto skutečnosti:

- 1) Počty vyrobených elektrických strojů se neustále zvyšují.
- 2) Provozní účinnost a kvalita elektrických strojů se podstatně zvyšuje.
- 3) Roste snaha o dosažení minimálních pořizovacích a provozních nákladů.

Současně platí tyto obecné tendence:

- 1) Použití nových dokonalejších materiálů, zejména izolací, umělých hmot, supravodičů, permanentních magnetů.
- 2) Nové technologické postupy výroby strojů, zaměřené na odstranění ruční práce, a tedy odstranění chyb při výrobě, rychlost výroby, apod.
- 3) Využití počítačů při výzkumu, vývoji, výrobě, zkoušení i provozu elektrických strojů.
- 4) Zdokonalení elektromagnetických obvodů a tepelně ventilačních návrhů. [18]

### 9.1 Vývoj elektrických strojů v průmyslu

Vysokorychlostní synchronní motory s permanentním magnetem - jsou navrženy tak, aby dosahovaly co nejvyšších rychlostí otáčení. Při výkonu 6 MW lze dosáhnout až 17 000 otáček za minutu. Rotor je složen z permanentních magnetů ze vzácných zemin. Magnety se magnetují až po montáži. Rotor je složen z permanentních magnetů a pojistného kroužku, který zajistí mechanickou pevnost rotoru. Kdyby zde tento kroužek nebyl, rotor by se při tak vysokých otáčkách rozpadl. Použití v plynárenském a těžebním průmyslu.[18]

### 9.2 Supravodivé motory

Supravodivé motory jsou typy střídavých motorů, odlišují se od ostatních vinutím z vysokoteplotních supravodičů. Je všeobecně známo, že supravodivé materiály přenášejí mnohem větší proudy, to má za následek větší magnetické pole. Využití těchto motorů je pro pohony kompresorů, čerpadel, větráků prostě tam, kde je potřeba nepřetržitý provoz jako třeba ocelárny a papírny.[18]

## 10 Dopravníkové pásy

Pohybování lahví, plechovek, PET lahví a dalších nádob, které se plní tekutinou nebo látkou pro ně určenou je po hale zajišťováno dopravníkovými pásy

Dopravníkové pásy mají různé tvary a délky a jejich využití patří k nejuvhodnější dopravě výrobků po výrobní hale.

Základem každého dopravníku je pohon, kterým poháníme určitou část pásu, záleží na jeho maximálních otáčkách, chybovosti, údržbě, rychlosti odezvy a dalších proměnných.

Pokud budeme vycházet z praxe, tak se musíme na začátku podívat, jak má zákazník navrženou trasu transportu. Mezi jednotlivými transporty jsou umístěny stroje tak, aby výrobní postup byl kontinuální a plynule a efektivně navazoval

Pokud se podíváme níže, kde je vyobrazena část již realizované linky, kde je transport mezi tzv. horkovzdušným tunelem, kde jednotlivé lahve nebo balení o čtyřech, šesti, dvanácti, čtyřiceti, či třiceti, např. plechovek, zataví do folie, kterou se obalí v přední části a ve druhé části se teplým vzduchem zataví do požadovaného tvaru.



*Obr 22 Teplotní tunel ve výstavbě*

Další stroj nacházející se na konci dopravníkového pásu je tzv. Paletizér neboli Robobox. Na tomto stroji se jednotlivé kusy kartonů skládají na paletu, což zajišťuje robotická ruka, která rovná jednotlivé kartony tak, aby se paleta úplně zaplnila. Po naplnění palety je zde ještě další stoj, který už zde není zobrazený. Je to balička, na níž je folie, která se obalí okolo palety, aby nedošlo k uvolnění jednotlivých kartonů.

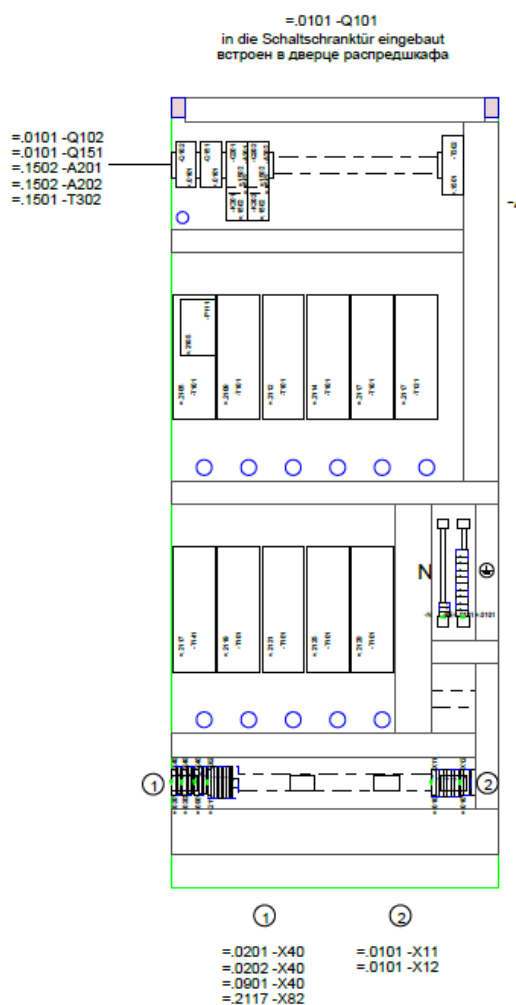


Obr 23 Robobox- Paletizér rovná kartony na správnou pozici na paletě

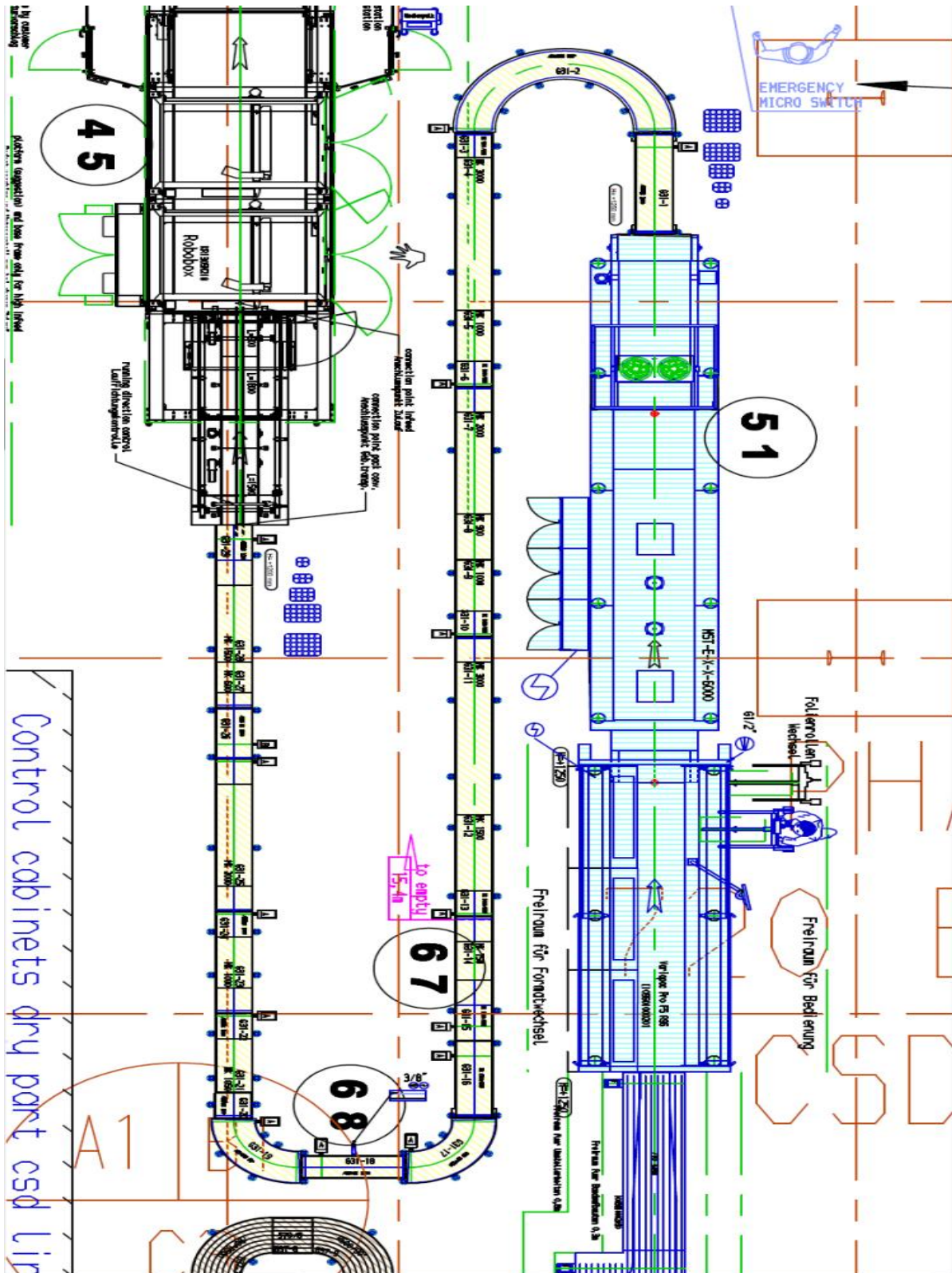
Další částí je samotný dopravníkový pás, na konci tunelu na obr.36 vidíme rozměry jednotlivých kartonů, které je schopen maximálně přepravit k Roboboxu, kde se následně naskládají na paletu a jsou dále expedováni. Při bližším prozkoumání obrázku uvidíme čtverečky, ve kterých je písmeno A (z německého Antriebe – pohon). Vidíme, že každý pohon takzvaně táhne svojí část dopravníkového pásu. Pohony jsou jednotlivě rozmístěny a nastaveny tak, aby v každém úseku dopravy měli odpovídající rychlost. Například před zatáčkou budou částečně zpomaleny, aby nedošlo k jejich vyhození z pásu nebo zdeformování obalu. Na tomto úseku je 15 pohonů. Každý z těchto 15 pohonů má svůj frekvenční měnič. Ty jsou umístěny v rozvaděčové skříni podle toho, zda chce zákazník umístit rozvaděče přímo na výrobní hale u strojů či v rozvaděčové místnosti, kde jsou centrálně umístěny rozvaděče pro většinu transportu. Dále na každé části pásu, kterou táhne pohon, jsou umístěny čidla jejichž funkce je hlídání plnosti pásu, tzn. pokud nastala chyba, či nějaký problém jež zapříčinil následné zaplňování pásu, čidla postupně

posílají informace na řízení a jednotlivé karty v něm, a dále zde nastává komunikace s frekvenčním měničem, a ten zpomaluje a odstavuje jednotlivé pohony tak, aby linka plynule zpomalila a obsluha mohla problém v co nejkratší době vyřešit a odstranit. Nebo jsou zde také čidla, která posílají informaci kolik daným místem prošlo kusů kartonu pro následný report o tom, na kolik procent linka pracuje, na kolik je vytížena a jak se dá s výrobou buď zrychlit či zpomalit.

Obrázek 24 rozvaděčový návrh a rozvaděč patřící k této dopravě



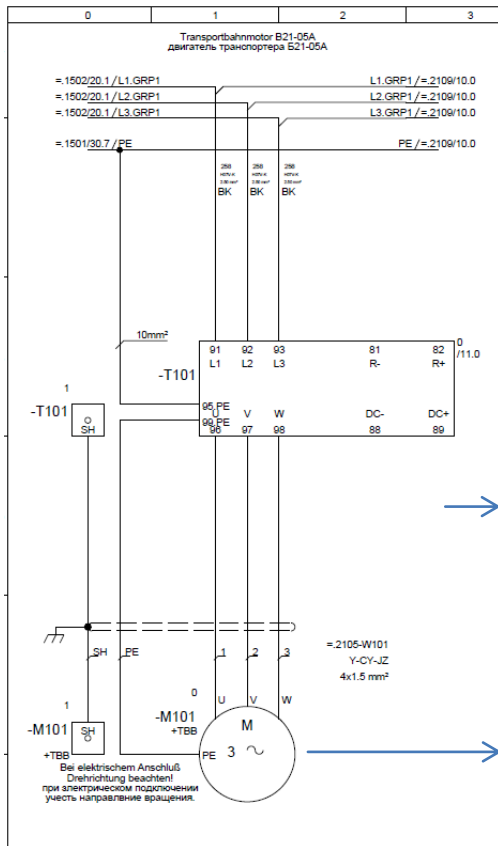
Na levé straně vidíme nákras rozvaděče, který vychází z elektro plánu, jež je základem pro mechaniky a pracovníky na dílně, kteří skládají jednotlivé části dohromady, pro jištění frekvenčních měničů je zde jeden skupinový jistič. Dále zde vidíme řazení jednotlivých frekvenčních měničů ovládající asi  $\frac{3}{4}$  linky (11 frekvenčních měničů – 11 pohonů). Pro případ, který vidíme níže, byly realizovány 3 rozvaděčové skříně. První dvě jsou silové a jsou do nich instalovány frekvenčních měničů, a v poslední je SPS ( PLC řízení od firmy Siemens) a 24V ochranné prvky.



Obr 25 Část již vyrobené linky, která se nachází v Číně transport spojuje teplotní tunel a Robobox



V neposlední řadě bych chtěl naznačit zapojení frekvenčních měničů, motoru a čidla v plánu.

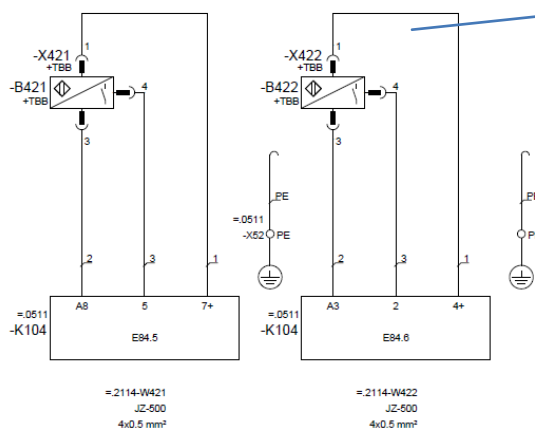
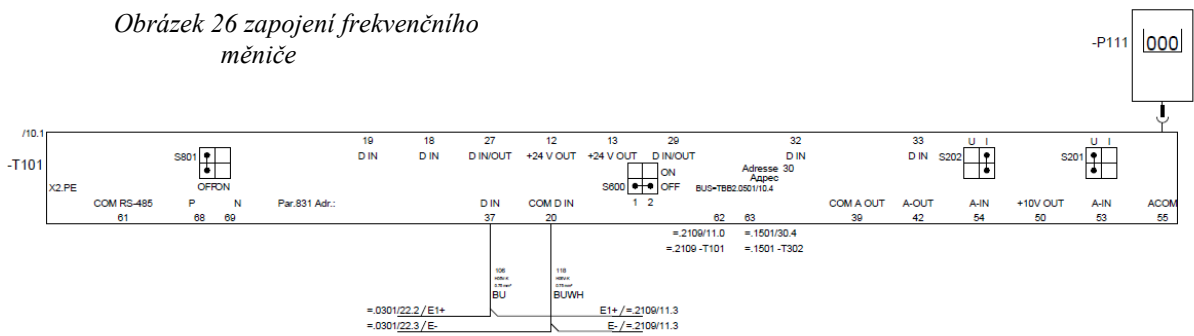


Zapojení frekvenčních měničů, který je zapojen sériově s dalšími frekvenčními měniči. ty jsou zapojené pod jedním skupinovým jističem.

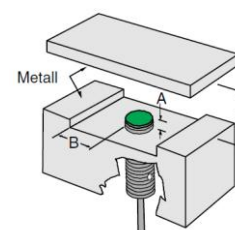
→ Nejčastěji se používají FM od firmy Danfoss typ FC302-1.50 kW.

→ Jeden z nejvíce používaných pohonů od firmy SEW Eurodrive – Movigear MGFAS2-DMS.

Obrázek 26 zapojení frekvenčního měniče



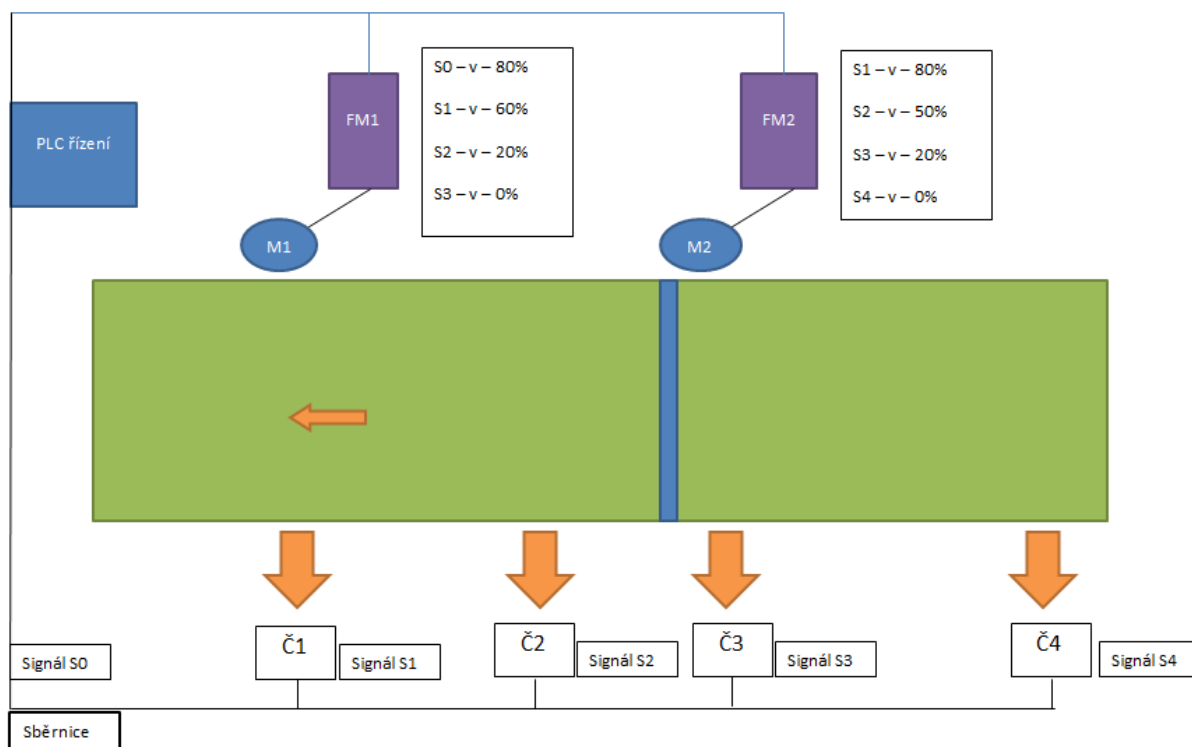
→ Indukční čidlo od firmy Pepperl+Fuchs GmbH, které je umístěné na kraji transportu reaguje na stlačení metalické zábrany a změně indukce.



Obrázek 27 zapojení indukčního čidla

## 11 Simulace

Obr 28 Orientační schéma měřeného segmentu



Vycházíme z obrázku již postavené linky a chceme simulovat postupné zaplňování linky po vzniklé chybě na dopravníku.

**Popis problému** – pásový dopravník, přepravující kartony plechovek nebo láhve se začne kvůli blíže nespecifikované chybě zaplňovat a bude pomalu vypínat svou funkci a zpomalovat až do fáze, kdy se přepravované části budou plnit v našem měřeném a simulovaném segmentu. Bude docházet k jednotlivému zpomalování motorů až k jejich úplnému zastavení. Na orientačním plánu vidíme dva motory, každý z nich pohání svoji část pásu, a každý z nich je ovládán jedním frekvenčním měničem. Na druhé straně dopravníku jsou umístěna dvě čidla pro každý kus pásu a jejich sepnutím se vyšle signál do PLC řízení, které následně komunikuje s frekvenčními měniči, a jednotlivými signály jsou zpomalovány, až dojde k jejich úplnému vypnutí. Následné najetí na zpětnou maximální rychlost je obrácený režim. Pokud dojde k odstranění problému vzniklého před naší měřenou částí, signály jednotlivých čidel se uvádí opět do chodu motory, čidlo umístěné v části pásu před našim simulovaným, dává prvotní signál motoru, že může pomalu najíždět na nastavenou rychlost a uvolňováním dopravníku a vyřazením čidel, které zpomalovali, tak teď dávají jejich rozepnutím signály řízení a dále FM, aby se motory rozjízďely po nějaké nastavené době a na jednotlivé rychlosti, až dojde

k úplnému obnovení činnosti a opětovnému najetí na standartní výrobní rychlost.

### 11.1 Simulace v Matlabu

V programu Matlab jsme simulovali nejdříve tok jednotlivých lahví, poté nastalou chybou a spínání jednotlivých čidel umístěných na našem navrženém pásu, dále rychlosti obou motorů jak na bufferu jedna tak na bufferu dva.

Navrhli jsme si základní data, která jsme zadávali do Matlabu.

Vzdálenost čidel – od začátku k prvnímu čidlu 1m, mezi dalšími čidly je také vzdálenost 1m, to znamená, že délka simulovaného pásu je 4m. Šířka pásu je 0,5m, z toho můžeme spočítat, že plocha pásu bude  $2\text{m}^2$ .

Dále pokud vycházíme z toho, že lahev má v průměru 6cm a pás má šířku 0,5m, tak se jich vedle sebe vejde maximálně 9 a na délku 1m se jich naskládá 17. Takže si může spočítat, že na  $0,5\text{m}^2$  naskládáme 153 lahví.

Pro naplnění celého pásu tedy máme zhruba 600 lahví.

#### Popis problému nastalého na výrobní lince (popis simulace)

1. Najíždění pohonu na provozní rychlost  
V simulaci jsme nastavili čas 15s po kterém nastane chyba
2. **Sepnutí Č0** - to se nachází na předešlé části pásu, a to zpomalí pás na 80% jeho provozní rychlosti (zpomalování bude trvat 5s)
3. Plnění dopravníku
4. **Sepne Č1** – M1 zpomalí na hodnotu 60% rychlosti, M2 zpomalí na 80% rychlosti (časový úsek zpomalování nastaven na 5s, aby nedocházelo ke skokové změně rychlosti a cukání, či nárazům na dopravníku)
5. **Sepne Č2** – M1 zpomalí na hodnotu 20% rychlosti, M2 zpomalí na 50% rychlosti (časový úsek nastaven na 5s, aby nedocházelo ke skokové změně rychlosti a cukání, či nárazům na dopravníku)

6. **Sepne Č3** – M1 dochází k zastavení na nulovou rychlost, M2 zpomalí na 20% rychlosti (časový úsek nastaven na 5s, aby nedocházelo ke skokové změně rychlosti a cukání, či nárazům na dopravníku)
7. **Sepne Č4** – M1 pořád vypnut, M2 vypnut (časový úsek nastaven na 5s, aby nedocházelo ke skokové změně rychlosti a cukání, či nárazům na dopravníku)
8. Oba motory jsou vypnuty, oba (pásky) buffery jsou naplněny a čeká se jen na odstranění problému vzniklého v přední části pásu.

**Předpoklady:**

Ustálený stav – lahve jedou v jedné řadě za sebou rychlostí 12ks/s.

V simulaci není zahrnut jev, kdy rychlost lahví je nižší než rychlost pásků - prokluz (zejména při naplnění bufferů).

Vytvořili jsme dvě základní simulace, které se ale nedají aplikovat plošně, jsou to simulace přímo a jen pro naši část navrhovaného segmentu.

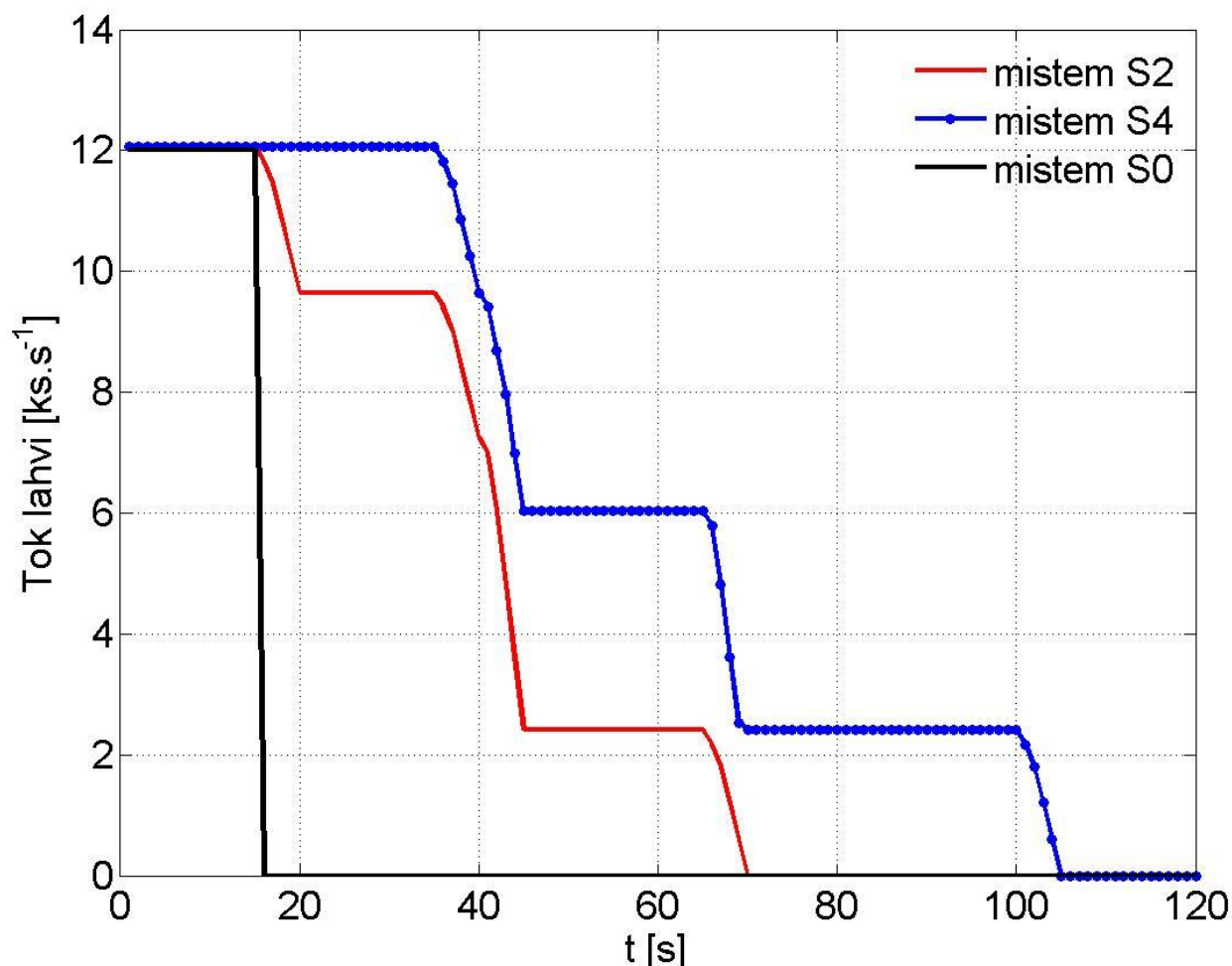
Simulaci jsme udělali jednu, ale ve dvou verzích. Upravovali jsme některé parametry tak, aby se výsledné grafy daly porovnávat, a viděli jsme jednotlivé rozdíly.

Šlo nám hlavně o to, abychom zohlednili jednotlivá kritéria kladené na dopravníkové pásky jako rychlosti zaplnění jednotlivých částí pásu, rychlost toku média přepravovaného po pásu, dále rychlosti motorů a jejich jednotlivé snižování rychlosti a odezvy jednotlivých čidel. Chceme se pokusit o simulaci reálné linky jen s vlastním návrhem. To znamená navržení počátečních stavů podmínek a ty simulovat.

Proto zde máme simulace dvě. Na první si ukážeme chod pásu a jeho nedostatky, a ve druhé simulaci se pokusíme některé nedostatky odstranit.

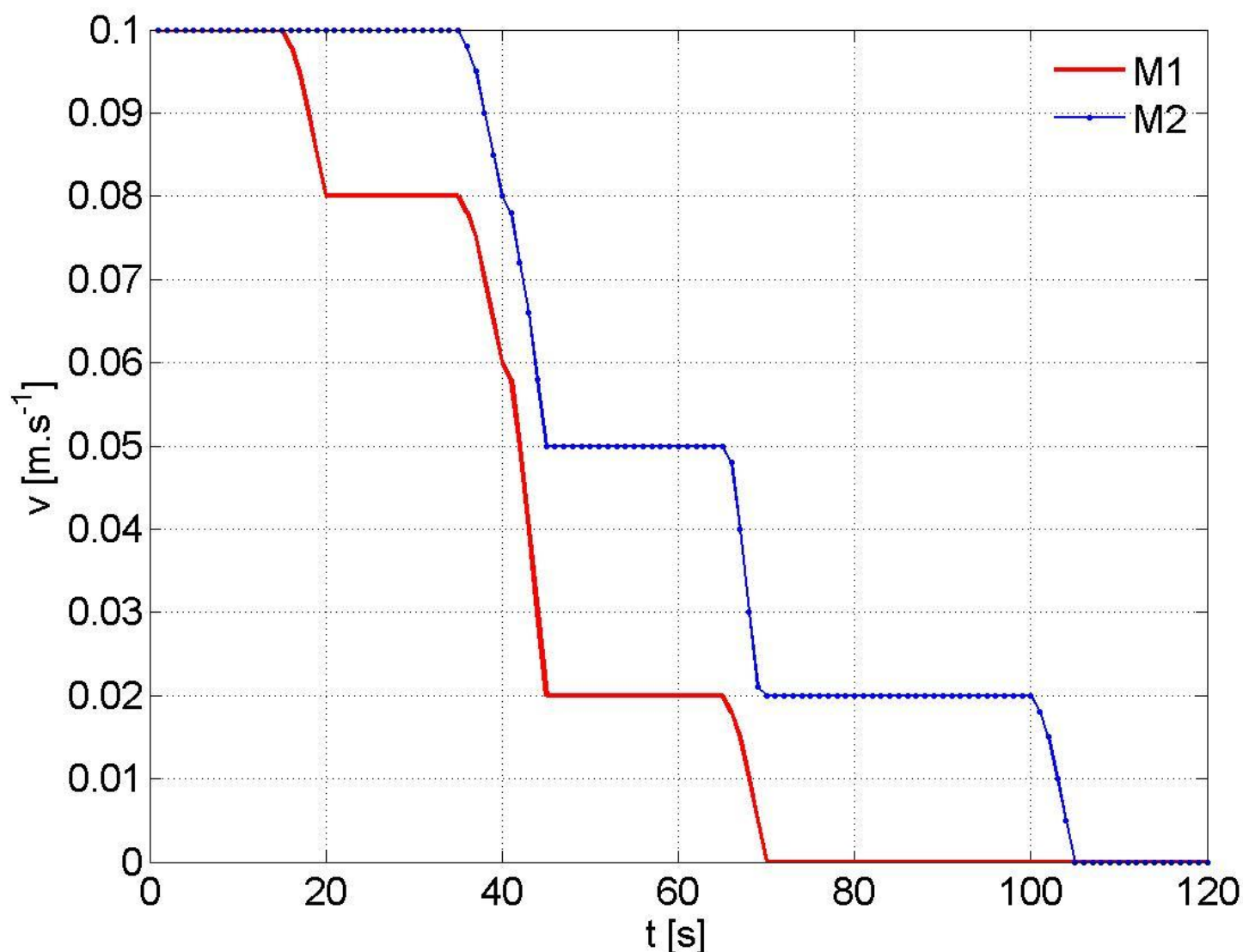
## 11.2 Simulace Verze 1

V simulaci číslo jedna začneme s tokem lahví.



Obr. 29 obrázek rychlosti průtoku lahví jednotlivými místy na pásu

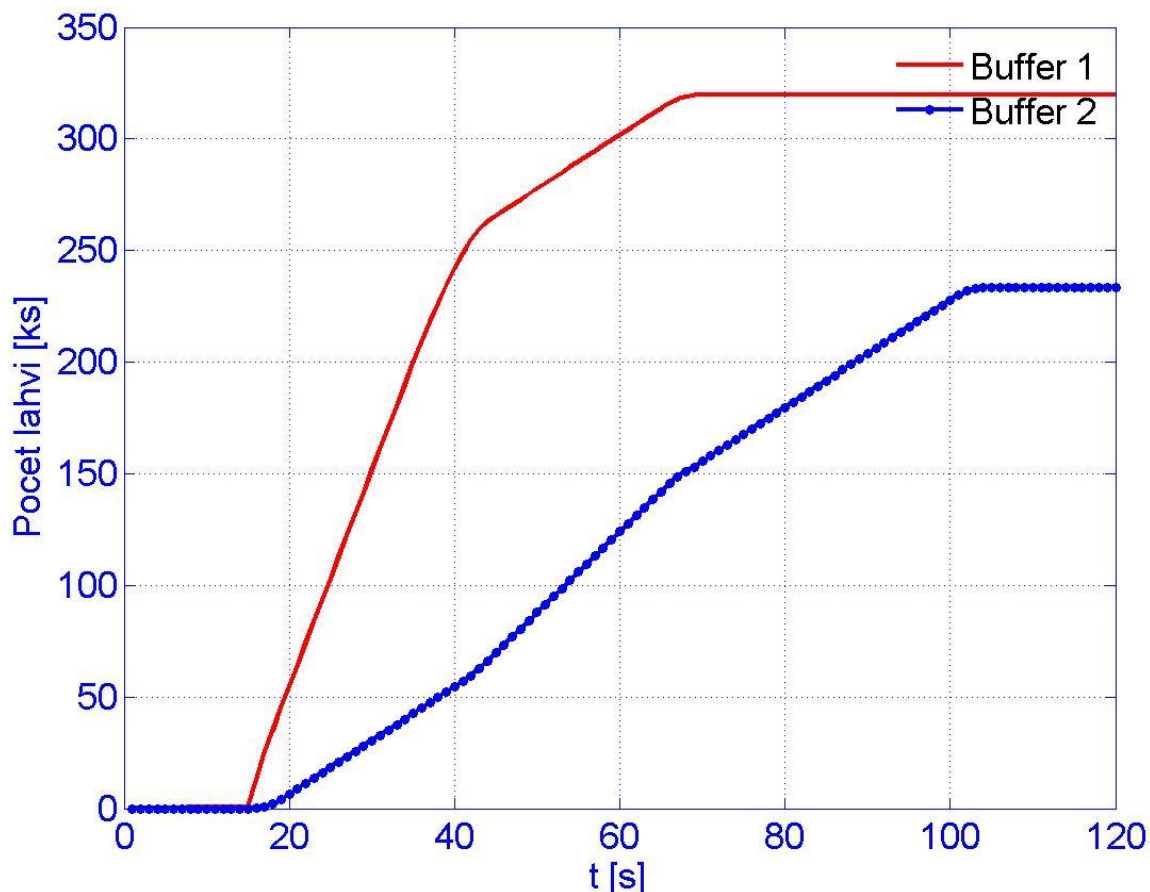
Z grafu je vidět, že prvních 15s, které jsme si nadefinovali, byl průtok lahví všemi sledovanými místy 12ks/s. Černá čára nám ukazuje tok lahví při sepnutí Č0, tok lahví v místě S0. Čidlo 0 je posledním čidlem na předcházejícím pásu, a tak vypíná motor, který jím pohybuje, ale zároveň vysílá signál k PLC řízení, a to frekvenční měnič, který je u motoru a ten upravuje rychlost motoru1. Je zde zřejmé, jak se mění tok lahví místem S2. Nejdříve protéká necelých 10ks/s, což zapříčinilo sepnutí čidla 0. Dále je vidět jak rychle za sebou reagovala čidla 1 a 2, ve 40 sekundě je vidět jen malý záchvěv a udržení rychlosti toku lahví, a hned další sepnutí čidla. Tok lahví se udržel zhruba 2-4s a došlo k dalšímu sepnutí následujícího čidla a tok se opět změnil. Tok lahví se nejdéle udržel v místě S4 . Protože motor motor2 se točí nejdéle a posledních 30s byl tok minimální, a to cca 2ks/s.



Obr. 30 vývoj rychlosti M1 a M2

Na grafu vidíme jednotlivé zpomalování obou motorů, jak bylo na začátku řečeno prvních 15s byl stav obou motorů 100% a nenastala žádná porucha. Motor 1 - 15 sekunda sepnutí čidla 0, což mělo za následek jeho zpomalení na 80% rychlosti Motor 1 a 2 - 35 sekunda zareagování čidla 1, a to mělo za následek zpomalení obou motorů prvního na 60% a druhého na 80%. Vidíme, že doba trvání této jejich rychlosti byla asi jen 2 sekundy, což není dobré pro elektroniku a další části pásu, protože se změna stavu vůbec nestačila ustálit. Motor 1 a 2 - po sepnutí čidla 2 je názorně vidět, jak se rychlost obou motorů mění v podstatě hned po zareagování čidla 1, tak dále přichází signál od čidla 2, které je sepnuto asi po 2 sekundách a oba motory zpomalují po sestupné hraně 5s. Další zpomalování je už závislé na toku lahvi, a je vidět, že to už není tak rychlé. motor 1 - sepnutím čidlo 3 dochází k jeho vypnutí, zpomalení na nulu a motor 2 zpomalí na 20%

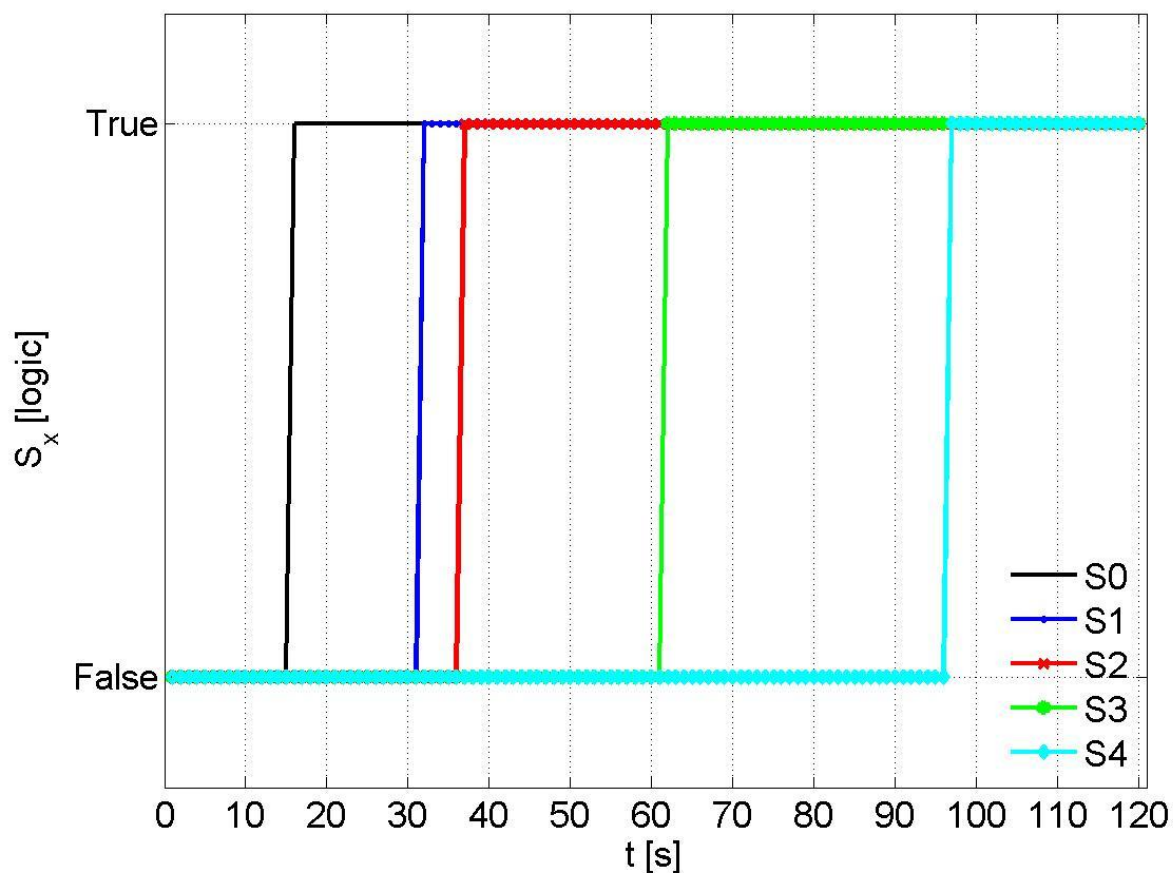
rychlosti. V poslední řadě spíná čidlo 4 a vypíná motor 2, který také po souběžné hraně nastavené na FM zpomaluje na nulové otáčky, a zároveň dochází ke zpomalení následujícího motoru, který se nachází v další části dopravníku.



Obr. 31 na grafu vidíme jak se plní jednotlivá části pásu

Graf zobrazuje plnění první a druhé části pásu, zvaných buffer. Nejdříve se plnil buffer jedna. Na začátku grafu je vidět pro buffer jedna sepnutí čidla 0, bohužel není viditelné sepnutí čidla 1, a tak se buffer jedna plní, dalo by se říci, konstantně až do doby sepnutí čidla 2 – na grafu znázorněné jako první lomení, druhé lomení je sepnutí čidla 3, které vypíná motor 1. Graf pro buffer dva je lepší pro znázornění, je zde vidět jednotlivé zapínání čidel a jeho pomalejší plnění. Výsledek naplnění obou bufferů by se někomu mohl zdát zavádějící, protože velikost obou bufferů je stejná a podle počtu lahví se jeví, že buffer jedna je plnější než buffer dva, bohužel to je způsobené tím, že čidlo pro vypnutí motoru 1, které se nachází v části bufferu dva. Takže chyba je zde taková, že sice po zaplnění bufferu jedna motor pořád běží a simulace ho vnímá tak, že se na něj láhve pořád plní. Ale vlastně se plní na druhý, ale motor pohání pás,

a ten pod lahvemi prokluzuje. Pokud ale sečteme počet lahví na obou bufferech, dostáváme se na číslo, které už smysl dává, a blíží se výsledku, který jsme si na počátku vypočetli.

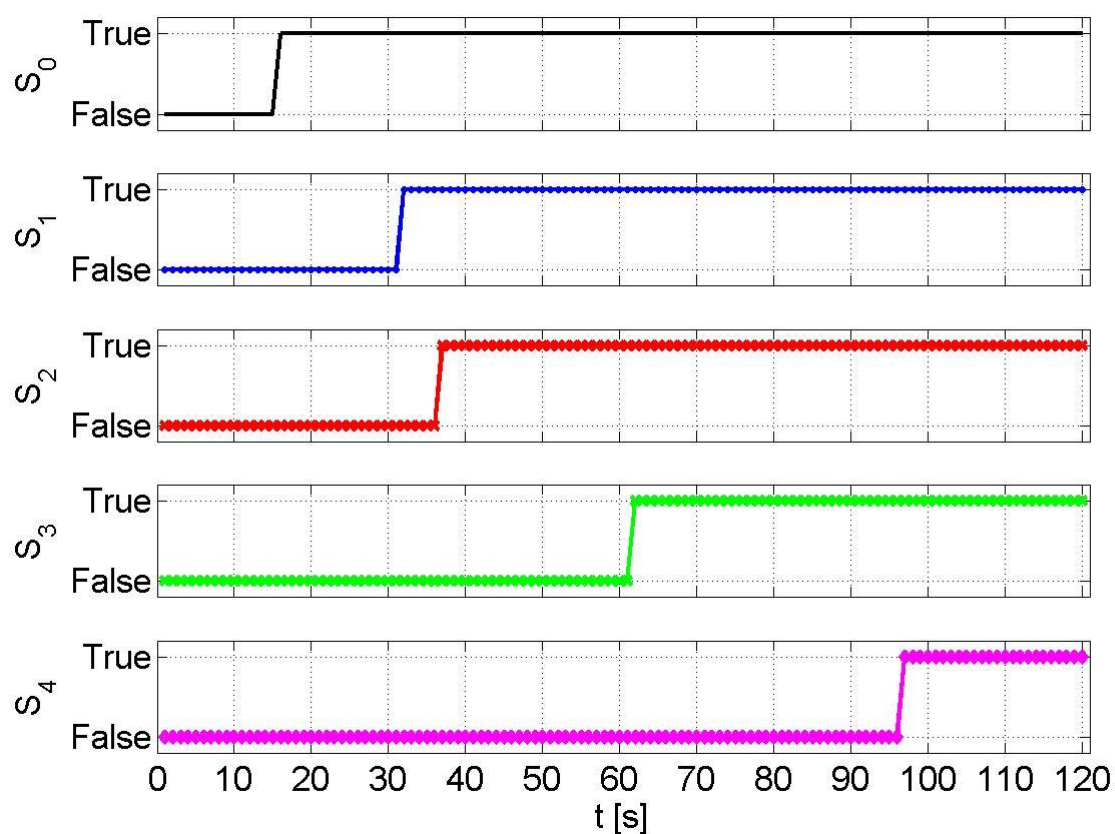


Obr.32 časy spínání čidel

Z grafu vidíme rychlosti spínání jednotlivých čidel. Nejdříve spíná čidlo 0 po prvních 15s chodu a stahuje rychlost prvního motoru na 80%. Další spíná čidlo 1, které zpomaluje oba motory první na 60% druhý na 80%. Zde je vidět jak rychle se plní buffer jedna a spíná v podstatě okamžitě čidlo 2, protože rychlost obou motorů je pořád dost vysoká.

Čidla 3 a 4, nacházející se na druhé části pásu, se spínají s většími časovými prodlevami, a to proto, že motor 2 byl zpomalován postupně už od začátku po sepnutí prvního čidla. Sepnutím čidla 4 končí veškerý pohyb simulovaného pásu.





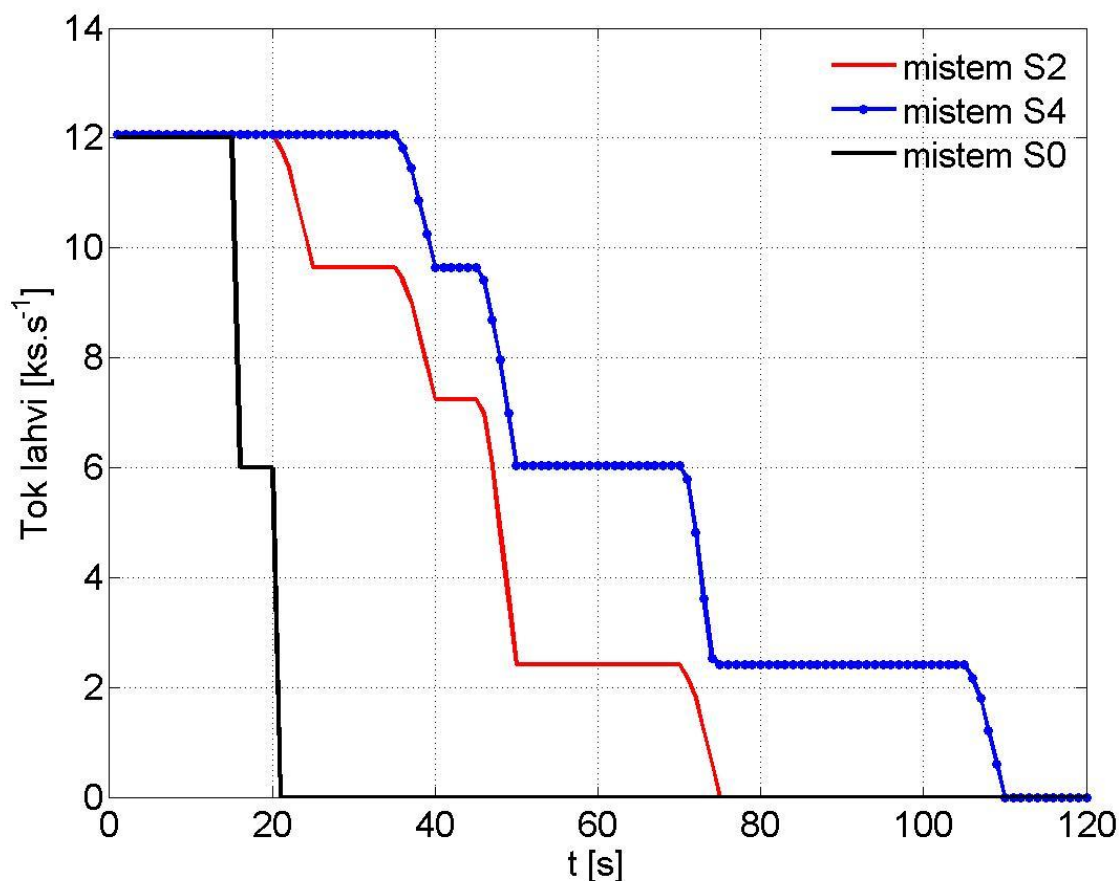
Obr.33 Spínání jednotlivých čidel v čase

Na posledním grafu vidíme jen spínání čidel v čase a je názorně vidět rychlost sepnutí čidla 1 a čidla 2. Je to způsobeno vysokou rychlostí motorů a rychlostí plnění pásu lahvemi. Čidla nacházející se na druhé části pásu spínají s rapidně větší časovou prodlevou, protože motory snížily svoji rychlost a plnění se neděje tak rychle.

### 11.3 Simulace Verze 2

V simulaci pro verzi 2 jsme upravili parametry pásu a tím i jeho chod.

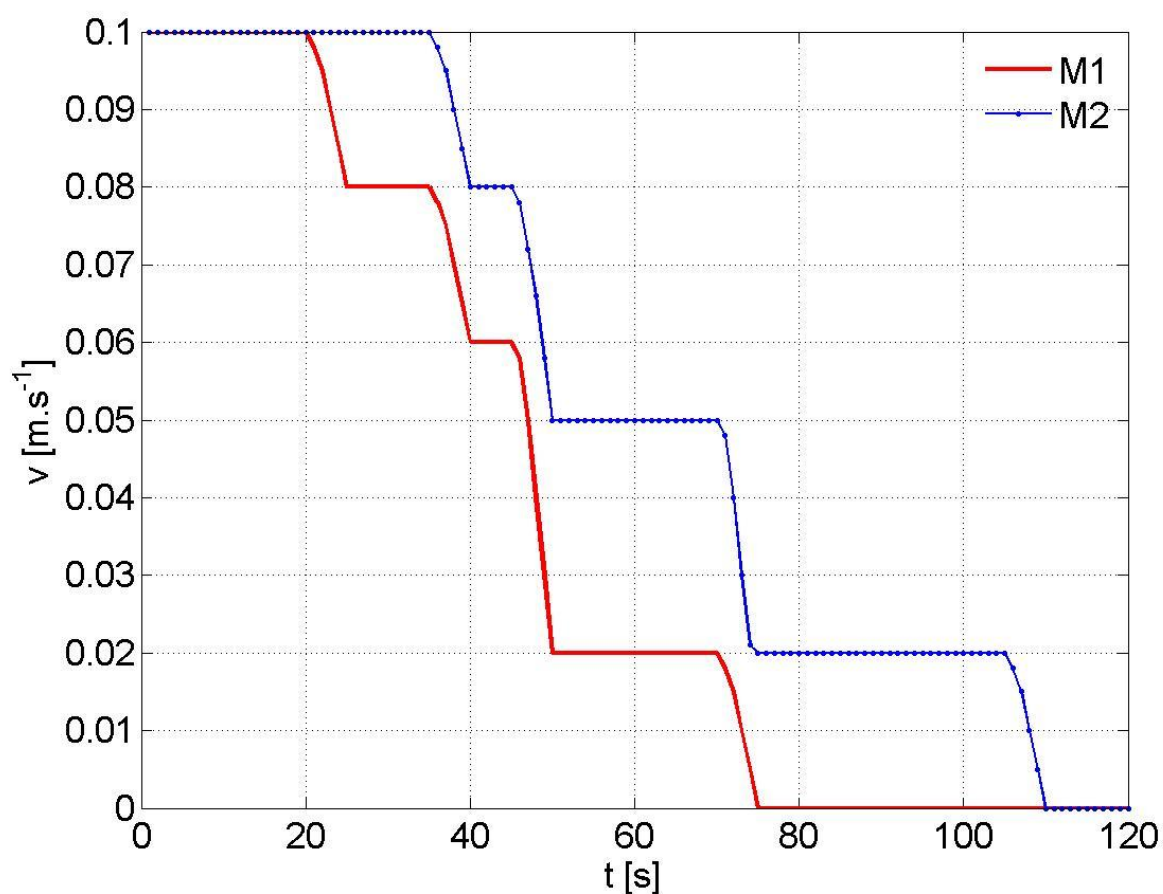
Začneme prvním grafem jako v simulaci 1.



Obr.34 tok lahví pro simulaci 2

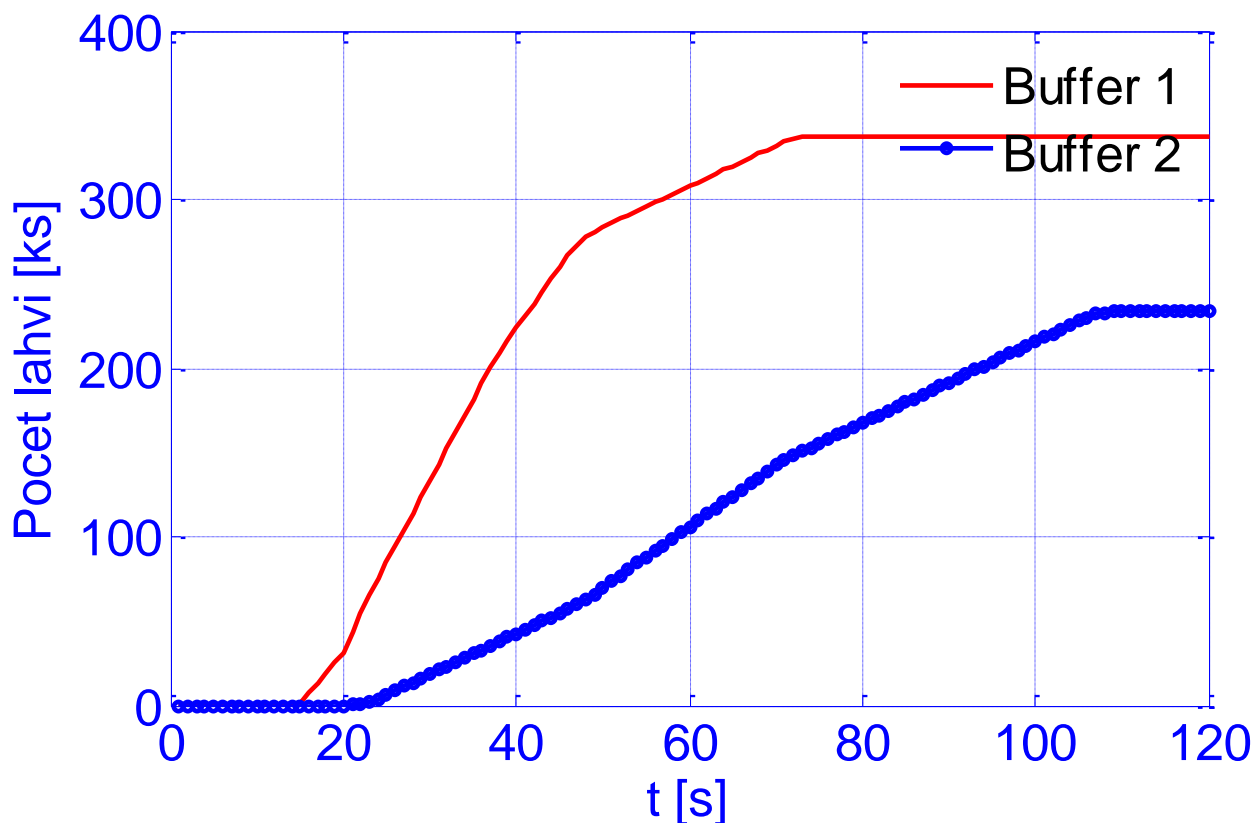
V Simulaci dvě jsme změnili čas nastalé chyby a tok lahví tak, že místem S0 bude nejprve procházet standardní počet lahví jako v první simulaci, ale v čase chyby se nejdříve stáhne odběr lahví dalším pásem z 12 na 6 ks/s – to zabrání rychlému nárůstu lahví na naší části pásu.

Stažení průtoku lahví částí S0 nám prodloužilo čas, kdy pás jede standardní rychlostí, dále je zde vidět udržení toku lahví v první části grafu. Už zde není tak rapidní rychlost a čidla 1 a 2 nespínají v podstatě následně za sebou. Je zde čas na ustálení hodnoty a nějakého konstantního toku lahví. Dále je simulace v podstatě stejná, jako v první simulaci.



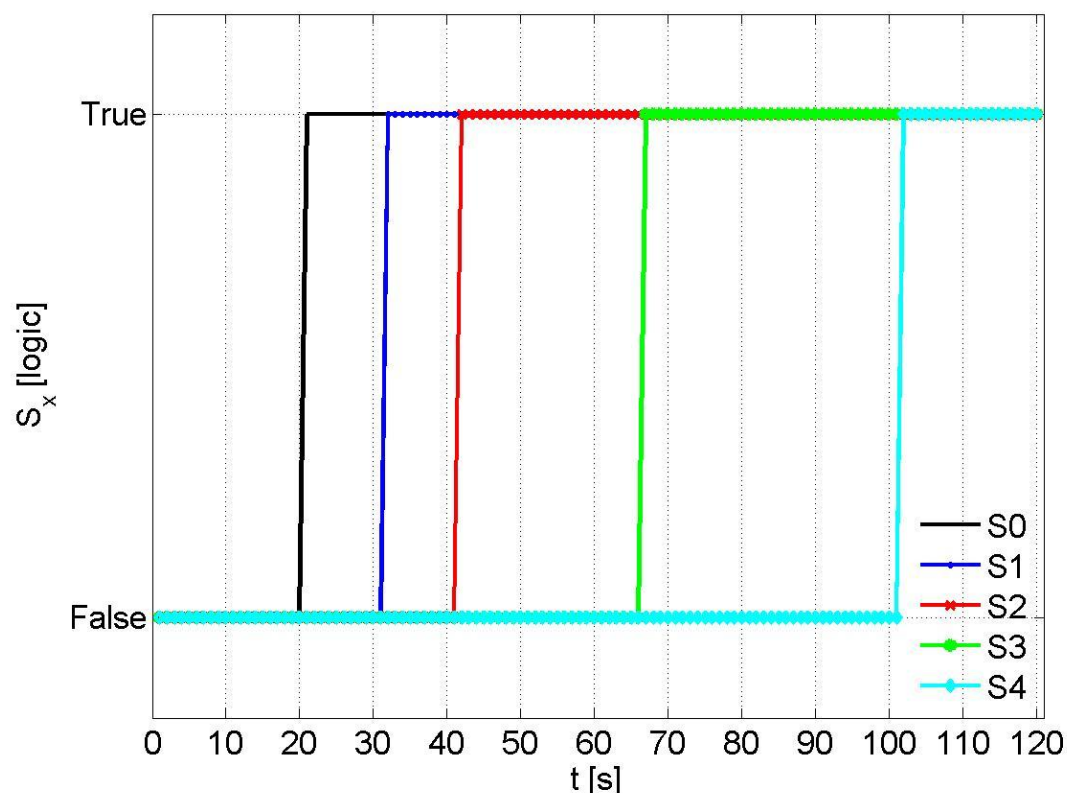
Obr.35 rychlosti Motoru1 a Motoru 2 v simulaci 2

Rychlosti motoru se také nezměnily oproti první simulaci. Jen Motor 1 po sepnutí S1 a S2 nezpomaloval s takovými rapidními přechody, ale je zde vidět ustálení 1 na 60% rychlosti a 2 na 80% rychlosti, to je oproti první simulaci pokrok. Přístroje se ustalují a nedostávají signály tzv. v návaznosti jeden na druhý. To je jeden z rozdílů od první simulace, a zásadní pro plnění bufferu a prodloužení času jejich naplnění.



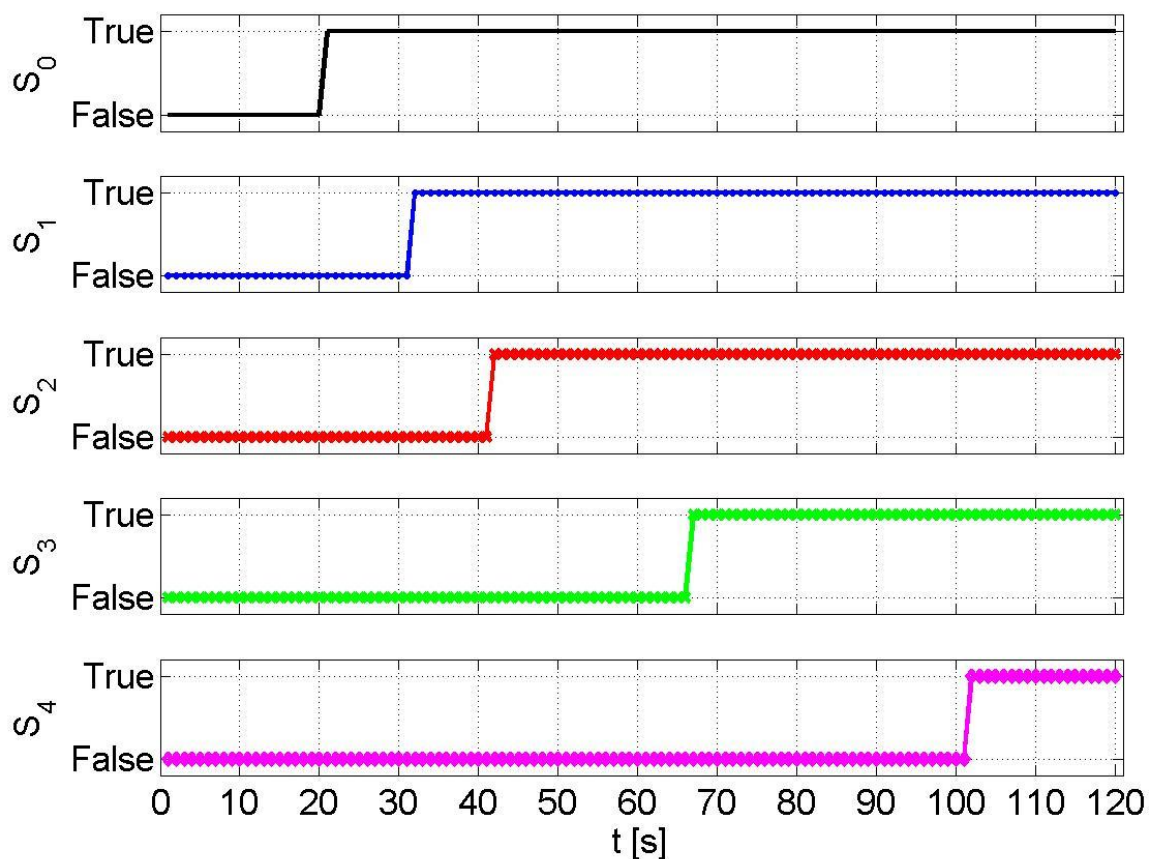
Obr.36 Graf plnění buffru 1 a buffru 2 v simulaci 2

V grafu je názorné sepnutí čidla jedna, které naproti tomu v první simulaci u plnění pásu nebylo vůbec viditelné. První lomení je sepnutí čidla 0. Další lomení je reakce čidla 1 a je zřetelně vidět nárůst plnění pásu mezi 20. a 45. sekundou. Zde bylo plnění nejrychlejší a docházelo k rychlému nárůstu lahví na pásu. Oproti tomu buffer dva se od první simulace liší jen tím, že se částečně oproti prvnímu vyhladil. Opět zde dochází ke stejné chybě, a to že čidlo3, které je na druhé části pásu a ještě nedošlo k jeho sepnutí a nevypllo motor jedna. Proto je první motor pořád v chodu, i když už se plní z části pás dvě. Proto dochází k tomu, že na pásu jedna je větší počet lahví než na pásu dvě. Ve skutečnosti tomu tak není, v simulaci není zahrnut přechod na druhý pás, a zdá se, že se pořád plní pás jedna. Rozdíl v počtu je však rovnoměrně rozdělen mezi oba pásy.



Obr.37 časy spínání čidel v simulaci 2

Graf času nám ukazuje, jaká doba uplyne pro sepnutí jednotlivých čidel, první graf v simulaci 1 nám ukazoval prodlevu mezi zapnutím čidla 0 a čidla 1, která byla mnohem větší, zde je čas sepnutí stejný mezi čidly 0, 1, 2 je vidět jak se nám posunulo sepnutí čidla 1 oproti prvnímu grafu a samozřejmě sepnutí čidel 3 a 4 trvá delší dobu, protože motor jedna se otáčí rychlostí 20% a pak vypíná, a motor dvě jede nejdříve na 50%, poté na 20% a v poslední fázi jede sám. Čidlo 3 vypíná motor1, takže naplnění prvního pásu trvá delší dobu.



Obr.38 spínání jednotlivých čidel v čase v simulaci 2

Na vyobrazení je názorně vidět posunutí času sepnutí čidla 2. První tři čidla spínají v podstatě po stejné časové prodlevě. Nedochozí, jako to bylo v simulaci jedna, k okamžitému spínání čidla 1 a čidla 2. Z toho se dá usoudit, jak rychle se naplní první část pásu, naproti tomu druhá část pásu se plní skoro dvakrát pomaleji. To je způsobeno malou rychlostí motorů.

## 11.4 Zhodnocení obou simulací

Pokud se zaměříme na simulaci 1, vidíme zde zásadní nedostatky v chodu pásu, a to v tom, že po sepnutí čidla 0, nacházejícího se v části před, tak čidla 1 a dva spínají příliš rychle po sobě a signály přicházejí v podstatě v návaznosti na sebe jen s 2s odstupem a přístroje musí reagovat v malém časovém úseku na dvě změny. To samozřejmě není dobře pro přístroje, které musejí měnit hodnoty příliš rychle a může docházet k mechanickým závadám nebo poškození přístrojů. Dále dochází k rychlému naplnění pásu jedna vlastně od sepnutí čidla 0 až po sepnutí čidla 2, to se hodnota ustálí jen jednou, a to než se naplní první půlka prvního pásu.

Takže hlavní problémy jsou rychlost naplnění pásu jedna a hlavně jeho druhé části, která je naplněna během 10s, a toto řešení by se v praxi nedalo použít.

V simulaci jedna jsme chtěli zlepšit proces odbavení lahví, odstranit alespoň částečně velice rychlé změny spínání čidel 1 a 2 a prodloužit dobu ustálení alespoň částečně, což se nám povedlo tím, že jsme při nastalé chybě okamžitě neodstavili pás, nacházející se před naším simulovaným, ale zmenšili jsme průtok lahví místem S0 z původních 12s na 6s, a tím jsme zamezili tak rychlému naakumulování lahví na jednotlivých bufferech hlavně na prvním, kde se čidla spínala v podstatě v návaznosti na sebe zhruba po 2s. Povedlo se nám částečně prodloužit i délku chodu pásu, i když jen o 5s, ale částečný posun vpřed se povedl. Plnění bufferu jedna bylo také rozloženo a nebylo hned od začátku tak rychlé jako v prvním případě.

Dá se říci, že první simulace byla spíše prvotní zkouška, u které jsme si ověřili, jak vše funguje a kde se nachází zásadní chyby. Simulace dvě nám ukázala, že některé chyby se dají odstranit poměrně rychle změnou jednoho parametru.

Druhá simulace by se ale bohužel nedala použít v praxi, řízení motorů je v našem navrženém segmentu velice rychlé a skokové. V praxi se při nastalé chybě celá linka zpomaluje kontinuálně, aby nedocházelo k jakýmkoli porušením přepravovaných věcí. Buffery jsou například delší, a právě proto se při nastalé chybě plní, ale výroba se nemusí zastavit ani zpomalit, protože jejich prodloužení funguje jako odkládací plocha pro případ vzniku problému, a po jeho odstranění a uvedení do chodu se budou opět vyprazdňovat.

## 12 Praktická ukázka funkce pásu

Simulace nám ukázala, jaké budou časy spínání každého čidla, jak rychle se budou plnit jednotlivé části bufferů, vidíme rychlost toku lahví jednotlivými částmi pásu, a vidíme rychlosti motorů v závislosti načase, a jak se mění v závislosti na spínání čidel. Ale my jsme si také část pásu prakticky odzkoušeli, pro názornou ukázkou jsme použili, motorový spouštěč, stykač, dále filtr, frekvenční měnič, na kterém jsou připojena 3 tlačítka, ty mají funkci čidel, a jako poslední 3f motor.

### Použité přístroje

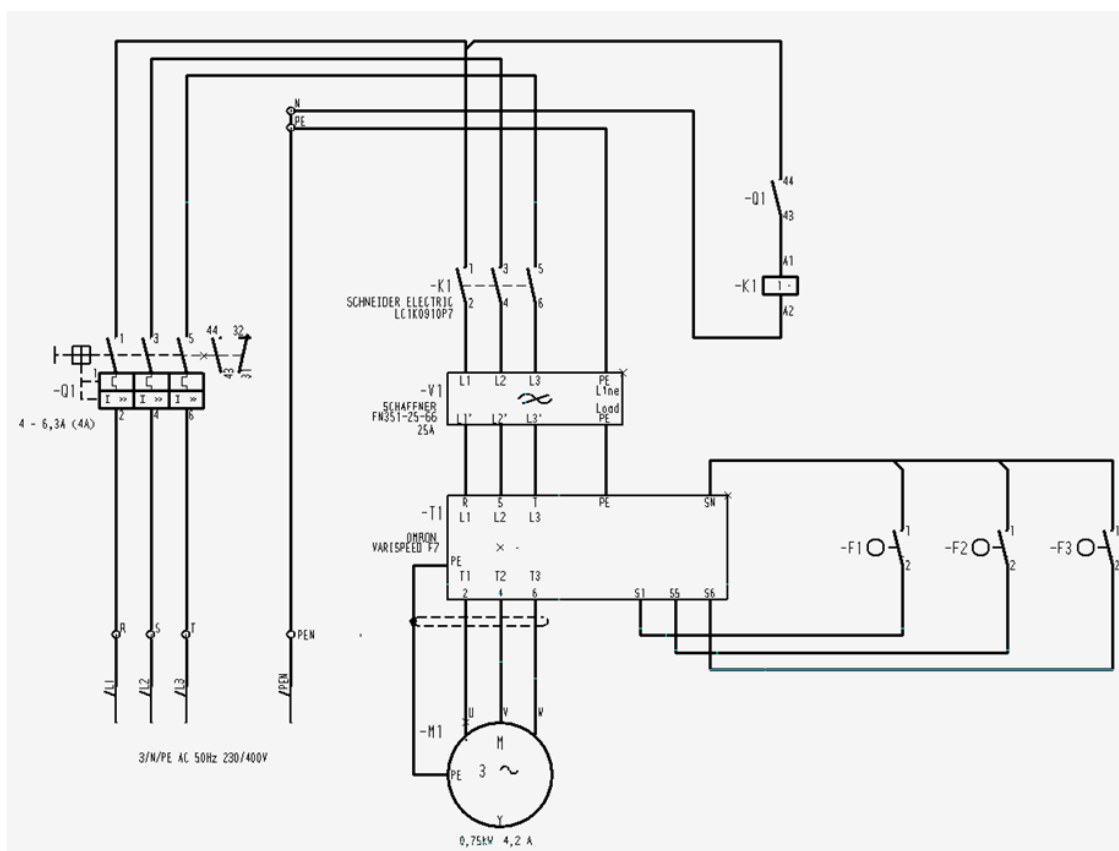
Frekvenční měnič – Omron Varisped F7 – 400V. 1,5 KW - označení -T1

Filtr – Schaffner - FN 351 – 25 – 33 - označení - V1

Motor – MEZ Mohelnice 0,75 kW, 8p 695 ot/m - označení -M1

Motorový spouštěč – Merlin Gerin – Multi 9 P25M - označení -K1

Stykač – Telematic Squere D – LC 1K09 -označení -Q1



Obrázek .39 zapojení praktické zkoušky

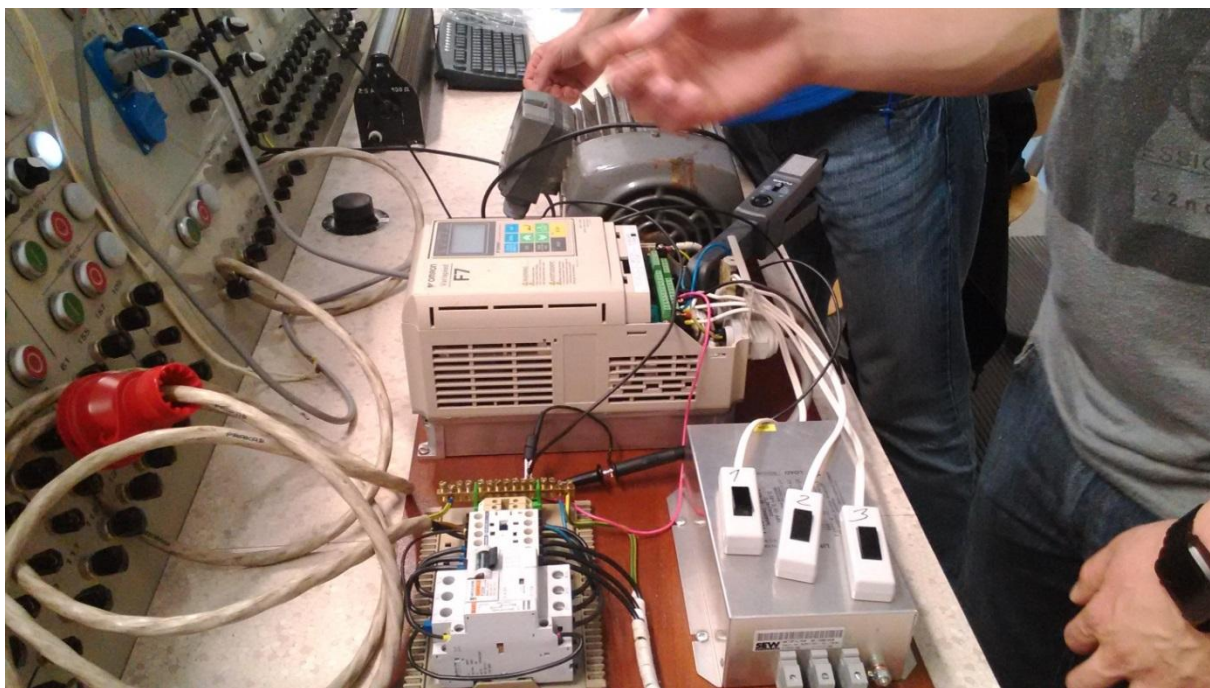


Pro praktickou ukázkou jsme si na začátku nastavili na frekvenčním měniči 3 frekvenční hranice, pro rychlosti motorů. Připojili jsme 3 tlačítka a nastavili jsme každému tlačítku jednu frekvenční hranici. Tlačítka zde představují jednotlivá čidla, jako jsou v naší simulaci. Frekvenční hranice jsme nastavili na hodnoty 100%, to je 50Hz, které odpovídá nejvyšší rychlosti motoru. Tato funkce byla přiřazena prvnímu tlačítku, které má zdvojenou funkci START a STOP, dále pro druhé tlačítko byla nastavena rychlost 70%, to je 35Hz, a třetímu tlačítku 30%, a to je 15Hz. Po naprogramování FM a přiřazení jednotlivých frekvencí daným tlačítkům jsme museli nastavit náběžné hrany pro zrychlování motoru, a to na 5s, to samé pro hrany sestupné které měly také 5s. To je možné vidět i na simulacích.

Praktická zkouška probíhala tak, že jsme jako v simulacích nechali motor rozběhnout na jeho maximální rychlost, pomocí tlačítka 1, které má, jak jsme zmínili, startovací funkci. Po sepnutí tlačítka 2 jsme pozorovali, jak se rychlost mění po dobu 5s, to je sestupná hrana, kterou jsme nastavili. Po ustálení rychlosti jsme sepnuli třetí tlačítko, jehož funkcí je zpomalit motor na 30% rychlosti, to je 15Hz opět po klesající rampě trvající 5s. Nechali jsme ustálit a prvním tlačítkem vypínáme.

Jako šlo zpomalování, tak jde i zrychlování. Opětovný rozjezd - sepnutím tlačítka 1 rozjedeme motor opět na minimální nastavenou rychlost 30% (15Hz), to nám simuluje rozjezd a odstraňování lahví z pásu. Vlastně čidlo jedna rozpíná, a tím pádem se nám motor opět rozjíždí. Sepnutím tlačítka 2 vyvoláme v měniči opět změnu, a ten mění frekvenci a zrychluje motor na 70% (35Hz) rychlosti. Sepnutím tlačítka 3, jež má představovat poslední čidlo na páse dochází k plnému rozjetí motoru na plynulý chod, a to na 100% výkon.

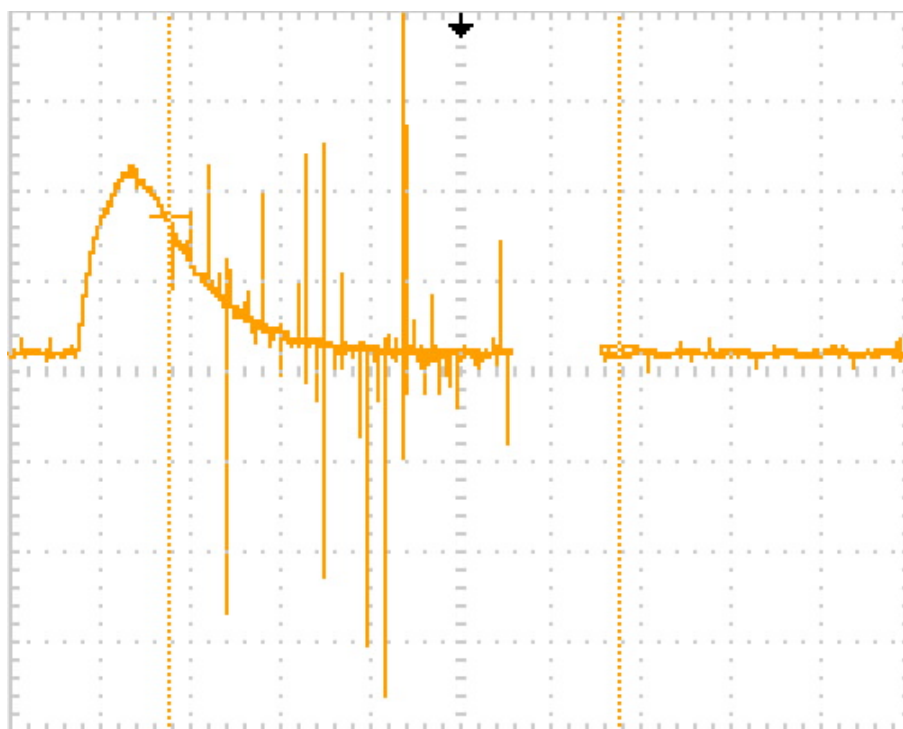
Bohužel pohyb se nedá v psaném projevu dostatečně autenticky vyjádřit, proto je k práci přiloženo CD s videem, kde je celý průběh praktické zkoušky. Jak zpomalování, tak zrychlování, a dále změny frekvence za časový úsek.



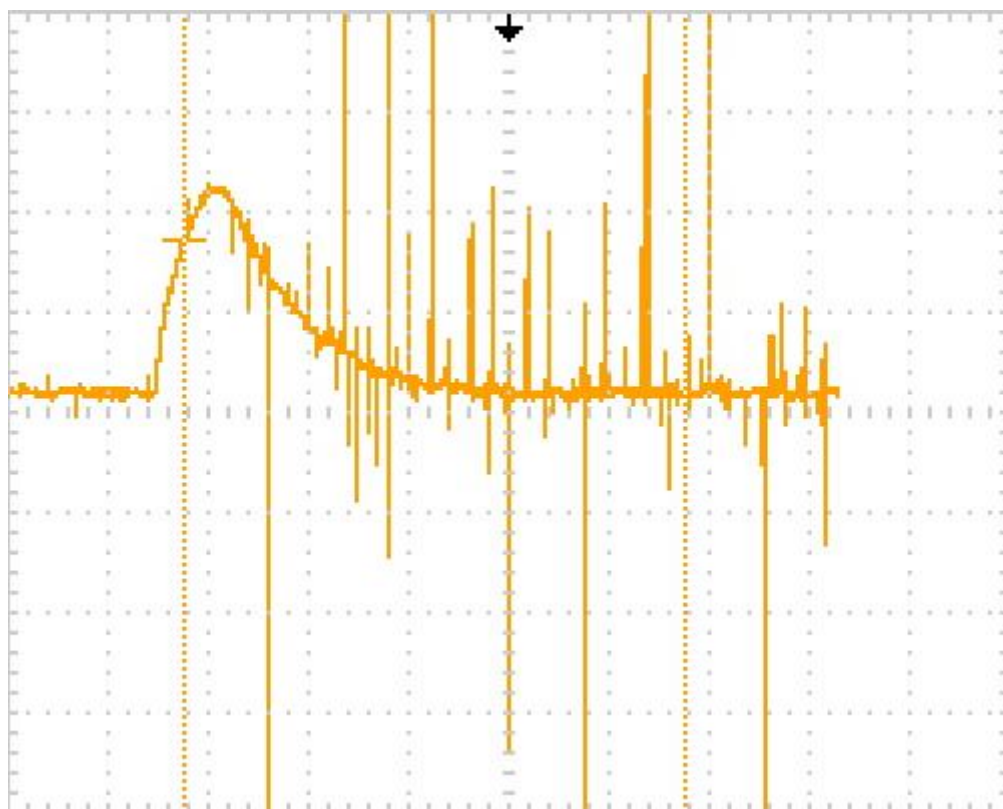
Obr. 40 Foto z praktické zkoušky

V rámci praktické zkoušky jsme si připojili osciloskop a zobrazili jsme si záběrný proud motoru.

### Pro názornost



Obr.41 záběrný proud 0-15Hz



Obr.42 záběrný proud 0-30Hz

## **13 Závěr**

Ve své práci jsem se věnoval problematice pohonů. Popsal jsem jejich základní funkce chod, a obecný matematický model. Dále jsem se snažil popsat hlavní přístroje potřebné pro synchronizaci a polohování pohonů, jako je frekvenční měnič, jeho základní popis a funkce. Základní popis programovatelného automatu, a proč se používá v dnešní době.

Dále jsem popsal způsoby odměřování polohy jak lineárně, tak rotačně se pohybujících pohonů, jejich základní funkce a způsoby montáží, jejich druhy od nejstarších až po systémy nejvíce používané. Také jsem se okrajově zmínil o tendencích vývoje elektrických pohonů.

V praktické části jsem simuloval dopravníkový pás. V práci je obsažen obrázek, na kterém je vyobrazena reálná doprava pásu mezi dvěma výrobními jednotkami. Popsal jsem jak je tato část realizována přímo v praxi. Déle jsem simuloval část pásu z této linky. Nadeřinoval jsem základní data a zadal do programu Matlab. Z výstupů první simulace, která se jevila jako velice špatná, jsem se upravením některých parametrů pokusil zlepšit výsledné hodnoty. Výsledná data z druhé simulace byla už o poznání lepší, nedocházelo k takovému rychlému vyřazení pásu z provozu, spínání čidel se zpomalilo a docházelo také k pomalejšímu plnění obou pásů. Data z druhé simulace už by se dala v praxi použít, ale bohužel jen na základní funkce a malé a pomaloběžné pásy.

Pásy jsou částečně idealizované, protože zde není brán v potaz částečný prokluz lahví po pásu, dále putují lahve po pásu v ideálních řadách. Dalšími simulacemi a úpravou dalších parametrů by se funkce pásu dala zlepšit až na maximum. V praxi řešení zpomalování pásu jak jsem ho simuloval, je řešeno samozřejmě lépe, jsou použity špičkové přístroje a pásy jsou navrženy tak, aby jejich zpomalování bylo kontinuální a synchronizoval se celý výrobní proces.

V poslední části jsem se pokusil v praxi pomocí frekvenčního měniče, motoru a spínačů nasimulovat zpomalování pásu. Jednotlivé spínače mi představovala čidla umístěná na pásu a jejich spínáním jsme zpomalovali a opět zrychlovali dle nastavení měniče, použitý motor.

## Použitá literatura

- [1] [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody\\_lomy/04\\_el\\_stroje.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody_lomy/04_el_stroje.pdf) [online]. [cit. 2015-05-08].
- [2] [Http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab\\_stejnosmerne\\_stroje\\_bc.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_stejnosmerne_stroje_bc.pdf) [online]. [cit. 2015-05-08]
- [3] [Http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/Asynchronni%20stroje-FAST.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/Asynchronni%20stroje-FAST.pdf) [online]. [cit. 2015-05-09].
- [4] Fischer, Prof. Dr.-Ing. Rolf. *Elektrische Maschienen*. Esslingen am Neckar : Carl Hanser Verlag München, 2009. 978-3-446-41754-0.
- [5] [Http://dsp.vscht.cz/konference\\_matlab/MATLAB06/prispevky/thondel/thondel.pdf](http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB06/prispevky/thondel/thondel.pdf) [online]. [cit. 2015-05-08]
- [6] [Https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/4744/bp%20Eva%20Andrlova.pdf?sequence=1](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/4744/bp%20Eva%20Andrlova.pdf?sequence=1) [online]. [cit. 2015-05-08].
- [7] [Http://cs.wikipedia.org/wiki/Programovateln%C3%BD\\_logick%C3%BD\\_automat](http://cs.wikipedia.org/wiki/Programovateln%C3%BD_logick%C3%BD_automat).
- [8] [Http://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/9/96/Dp\\_2010\\_elkner\\_pavel.pdf](http://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/9/96/Dp_2010_elkner_pavel.pdf) [online]. [cit. 2015-05-08].
- [9] Prof. Ing. Jiří Skalický, Csc . Elektrické regulovatelné pohony, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií v Brně 2007
- [10] [Http188.175.124.101mywebpublic%20VPEltselsyn.pdf](http://188.175.124.101/mywebpublic%20VPEltselsyn.pdf) [online]. [cit. 2015-05-08].
- [11] [Httpwww.mti.tul.cz/files/vm/Snimace\\_polohy.pdf](http://www.mti.tul.cz/files/vm/Snimace_polohy.pdf) [online]. [cit. 2015-05-08].
- [12] [Http://cs.wikipedia.org/wiki/Gray%20AFv\\_k%20B3d](http://cs.wikipedia.org/wiki/Gray%20AFv_k%20B3d) [online]. [cit. 2015-05-08].
- [13] [Http://eluc.cz/verejne/lekce/1578Optick%20sn%20ADma%208De%20polohy](http://eluc.cz/verejne/lekce/1578Optick%20sn%20ADma%208De%20polohy)[online]. [cit. 2015-05-08]
- [14] [Https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=14936](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14936) [online]. [cit. 2015-05-08].
- [15] [Http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=28744](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28744) [online]. [cit. 2015-05-08].

[16] [Http://automatizace.hw.cz/clanek/2007020401](http://automatizace.hw.cz/clanek/2007020401) [online]. [cit. 2015-05-08].

[17] [Http://senzory.aspone.cz/ois.htm](http://senzory.aspone.cz/ois.htm) [online]. [cit. 2015-05-08].

[18] [Https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/9443/BPKrystof\\_Benes.pdf?sequence=1](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/9443/BPKrystof_Benes.pdf?sequence=1) [online]. [cit. 2015-05-09].

## Přílohy

### Zdrojový kód simulace jedna

```
% simulace lahvoveho dopravniku
```

```
dv=datevec(now); % datum vektor
```

```
den=num2str(dv(3));
```

```
mes=num2str(dv(2));rok=num2str(dv(1));hod=num2str(dv(4));min=num2str(dv(5));
```

```
info=sprintf('%s','GENERATED BY M-FILE FROM *** Zoubek R  
***',den,',' ,mes,',' ,rok,',' ,hod,',' ,min)
```

```
clear all;
```

```
close all;
```

```
% [jmenop,cesta]=uigetfile('*.mat','Vstupni datovy soubor'); % menu pro vyber souboru
```

```
% %jmenop je jmeno souboru vctne pripony
```

```
% [cesta,jmenos,prp]=fileparts(jmenop);% rozdeleni jmena souboru na priponu a jmeno
```

```
% % jmenos je samotne jmeno souboru
```

```
% [prvni, zbytek] = strtok(jmenos);
```

```
% %rozdeleni na prvni cast a zbytek podle mezer;v pripade POUZE dvou slov
```

```
% % je to rozdeleno na prvni a druhe jmeno, jinak nutno opakovat v cyklu
```

```
% % while
```

```
% load(jmenop);% nacteni souboru
```

```
cesta='.';
```

```
uloz=1;

scrsz = get(0,'ScreenSize');

t=1:1:120; % cas [s]

P1=2; %[m] delka pasku 1

P2=2; %[m] delka pasku 2

H1=0.5; % [m] sirka pasku 1

H2=0.5; % [m] sirka pasku 2

d=0.065; %[m] prumer lahve

S=3.14*d^2/4 * 1.25; % [m2] plocha lahve, cinitel plneni 1.25

% definice stavu signalu koncaku v case 1s

S0(1:60)=false; % odber lahvi kolisa, ale nenaplni akumulator predchozi!

S1(1)=false;

S2(1)=false;

S3(1)=false;

S4(1)=false;

v=0.1 % [m.s-2] plna rychlost pasoveho dopravniku 1 a 2, 10 rad lahvi

odber(1:15)=12; % [lahvi/s] u S0

odber(16:20)=0;

odber(21:30)=0; S0(16:120)=true;
```



odber(31:40)=0;

odber(41:50)=0;

odber(51:120)=0;

Aku1=0; % pasek 1 nenaplnen

Aku2=0; % pasek 2 nenaplnen

for k=1:5:120

    % MOTOR 1 - plneni pasku

    if (S0(k)==false)

        M1(k:k+4)=v\*1;

    end;%if

    if (S0(k)==false) & S1(k) % jede lepicka, ale pomalu= prisun je vyssi nez odber

        M1(k)=v\*0.98;

        M1(k+1)=v\*0.95;

        M1(k+2)=v\*0.9;

        M1(k+3)=v\*0.85;

        M1(k+4)=v\*0.8;

    end;%if

    if (S0(k)==false) & S1(k) & S2(k) % jede lepicka, ale pomalu= prisun je vyssi nez odber

        M1(k)=v\*0.58;

        M1(k+1)=v\*0.5;

        M1(k+2)=v\*0.4;

        M1(k+3)=v\*0.3;

        M1(k+4)=v\*0.2;

```
end;%if
if S0(k)
    M1(k:k+4)=v*0.8;
    if k>6 & S0(k-5)~=S0(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa
        M1(k)=v*0.98;
        M1(k+1)=v*0.95;
        M1(k+2)=v*0.9;
        M1(k+3)=v*0.85;
        M1(k+4)=v*0.8;
    end; % if k>6
end;%if
if S0(k) & S1(k)
    M1(k:k+4)=v*0.6;
    if k>6 & S1(k-5)~=S1(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa
        M1(k)=v*0.78;
        M1(k+1)=v*0.75;
        M1(k+2)=v*0.7;
        M1(k+3)=v*0.65;
        M1(k+4)=v*0.6;
    end; % if k>6
end;%if
if (S0(k) & S1(k) & S2(k))
    M1(k:k+4)=v*0.2;
    if k>6 & S2(k-5)~=S2(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa
        M1(k)=v*0.58;
        M1(k+1)=v*0.5;
```

```
M1(k+2)=v*0.4;
M1(k+3)=v*0.3;
M1(k+4)=v*0.2;
end; % if k>6
end;%if
if (S0(k) & S1(k) & S2(k)& S3(k))
M1(k:k+4)=v*0;
if k>6 & S3(k-5)~=S3(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa
M1(k)=v*0.18;
M1(k+1)=v*0.15;
M1(k+2)=v*0.1;
M1(k+3)=v*0.05;
M1(k+4)=v*0;
end; % if k>6
end;%if

% MOTOR 1 - vyprazdneni pasku
if (S0(k)==0 & S1(k) & S2(k)& S3(k))
M1(k)=v*0.2;
end;%if
if (S0(k)==0 & S2(k)==0 & S1(k)& S3(k))
M1(k)=v*0.6;
end;%if
if (S0(k)==0 & S2(k)==0 & S1(k)==0 & S3(k))
M1(k)=v*1;
end;%if
```

```
% MOTOR 2 - plneni pasku

if (S1(k)==false)

    M2(k:k+4)=v*1;

end;%if

if S1(k)

    M2(k:k+4)=v*0.8;

    if k>6 & S1(k-5)~=S1(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa

        M2(k)=v*0.98;

        M2(k+1)=v*0.95;

        M2(k+2)=v*0.9;

        M2(k+3)=v*0.85;

        M2(k+4)=v*0.8;

    end; % if k>6

end;%if

if (S1(k) & S2(k))

    M2(k:k+4)=v*0.5;

    if k>6 & S2(k-5)~=S2(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa

        M2(k)=v*0.78;

        M2(k+1)=v*0.72;

        M2(k+2)=v*0.66;

        M2(k+3)=v*0.58;

        M2(k+4)=v*0.5;

    end; % if k>6

end;%if

if (S1(k) & S2(k) & S3(k))
```

```
M2(k:k+4)=v*0.2;

if k>6 & S3(k-5)~=S3(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa

    M2(k)=v*0.48;

    M2(k+1)=v*0.4;

    M2(k+2)=v*0.3;

    M2(k+3)=v*0.21;

    M2(k+4)=v*0.2;

end; % if k>6

end;%if

if (S1(k) & S2(k) & S3(k) & S4(k))

    M2(k:k+4)=v*0;

    if k>6 & S4(k-5)~=S4(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa

        M2(k)=v*0.18;

        M2(k+1)=v*0.15;

        M2(k+2)=v*0.1;

        M2(k+3)=v*0.05;

        M2(k+4)=v*0;

    end; % if k>6

end;%if

% MOTOR 2 - vyprazdneni pasku

if (S2(k)==0 & S1(k) & S3(k) & S4(k))

    M2(k)=v*0.2;

end;%if

if (S2(k)==0 & S1(k)==0 & S3(k) & S4(k))

    M2(k)=v*0.6;
```

```

end;%if

if (S2(k)==0 & S1(k)==0 & S4(k)==0 & S3(k))

    M2(k)=v*0.8;

end;%if

if (S2(k)==0 & S1(k)==0 & S4(k)==0 & S3(k)==0)

    M2(k)=v*1;

end;%if

% tok lahvi mistem S1

% rychlost lahvi muze byt mensi nez rychlost pasku !

Prisun1(k:k+4)=M1(k:k+4) * 1 * H1 / S; % prisun lahvi[ks]= rychlost pasku * cas dt *
sirka / plocha lahve

%   if S1(k) & S2(k)

%       Prisun1(k)=odber(k);

%   end; % if plny pasek 1, ale lepicka pomalu jede

if k<5

    Akum1(k:k+4)=cumsum(Prisun1(k:k+4)-odber(k:k+4)) ; % akumulace lahvi [ks] za
aktualni sekundu

    else

        Akum1(k:k+4)=Akum1(k-1)+cumsum(Prisun1(k:k+4)-odber(k:k+4)) ; %
akumulace lahvi [ks] za aktualni sekundu

    end;%if k<5

Aku1=Aku1+Akum1(k+4); % akumulace lahvi celkova v useku 1

```

if Akum1(k) > 0.5\*H1\*P1 / S

S1(k+1) = true

S1(k+2) = true

S1(k+3) = true

S1(k+4) = true

S1(k+5) = true

else

S1(k+1)=false

S1(k+2)=false

S1(k+3)=false

S1(k+4)=false

S1(k+5)=false

end;

if Akum1(k) > 0.8\*H1\*P1 / S

S2(k+1) = true

S2(k+2) = true

S2(k+3) = true

S2(k+4) = true

S2(k+5) = true

else

S2(k+1)=false

S2(k+2)=false

S2(k+3)=false

S2(k+4)=false

S2(k+5)=false

end;

```
% tok lahvi mistem S2

% rychlost lahvi muze byt mensi nez rychlost pasku !

Prisun2(k:k+4)=M2(k:k+4) * 1 * H2 / S; % prisun lahvi[ks]= rychlost pasku * cas dt *
sirka / plocha lahve

% if S3(k) & S4(k)

%   Prisun2(k)=Prisun1(k);

% end; % if plny pasek 1, ale lepicka pomalu jede

%   Akum2(k)=Prisun2(k)-Prisun1(k) ; % akumulace lahvi [ks] za aktualni sekundu

%   Akum2=cumsum(Prisun2(k:k+4)-Prisun1(k:k+4)) ; % akumulace lahvi [ks] za
aktualni sekundu

%   Aku2=Aku2+Akum2(5); % akumulace lahvi celkova v useku 2

if k<5

    Akum2(k:k+4)=cumsum(Prisun2(k:k+4)-Prisun1(k:k+4)) ; % akumulace lahvi [ks]
za aktualni sekundu

    else

        Akum2(k:k+4)=Akum2(k-1)+cumsum(Prisun2(k:k+4)-Prisun1(k:k+4)) ; %
akumulace lahvi [ks] za aktualni sekundu

    end;%if k<5

Aku2=Aku2+Akum2(k+4); % akumulace lahvi celkova v useku 2

if Akum2(k) > 0.5*H2*P2 / S
```



```
S3(k+1) = true
S3(k+2) = true
S3(k+3) = true
S3(k+4) = true
S3(k+5) = true
else
  S3(k+1)=false
  S3(k+2)=false
  S3(k+3)=false
  S3(k+4)=false
  S3(k+5)=false
end;

  if Akum2(k) > 0.9*H2*P2 / S
    S4(k+1) = true
    S4(k+2) = true
    S4(k+3) = true
    S4(k+4) = true
    S4(k+5) = true

  else
    S4(k+1)=false
    S4(k+2)=false
    S4(k+3)=false
    S4(k+4)=false
    S4(k+5)=false
  end;
```

```
end;% for k

% ----- figure 1-1 -----
h=figure('Name','Motor1',...
    'Position',[2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);
% graf vlevo nahore na monitoru, -30 aby byl videt modry pruh okna);

plot(t,M1,'-r','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Xlabel('t [s]','FontSize',16);
Ylabel('v [m.s^{-1}]','FontSize',16);
grid on;

hold on;
    plot(t,M2,'-b','LineWidth',1,'Marker','o','MarkerSize',2);
hold off;
axcal=0;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 85],'YLim',[0 30]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

%title('Note:  $I_{10}$  is a cable current, not a current of a winding in delta
connection','FontWeight','bold','FontSize',9);

legend('M1','M2','location','ne');
```

```
legend('boxoff');

%title('Magnetizing curve','FontWeight','Bold');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru (i s cestou)
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');saveas(h,f,'emf'); %ulozi obrazek jako *.jpg a *.mat ... to je
vhodne pro dalsi editace
end;

% ----- figure 2-2 -----
h=figure('Name','Snimace',...
    'Position',[scrsz(3)/2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3-0]);
% graf vpravo nahore na monitoru, -30 aby byl videt modry pruh okna);

plot(t,S0,'-k','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Xlabel('t [s]','FontSize',16);
Ylabel('S_x [logic]','FontSize',16);
grid on;

hold on;

plot(t,S1(1:120),'-b','LineWidth',2,'Marker','o','MarkerSize',2);
```

```
plot(t,S2(1:120),'-r','LineWidth',2,'Marker','x','MarkerSize',6);

plot(t,S3(1:120),'-g','LineWidth',2,'Marker','h','MarkerSize',6);

plot(t,S4(1:120),'-c','LineWidth',2,'Marker','d','MarkerSize',5);

hold off;

axcal=1;

if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 121],'XTick',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...
    'YLim',[-0.2 1.2],...
    'YTick',[0 1],'YTickLabels',[{'False'}, {'True'}]);

end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

%title('Note:  $I_{10}$  is a cable current, not a current of a winding in delta
connection','FontWeight','bold','FontSize',9);

legend('S0','S1','S2','S3','S4','location','se');

legend('boxoff');

%title('Magnetizing curve','FontWeight','Bold');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure

f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru (i s cestou)

if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');saveas(h,f,'emf'); %ulozi obrazek jako *.jpg a *.mat ... to je
vhodne pro dalsi editace
```

```
end;

% ----- figure 3-3 -----

h=figure('Name','Snimace2',...
    'Position',[2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);

% graf vlevo dole na monitoru, -30 aby byl videt modry pruh okna);

subplot(5,1,1);

%titul = ['Snimac'];
%title(titul,'FontWeight','bold','Color','b');

plot(t,S0,'-k','LineWidth',2);
Ylabel('S_0','FontSize',16);
grid on;
set(gca,'FontSize',16);
axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 121],'XTick',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...
    'YLim',[-0.2 1.2],'XTickLabels',[ ],...
    'YTick',[0 1],'YTickLabels',[{'False'}, {'True'}]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

subplot(5,1,2);
plot(t,S1(1:120),'-b','LineWidth',2,'Marker','o','MarkerSize',2);
```

```
Ylabel('S_1','FontSize',16);  
grid on;  
set(gca,'FontSize',16);  
axcal=1;  
if axcal==1 set(gca, ...  
    'XLim',[0 121],'XTick',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...  
    'YLim',[-0.2 1.2],'XTickLabels',[ ],...  
    'YTick',[0 1],'YTickLabels',[{'False'}, {'True'}]);  
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka  
  
subplot(5,1,3);  
plot(t,S2(1:120),'-r','LineWidth',2,'Marker','x','MarkerSize',6);  
Ylabel('S_2','FontSize',16);  
grid on;  
set(gca,'FontSize',16);  
axcal=1;  
if axcal==1 set(gca, ...  
    'XLim',[0 121],'XTick',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...  
    'YLim',[-0.2 1.2],'XTickLabels',[ ],...  
    'YTick',[0 1],'YTickLabels',[{'False'}, {'True'}]);  
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka  
  
subplot(5,1,4);  
plot(t,S3(1:120),'-g','LineWidth',2,'Marker','x','MarkerSize',6);  
Ylabel('S_3','FontSize',16);  
grid on;
```

```
set(gca,'FontSize',16);

axcal=1;

if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 121],'XTick',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...
    'YLim',[-0.2 1.2],'XTickLabels',[ ],...
    'YTick',[0 1],'YTickLabels',[{'False'}, {'True'}]);

end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

subplot(5,1,5);

plot(t,S4(1:120),'-m','LineWidth',2,'Marker','d','MarkerSize',5);

Ylabel('S_4','FontSize',16);
Xlabel('t [s]','FontSize',16);

grid on;

set(gca,'FontSize',16);

axcal=1;

if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 121],'XTick',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...
    'YLim',[-0.2 1.2],'XTickLabels',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...
    'YTick',[0 1],'YTickLabels',[{'False'}, {'True'}]);

end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure

f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru (i s cestou)
```

```
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');saveas(h,f,'emf'); %ulozi obrazek jako *.jpg
end;

%----- figure 4-4 -----
h=figure('Name','lahve',...
    'Position',[scrsz(3)/2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);
% graf vpravo dole na monitoru, -30 aby byl videt modry pruh okna);

plot(t,Prisun1,'-r','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Xlabel('t [s]','FontSize',16);
Ylabel('Tok lahvi [ks.s^{-1}]','FontSize',16);
grid on;

hold on;

plot(t,Prisun2,'-b','LineWidth',2,'Marker','o','MarkerSize',3);
plot(t,odber,'-k','LineWidth',2,'Marker','none','MarkerSize',3);
hold off;

axcal=0;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[40 85],'YLim',[-5 5]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka
```



```
%title('Note:  $I_{10}$  is a cable current, not a current of a winding in delta  
connection','FontWeight','bold','FontSize',9);
```

```
legend('mistem S2','mistem S4','mistem S0','location','ne');
```

```
legend('boxoff');
```

```
%title('Magnetizing curve','FontWeight','Bold');
```

```
jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
```

```
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru (i s cestou)
```

```
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');saveas(h,f,'emf'); %ulozi obrazek jako *.jpg a *.mat ... to je  
vhodne pro dalsi editace
```

```
end;
```

```
% ----- figure 5-1 -----
```

```
h=figure('Name','Buffer',...
```

```
    'Position',[scrsz(3)/2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);
```

```
%graf vlevo nahore na monitoru, -30 aby byl videt modry pruh okna);
```

```
plot(t,Akum1,'-r','LineWidth',2);
```

```
set(gca,'FontSize',16);
```

```
xlabel('t [s]','FontSize',16);
```

```
ylabel('Pocet lahvi [ks]','FontSize',16);
```

```
grid on;
```

```
set(gca,'Color','y','YColor','b','XColor','b');
```

```
hold on;
```

```
plot(t,Akum2,'-b','LineWidth',2,'Marker','o','MarkerSize',3);
```

```
hold off;
```

```
axcal=0;

if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 200],'YLim',[0 600]);

end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

%titul = [zbytek,': P_{max}=',num2str(maxP2),'[W],
Energie=',num2str(maxA2),'[Wh]'];

%title(titul,'FontWeight','bold','Color','b');

legend('Buffer 1','Buffer 2','location','ne');

legend('boxoff');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure

f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru (i s cestou)

if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');saveas(h,f,'emf'); %ulozi obrazek jako *.jpg

end;
```

**Zdrojový kód simulace dvě**

```
% simulace lahvoveho dopravniku
```

```
dv=datevec(now); % datum vektor
```

```
den=num2str(dv(3));
```

```
mes=num2str(dv(2));rok=num2str(dv(1));hod=num2str(dv(4));min=num2str(dv(5));
```

```
info=sprintf('%s','GENERATED BY M-FILE FROM *** Zoubek R  
***',den,',' ,mes,',' ,rok,',' ,hod,',' ,min)
```

```
clear all;
```

```
close all;
```

```
% [jmenop,cesta]=uigetfile('*.mat','Vstupni datovy soubor'); % menu pro vyber souboru
```

```
% %jmenop je jmeno souboru vctne pripomy
```

```
% [cesta,jmenos,prip]=fileparts(jmenop);% rozdeleni jmena souboru na pripomu a jmeno
```

```
% % jmenos je samotne jmeno souboru
```

```
% [prvni, zbytek] = strtok(jmenos);
```

```
% %rozdeleni na prvni cast a zbytek podle mezer;v pripade POUZE dvou slov
```

```
% % je to rozdeleno na prvni a druhe jmeno, jinak nutno opakovat v cyklu
```

```
% % while
```

```
% load(jmenop);% nacteni souboru
```

```
cesta='.';
```

```
uloz=0;
```

```
scrsz = get(0,'ScreenSize');
```

```
t=1:1:120; % cas [s]
```

```
P1=2; %[m] delka pasku 1
```

```
P2=2; %[m] delka pasku 2
```

```
H1=0.5; % [m] sirka pasku 1
```

```
H2=0.5; % [m] sirka pasku 2
```

```
d=0.065; %[m] prumer lahve
```

```
S=3.14*d^2/4 * 1.25; % [m2] plocha lahve, cinitel plneni 1.25
```

```
% definice stavu signalu koncaku v case 1s
```

```
S0(1:60)=false; % odber lahvi kolisa, ale nenaplni akumulator predchozi!
```

```
S1(1)=false;
```

```
S2(1)=false;
```

```
S3(1)=false;
```

```
S4(1)=false;
```

```
v=0.1 % [m.s-2] plna rychlost pasoveho dopravniku 1 a 2, 10 rad lahvi
```

```
odber(1:15)=12; % [lahvi/s] u S0
```

```
odber(16:20)=6;
```

```
odber(21:30)=0; S0(21:120)=true;
```

```
odber(31:40)=0;
```

odber(41:50)=0;

odber(51:120)=0;

Aku1=0; % pasek 1 nenaplnen

Aku2=0; % pasek 2 nenaplnen

for k=1:5:120

    % MOTOR 1 - plneni pasku

    if (S0(k)==false)

        M1(k:k+4)=v\*1;

    end;%if

    if (S0(k)==false) & S1(k) % jede lepicka, ale pomalu= prisun je vyssi nez odber

        M1(k)=v\*0.98;

        M1(k+1)=v\*0.95;

        M1(k+2)=v\*0.9;

        M1(k+3)=v\*0.85;

        M1(k+4)=v\*0.8;

    end;%if

    if (S0(k)==false) & S1(k) & S2(k) % jede lepicka, ale pomalu= prisun je vyssi nez odber

        M1(k)=v\*0.58;

        M1(k+1)=v\*0.5;

        M1(k+2)=v\*0.4;

        M1(k+3)=v\*0.3;

        M1(k+4)=v\*0.2;

    end;%if

```
if S0(k)

    M1(k:k+4)=v*0.8;

    if k>6 & S0(k-5)~=S0(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa

        M1(k)=v*0.98;

        M1(k+1)=v*0.95;

        M1(k+2)=v*0.9;

        M1(k+3)=v*0.85;

        M1(k+4)=v*0.8;

    end; % if k>6

end;%if

if S0(k) & S1(k)

    M1(k:k+4)=v*0.6;

    if k>6 & S1(k-5)~=S1(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa

        M1(k)=v*0.78;

        M1(k+1)=v*0.75;

        M1(k+2)=v*0.7;

        M1(k+3)=v*0.65;

        M1(k+4)=v*0.6;

    end; % if k>6

end;%if

if (S0(k) & S1(k) & S2(k))

    M1(k:k+4)=v*0.2;

    if k>6 & S2(k-5)~=S2(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa

        M1(k)=v*0.58;

        M1(k+1)=v*0.5;

        M1(k+2)=v*0.4;
```

```
M1(k+3)=v*0.3;
M1(k+4)=v*0.2;
end; % if k>6
end;%if
if (S0(k) & S1(k) & S2(k)& S3(k))
M1(k:k+4)=v*0;
if k>6 & S3(k-5)~=S3(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa
M1(k)=v*0.18;
M1(k+1)=v*0.15;
M1(k+2)=v*0.1;
M1(k+3)=v*0.05;
M1(k+4)=v*0;
end; % if k>6
end;%if

% MOTOR 1 - vyprazdneni pasku
if (S0(k)==0 & S1(k) & S2(k)& S3(k))
M1(k)=v*0.2;
end;%if
if (S0(k)==0 & S2(k)==0 & S1(k)& S3(k))
M1(k)=v*0.6;
end;%if
if (S0(k)==0 & S2(k)==0 & S1(k)==0 & S3(k))
M1(k)=v*1;
end;%if
```

```
% MOTOR 2 - plneni pasku

if (S1(k)==false)

    M2(k:k+4)=v*1;

end;%if

if S1(k)

    M2(k:k+4)=v*0.8;

    if k>6 & S1(k-5)~=S1(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa

        M2(k)=v*0.98;

        M2(k+1)=v*0.95;

        M2(k+2)=v*0.9;

        M2(k+3)=v*0.85;

        M2(k+4)=v*0.8;

    end; % if k>6

end;%if

if (S1(k) & S2(k))

    M2(k:k+4)=v*0.5;

    if k>6 & S2(k-5)~=S2(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa

        M2(k)=v*0.78;

        M2(k+1)=v*0.72;

        M2(k+2)=v*0.66;

        M2(k+3)=v*0.58;

        M2(k+4)=v*0.5;

    end; % if k>6

end;%if

if (S1(k) & S2(k) & S3(k))

    M2(k:k+4)=v*0.2;
```



```
if k>6 & S3(k-5)~=S3(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa
    M2(k)=v*0.48;
    M2(k+1)=v*0.4;
    M2(k+2)=v*0.3;
    M2(k+3)=v*0.21;
    M2(k+4)=v*0.2;
end; % if k>6
end;%if
if (S1(k) & S2(k) & S3(k) & S4(k))
    M2(k:k+4)=v*0;
    if k>6 & S4(k-5)~=S4(k) % pokud se zmenil stav koncaku, tak rampa
        M2(k)=v*0.18;
        M2(k+1)=v*0.15;
        M2(k+2)=v*0.1;
        M2(k+3)=v*0.05;
        M2(k+4)=v*0;
    end; % if k>6
end;%if

% MOTOR 2 - vyprazdneni pasku
if (S2(k)==0 & S1(k) & S3(k) & S4(k))
    M2(k)=v*0.2;
end;%if
if (S2(k)==0 & S1(k)==0 & S3(k) & S4(k))
    M2(k)=v*0.6;
end;%if
```

```

if (S2(k)==0 & S1(k)==0 & S4(k)==0 & S3(k))
    M2(k)=v*0.8;
end;%if

if (S2(k)==0 & S1(k)==0 & S4(k)==0 & S3(k)==0)
    M2(k)=v*1;
end;%if

% tok lahvi mistem S1

% rychlost lahvi muze byt mensi nez rychlost pasku !

Prisun1(k:k+4)=M1(k:k+4) * 1 * H1 / S; % prisun lahvi[ks]= rychlost pasku * cas dt *
sirka / plocha lahve

% if S1(k) & S2(k)
%     Prisun1(k)=odber(k);
% end; % if plny pasek 1, ale lepicka pomalu jede

if k<5

    Akum1(k:k+4)=cumsum(Prisun1(k:k+4)-odber(k:k+4)) ; % akumulace lahvi [ks] za
aktualni sekundu

    else

        Akum1(k:k+4)=Akum1(k-1)+cumsum(Prisun1(k:k+4)-odber(k:k+4)) ; %
akumulace lahvi [ks] za aktualni sekundu

    end;%if k<5

Aku1=Aku1+Akum1(k+4); % akumulace lahvi celkova v useku 1

if Akum1(k) > 0.5*H1*P1 / S

```

```
S1(k+1) = true
S1(k+2) = true
S1(k+3) = true
S1(k+4) = true
S1(k+5) = true
else
  S1(k+1)=false
  S1(k+2)=false
  S1(k+3)=false
  S1(k+4)=false
  S1(k+5)=false
end;

  if Akum1(k) > 0.8*H1*P1 / S
    S2(k+1) = true
    S2(k+2) = true
    S2(k+3) = true
    S2(k+4) = true
    S2(k+5) = true
  else
    S2(k+1)=false
    S2(k+2)=false
    S2(k+3)=false
    S2(k+4)=false
    S2(k+5)=false
  end;
```

% tok lahvi mistem S2

% rychlost lahvi muze byt mensi nez rychlost pasku !

Prisun2(k:k+4)=M2(k:k+4) \* 1 \* H2 / S; % prisun lahvi[ks]= rychlost pasku \* cas dt \*  
sirka / plocha lahve

% if S3(k) & S4(k)

% Prisun2(k)=Prisun1(k);

% end; % if plny pasek 1, ale lepicka pomalu jede

% Akum2(k)=Prisun2(k)-Prisun1(k) ; % akumulace lahvi [ks] za aktualni sekundu

% Akum2=cumsum(Prisun2(k:k+4)-Prisun1(k:k+4)) ; % akumulace lahvi [ks] za  
aktualni sekundu

% Aku2=Aku2+Akum2(5); % akumulace lahvi celkova v useku 2

if k<5

Akum2(k:k+4)=cumsum(Prisun2(k:k+4)-Prisun1(k:k+4)) ; % akumulace lahvi [ks]  
za aktualni sekundu

else

Akum2(k:k+4)=Akum2(k-1)+cumsum(Prisun2(k:k+4)-Prisun1(k:k+4)) ; %  
akumulace lahvi [ks] za aktualni sekundu

end;%if k<5

Aku2=Aku2+Akum2(k+4); % akumulace lahvi celkova v useku 2

if Akum2(k) > 0.5\*H2\*P2 / S

S3(k+1) = true

```
S3(k+2) = true
S3(k+3) = true
S3(k+4) = true
S3(k+5) = true
else
S3(k+1)=false
S3(k+2)=false
S3(k+3)=false
S3(k+4)=false
S3(k+5)=false
end;

if Akum2(k) > 0.9*H2*P2 / S
S4(k+1) = true
S4(k+2) = true
S4(k+3) = true
S4(k+4) = true
S4(k+5) = true

else
S4(k+1)=false
S4(k+2)=false
S4(k+3)=false
S4(k+4)=false
S4(k+5)=false
end;
```

```
end;% for k

% ----- figure 1-1 -----
h=figure('Name','Motor1',...
    'Position',[2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);
% graf vlevo nahore na monitoru, -30 aby byl videt modry pruh okna);

plot(t,M1,'-r','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Xlabel('t [s]','FontSize',16);
Ylabel('v [m.s^{-1}]','FontSize',16);
grid on;

hold on;
plot(t,M2,'-b','LineWidth',1,'Marker','o','MarkerSize',2);
hold off;
axcal=0;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 85],'YLim',[0 30]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

%title('Note:  $I_{10}$  is a cable current, not a current of a winding in delta
connection','FontWeight','bold','FontSize',9);
legend('M1','M2','location','ne');
legend('boxoff');
```

```
%title('Magnetizing curve','FontWeight','Bold');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru (i s cestou)
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');saveas(h,f,'emf'); %ulozi obrazek jako *.jpg a *.mat ... to je
vhodne pro dalsi editace

end;

% ----- figure 2-2 -----
h=figure('Name','Snimace',...
    'Position',[scrsz(3)/2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);
% graf vpravo nahore na monitoru, -30 aby byl videt modry pruh okna);

plot(t,S0,'-k','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Xlabel('t [s]','FontSize',16);
Ylabel('S_x [logic]','FontSize',16);
grid on;

hold on;

plot(t,S1(1:120),'-b','LineWidth',2,'Marker','o','MarkerSize',2);
```

```
plot(t,S2(1:120),'-r','LineWidth',2,'Marker','x','MarkerSize',6);

plot(t,S3(1:120),'-g','LineWidth',2,'Marker','h','MarkerSize',6);

plot(t,S4(1:120),'-c','LineWidth',2,'Marker','d','MarkerSize',5);

hold off;

axcal=1;

if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 121],'XTick',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...
    'YLim',[-0.2 1.2],...
    'YTick',[0 1],'YTickLabels',[{'False'}, {'True'}]);

end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

%title('Note:  $I_{10}$  is a cable current, not a current of a winding in delta
connection','FontWeight','bold','FontSize',9);

legend('S0','S1','S2','S3','S4','location','se');

legend('boxoff');

%title('Magnetizing curve','FontWeight','Bold');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure

f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru (i s cestou)

if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');saveas(h,f,'emf'); %ulozi obrazek jako *.jpg a *.mat ... to je
vhodne pro dalsi editace

end;
```



```
% ----- figure 3-3 -----  
  
h=figure('Name','Snimace2',...  
    'Position',[2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);  
  
%graf vlevo dole na monitoru, -30 aby byl videt modry pruh okna);  
  
subplot(5,1,1);  
  
%titul = ['Snimac'];  
%title(titul,'FontWeight','bold','Color','b');  
  
  
plot(t,S0,'-k','LineWidth',2);  
Ylabel('S_0','FontSize',16);  
grid on;  
set(gca,'FontSize',16);  
axcal=1;  
if axcal==1 set(gca, ...  
    'XLim',[0 121],'XTick',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...  
    'YLim',[-0.2 1.2],'XTickLabels',[ ],...  
    'YTick',[0 1],'YTickLabels',[{'False'}, {'True'}]);  
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka  
  
subplot(5,1,2);  
plot(t,S1(1:120),'-b','LineWidth',2,'Marker','o','MarkerSize',2);  
Ylabel('S_1','FontSize',16);
```

```
grid on;

set(gca,'FontSize',16);

axcal=1;

if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 121],'XTick',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...
    'YLim',[-0.2 1.2],'XTickLabels',[ ],...
    'YTick',[0 1],'YTickLabels',[{'False'}, {'True'}]);

end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka
```

```
subplot(5,1,3);

plot(t,S2(1:120),'-r','LineWidth',2,'Marker','x','MarkerSize',6);

Ylabel('S_2','FontSize',16);

grid on;

set(gca,'FontSize',16);

axcal=1;

if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 121],'XTick',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...
    'YLim',[-0.2 1.2],'XTickLabels',[ ],...
    'YTick',[0 1],'YTickLabels',[{'False'}, {'True'}]);

end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka
```

```
subplot(5,1,4);

plot(t,S3(1:120),'-g','LineWidth',2,'Marker','x','MarkerSize',6);

Ylabel('S_3','FontSize',16);

grid on;

set(gca,'FontSize',16);
```

```
axcal=1;

if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 121],'XTick',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...
    'YLim',[-0.2 1.2],'XTickLabels',[ ],...
    'YTick',[0 1],'YTickLabels',[{'False'}, {'True'}]);

end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

subplot(5,1,5);

plot(t,S4(1:120),'-m','LineWidth',2,'Marker','d','MarkerSize',5);

Ylabel('S_4','FontSize',16);
Xlabel('t [s]','FontSize',16);

grid on;

set(gca,'FontSize',16);

axcal=1;

if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 121],'XTick',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...
    'YLim',[-0.2 1.2],'XTickLabels',[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120],...
    'YTick',[0 1],'YTickLabels',[{'False'}, {'True'}]);

end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure

f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru (i s cestou)

if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');saveas(h,f,'emf'); %ulozi obrazek jako *.jpg
```

```
end;

%----- figure 4-4 -----
h=figure('Name','lahve',...
    'Position',[scrsz(3)/2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);
% graf vpravo dole na monitoru, -30 aby byl videt modry pruh okna);

plot(t,Prisun1,'-r','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Xlabel('t [s]','FontSize',16);
Ylabel('Tok lahvi [ks.s^{-1}]','FontSize',16);
grid on;

hold on;

plot(t,Prisun2,'-b','LineWidth',2,'Marker','o','MarkerSize',3);
plot(t,odber,'-k','LineWidth',2,'Marker','none','MarkerSize',3);
hold off;
axcal=0;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[40 85],'YLim',[-5 5]);
end; % scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

%title('Note:  $I_{10}$  is a cable current, not a current of a winding in delta
```

```
connection','FontWeight','bold','FontSize',9);
legend('mistem S2','mistem S4','mistem S0','location','ne');
legend('boxoff');

%title('Magnetizing curve','FontWeight','Bold');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru (i s cestou)
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');saveas(h,f,'emf'); %ulozi obrazek jako *.jpg a *.mat ... to je
vhodne pro dalsi editace
end;

% ----- figure 5-1 -----
h=figure('Name','Buffer',...
    'Position',[scrsz(3)/2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);
% graf vlevo nahore na monitoru, -30 aby byl videt modry pruh okna);

plot(t,Akum1,'-r','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
xlabel('t [s]','FontSize',16);
ylabel('Pocet lahvi [ks]','FontSize',16);
grid on;
set(gca,'Color','y','YColor','b','XColor','b');
hold on;
plot(t,Akum2,'-b','LineWidth',2,'Marker','o','MarkerSize',3);
hold off;
```

```
axcal=0;

if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 200],'YLim',[0 600]);

end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

%titul = [zbytek,' P_{max}=',num2str(maxP2),'[W],
Energie=',num2str(maxA2),'[Wh]'];

%title(titul,'FontWeight','bold','Color','b');

legend('Buffer 1','Buffer 2','location','ne');

legend('boxoff');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure

f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru (i s cestou)

if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');saveas(h,f,'emf'); %ulozi obrazek jako *.jpg

end;
```