

# **Řízení laboratorního modelu spřažených elektromotorů s využitím řídicí jednotky CE 120**

Drahomír Janeček

---

Bakalářská práce  
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav automatizace a řídicí techniky  
akademický rok: 2005/2006

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Drahomír JANEČEK**  
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**

Téma práce: **Řízení laboratorního modelu spřažených  
elektromotorů s využitím řídicí jednotky CE 120**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vyřešte komunikaci mezi řídicí jednotkou, PC a modelem spřažených elektromotorů.**
- 2. Seznamte se základními funkcemi řídicí jednotky a realizujte zapojení P,PI a PID regulátorů.**
- 3. Zvolte vhodné parametry regulátorů a realizujte regulaci otáček a napínání pásu modelu spřažených elektromotorů.**
- 4. Zajistěte vizualizaci průběhů regulačních pochodů s využitím PC.**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:


1. CE 120 Controler manual.TecQuipment Ltd.,1998.
2. Balátě,J. 1996.Vybrané statě z automatického řízení.Brno:VUT,1996.
3. Balátě,J. 2003.Automatické řízení.BEN.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Kubalčík, Ph.D.**  
Ústav řízení procesů


Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2006**

Termín odevzdání bakalářské práce: **16. června 2006**

Ve Zlině dne 14. února 2006

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*pozvěřený děkan*



  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Hlavním úkolem této práce je experimentální ověření laboratorního modelu spřažených elektromotorů CE 108 spolu s řídicí jednotkou CE 120 a realizace zpětnovazebního řízení otáček a napínání pásu. Zapojení regulátorů a vizualizace regulačních pochodů je zajištěna pomocí programu na PC. Počítač s modelem CE 108 spolupracuje pomocí linky RS 232 s využitím digitální části řídicí jednotky CE 120.

Klíčová slova: regulační obvod, P, PI, PID regulátor, zpětnovazební řízení

## **ABSTRACT**

The aim of this work is an experimental assessment of a CE 108 coupled-drives laboratory model cooperating with a CE 120 control device and realisation of its close-loop control of revolutions and belt tensioning. Regulator connection and visualisation of control processes is performed using PC software. Cooperation between the CE 108 model and computer is provided by a RS 232 link with the aid of digital part of CE 120 control device.

Keywords: regulation circuit, P, PI, PID regulator, close-loop control

Chtěl bych poděkovat na prvním místě svému vedoucímu Marku Kubalčíkovi za vzorné vedení a podnětné diskuse při experimentech i psaní této práce. Rád bych dále vyjádřil dík své ženě a rodině za podporu a pochopení během celého studia.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>8</b>
<b>1 SOUSTAVA SPŘAŽENÝCH ELEKTROMOTORŮ</b> .....	<b>9</b>
1.1 SERVOMOTORY .....	11
1.2 TACHOGENERÁTOR .....	11
1.3 PŘESNÝ SERVOPOTENCIOMETR .....	12
<b>2 ANALOGOVĚ DIGITÁLNÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA</b> .....	<b>13</b>
2.1 MĚŘENÍ A GENERÁTOR FUNKCÍ.....	13
2.2 ANALOGOVÁ ČÁST .....	14
2.3 DIGITÁLNÍ ČÁST.....	17
<b>3 CE 2000 L ŘÍDÍCÍ SOFTWARE POD MS WINDOWS</b> .....	<b>18</b>
<b>4 ZÁKLADNÍ POJMY AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ</b> .....	<b>21</b>
4.1 SPOJITÉ ŘÍZENÍ .....	21
4.2 ZÁKLADNÍ DYNAMICKÉ VLASTNOST SPOJITÝCH REGULÁTORŮ.....	23
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>26</b>
<b>5 EXPERIMENTY NA CE 108</b> .....	<b>27</b>
5.1 KOMUNIKACE MEZI CE 120 A PC .....	28
5.2 MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK SOUČÁSTÍ MODELU CE 108 .....	31
5.2.1 Kalibrace snímače napínání .....	31
5.2.2 Měření přechodových charakteristik a odezvy systému na sinusový signál .....	32
<b>6 REGULACE A JEJÍ PRŮBĚHY</b> .....	<b>35</b>
6.1 ZPĚTNOVAZEBNÍ ŘÍZENÍ RYCHLOSTI KOLA.....	35
6.2 ZPĚTNOVAZEBNÍ ŘÍZENÍ NAPÍNÁNÍ PÁSU .....	39
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>42</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>43</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>44</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>45</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>47</b>

## ÚVOD

Průmysl a průmyslové procesy prodělaly za posledních sto let překotný vývoj. Z původně kusové či manufakturní výroby se přešlo na sériovou, často kontinuální výrobu, kde na začátku do procesu vstupuje surový materiál případně hrubý polotovár a na konci výrobní pás opouští více či méně dohotovený výrobek. Tento významný pokrok byl umožněn jen za pomoci automatizace jednotlivých výrobních operací a rozvoje vědního oboru s názvem kybernetika. Ovšem platí i opačný výklad – bouřlivý rozvoj řízení a automatizace byl indukován společenskou objednávkou pramenící z průmyslu a tudíž je možno říci, že vztah obou oborů vykazuje charakter zpětné vazby. Výsledek je zjevný – člověk 21. století je obklopen hi-tech výrobky a technologiemi, z nichž některé významně přispěly ke zkvalitnění a prodloužení života.

Příkladem poměrně složitěho řízení a automatizace může být proces, při němž je zpracováván na konečný výrobek polotovár ve formě nekonečného návínu. S tímto problémem je možno se setkat ať již v vláknařském a textilním průmyslu, při výrobě kabelů či v papírenství a tiskařství. Jako zásadní se zde jeví správné vyřešení regulace rychlosti odvíjení a napnutí materiálu během celého zpracování, neboť nesprávné poměry u obou veličin vždy vedou k nekvalitní produkci, eventuálně havárii výrobního procesu. A právě tento problém se stal podnětem pro vznik předložené práce.

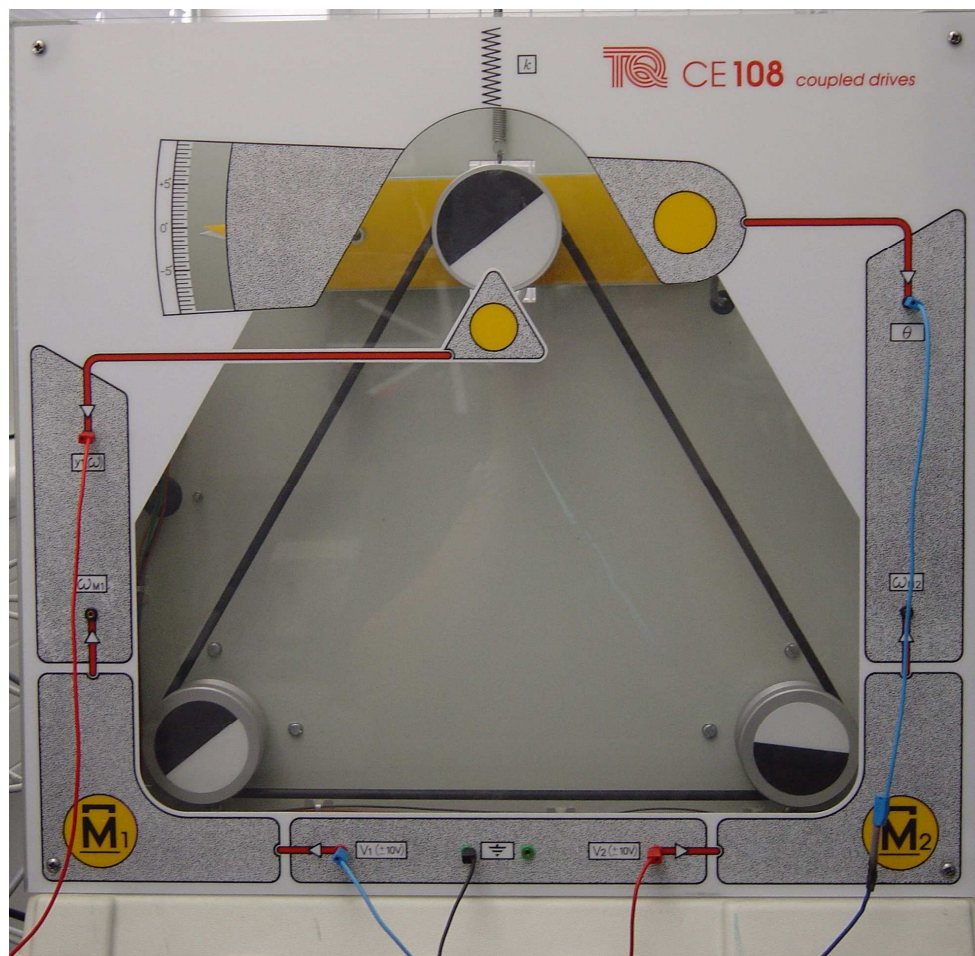
Tato bakalářská práce řeší definovaný problém na laboratorním modelu soustavy spřažených elektromotorů CE 108. Jejím cílem je v prvním kroku vyřešit správnou komunikaci mezi řídicí jednotkou CE 120, PC a samotným modelem. V následném kroku jsou ověřeny základní funkce řídicí jednotky a realizováno zapojení P, PI, PID regulátorů spolu s volbou vhodných parametrů. Tento postup ústí v samotnou regulaci otáček a napínání pásu modelu spřažených elektromotorů. V posledním kroku je vyřešena vizualizace průběhu jednotlivých řídicích pochodů na PC.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

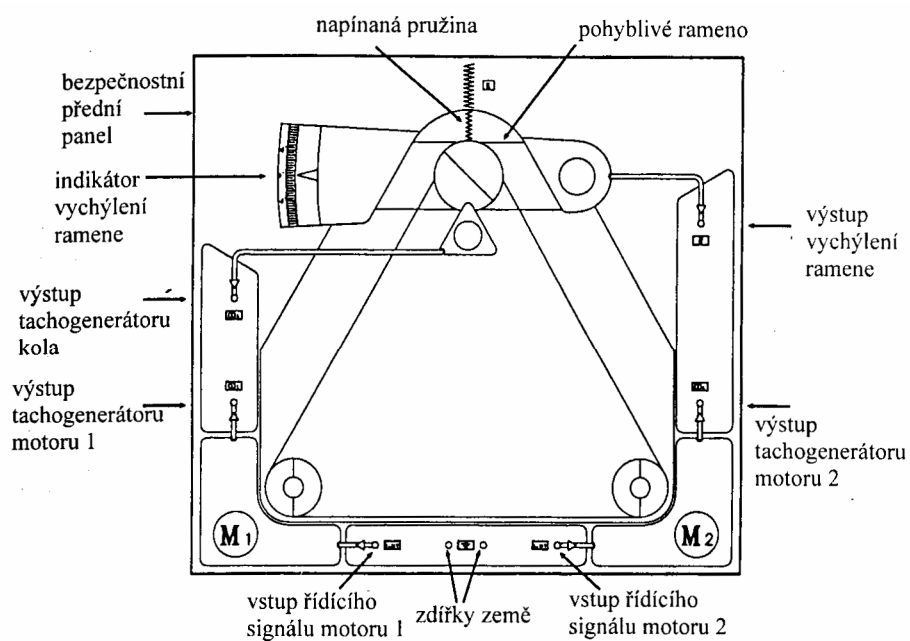


## 1 SOUSTAVA SPŘAŽENÝCH ELEKTROMOTORŮ

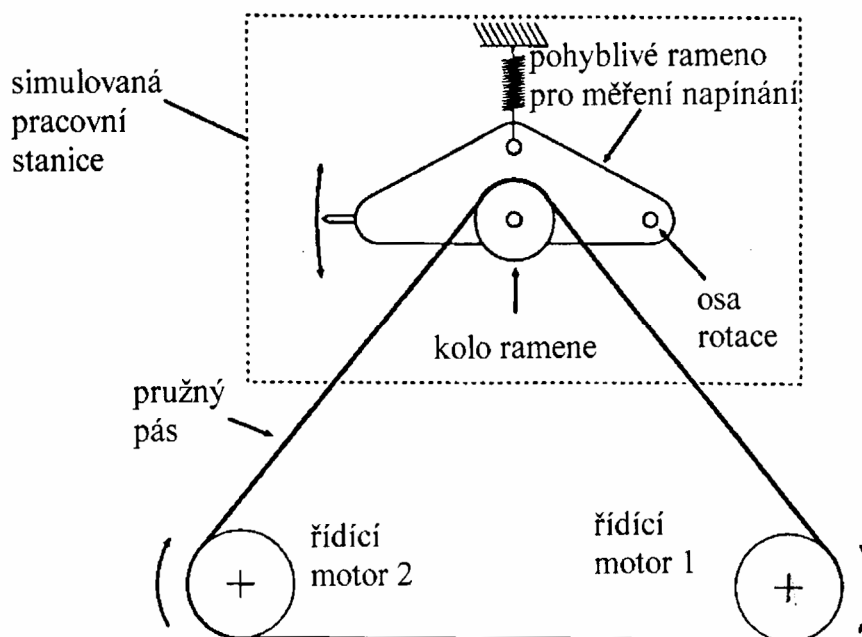
Soustavu spřažených elektromotorů vyrábí firma TecQuiment limited z Velké Británie a je určen pro výuku mnohorozměrových řídicích systémů. Přístroj umožňuje řešit praktické úlohy napínání a rychlosti materiálu při spojitých procesech. Příkladem může být rychlost a napínání nitě z jedné cívky na druhou, při výrobě papíru, výrobě kabelů a všude tam, kde dochází k napínání spojitého pásu materiálu. Při těchto procesech prochází materiál pracovní stanicí, kde se měří rychlost a napínání, které jsou na sobě závislé a tyto veličiny se upravují rychlostí motorů umístěných před a za stanicí. Tato situace je upravena pro laboratorní měření tak, že pružný pás je upevněn na třech kolech, rychlost dvou je přímo úměrná otáčkám motorů a jsou napevno umístěná, třetí kolo se může pohybovat (umístěno na pohyblivém rameni zavěšeném na pružině) a simuluje tak pracovní stanicí spolu s měřením napínání a rychlosti. Tyto dva servomotory řídí rychlost pohybu a napínání pásu. Rychlost pohybu odpovídá 0 až 10 V, což odpovídá 0 až 3000 ot/min. Měření napínání je nepřímé přes úhel pohyblivého ramene,  $\pm 10$  V což odpovídá  $10^\circ$ . Je-li umístěn pojistný šroub na pohyblivém na pohyblivém rameni, pak je minimalizováno napínání. Vstupy do přístroje jsou řídicí napětí k zesilovačům u servomotorů, které se realizují přes 2 mm zdířky umístěné na předním panelu CE 108. Výstupy ze systému jsou také realizovány přes 2 mm zdířky umístěné na předním panelu. Výstupy jsou rychlosti servomotorů ( $\omega_1, \omega_2$ ), výstup snímače napínání ( $\theta$ ) a rychlost kola na pohyblivém rameni ( $\omega_3$ ). Servozesilovače jsou obousměrné a dovolují tak řídit každý motor v obou směrech. Výrobce dále doporučuje se ujistit před každým experimentem, že pás je správně umístěn na všech kolech a nařizuje nepřesahovat rychlost motoru přes 3000 ot/min. Motory mohou běžet souběžně nebo proti sobě, řízení lze provádět s nebo bez pojistným šroubem na rameni měřícím napínání. Šroub se nedoporučuje odjišťovat do doby než regulace dává uspokojivé výsledky. Nedoporučuje se také nechat běžet motory příliš dlouho, aby nedošlo k jejich zničení. Výrobce pokládá za důležité zapojit přístroj do sítě přes přepínač nebo přerušovač obvodu a připojení k zemi. Pracovní podmínky: skladovací teplota  $-25$  až  $+55$  °C, pracovní teplota  $+5$  až  $+40$  °C, relativní vlhkost 80 % při teplotě menší než  $31$  °C, 230 V, 2 A typ TN a TT (ICE 364), pojistky: hlavní 1,6 A, ICE 127 typ T, napájení 6,3 A, ICE 127 typ F. Hlučnost nepřesahuje stanovenou normu 70 dB. Přístroj byl vyvíjen ve spolupráci s Centrem řídicích systémů Manchesterské university, Institutem pro vědu a technologii (UMIST) [1].



Obr. 1.1 Ilustrační foto jednotky CE 108



Obr. 1.2 Schéma modelu CE 108



Obr. 1.3 Princip modelu CE 108

Hlavní funkční část lze rozdělit na dvojici stejných servomotorů, tachogenerátor a přesný servopotenciometr.

### 1.1 Servomotory

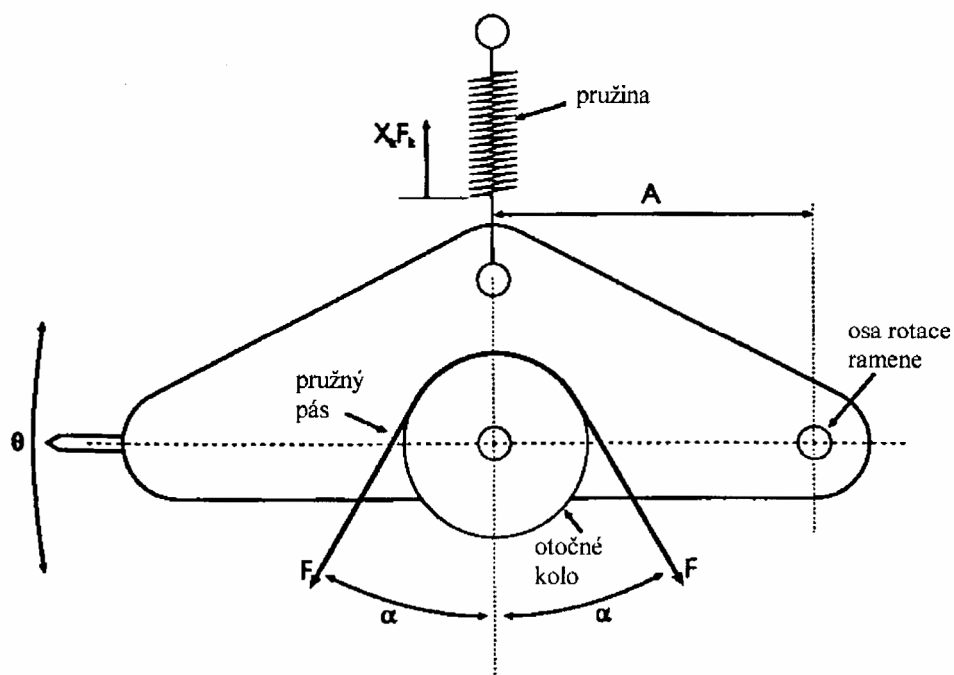
Stejně servomotory jsou řízeny pomocí zesilovačů napájení umístěných v hlavní části přístroje. Motory mají malou setrvačnost a dobrou charakteristiku kroutícího momentu. Motory generují kroutící moment ( $\Gamma_1, \Gamma_2$ ), který je přímo úměrný napětí ( $u_1, u_2$ ). Servomotory jsou spojeny s tachogenerátory, které vytváří elektrický signál  $V_{\omega_1}$  a  $V_{\omega_2}$ , který je přímo úměrný rychlostem  $\omega_1, \omega_2$  kol 1 a 2.

### 1.2 Tachogenerátor

Tachogenerátor počítající pulsy s výstupem 0 až 10 V pro rychlost 0 až 3000 ot/min je připojen ke kolu na pohyblivém rameni, zajišťuje napětí  $y_1$ , které je úměrné rychlosti kola.

### 1.3 Přesný servopotenciometr

Potenciometr je umístěn axiálně k ose rotace ramene. S vychýlením ramene potenciometr dává odpovídající napětí  $y_2$ , které je zesíleno zesilovačem v hlavní části přístroje. Napětí  $y_2$  lze vztáhnout ke změně úhlu  $\theta$  ramene použitím označení na krytu přední části CE 108.

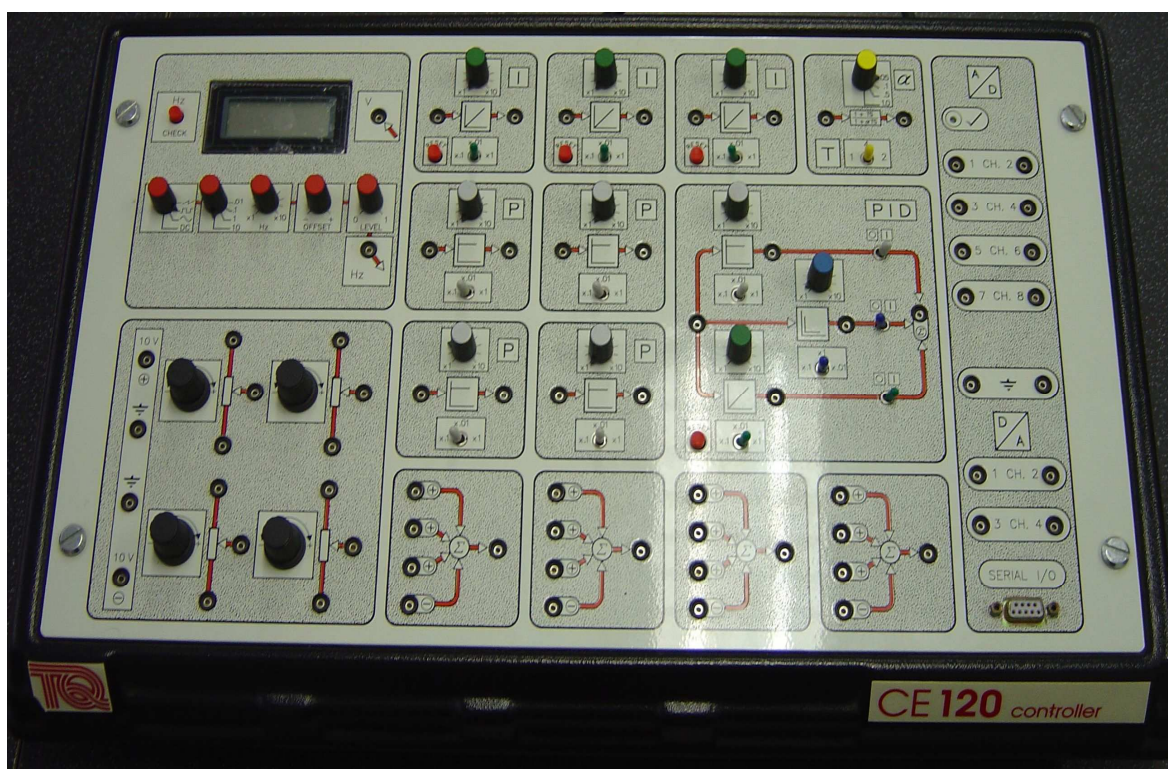


Obr. 1.4 Detail pohyblivého ramena

## 2 ANALOGOVĚ DIGITÁLNÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA

Jednotka CE 120 byla navržena jako kombinovaný analogově-digitální řídicí prvek pro použití spolu s laboratorními přístroji CE 103 – CE 111 pro výuku teorie regulace firmou TecQuipment Ltd. Lze však použít i s jiným zařízením se srovnatelnými parametry. Výstupní signály neslouží samy o sobě jako napájecí, proto je třeba použít zesilovač, pokud chceme použít CE 120 s jinými přístroji, než je řada CE 103 – CE 111. Vstupní a výstupní signály jsou přiváděny na 2 mm zdířky. Všechny obvody jsou vnitřně chráněny proti přetížení a zkratům. Napájení CE 120 je jednofázové se zemí, AC 85-250 V, 50/60 Hz.

Všechny níže popsané části řídicí jednotky jsou obsaženy i v programu CE 2000 L a tudíž je možno zapojení realizovat i na ploše PC. Program také umožňuje naměřená data uložit v podobě grafu.



Obr. 2.1 Ilustrační foto řídicí jednotky CE 120

### 2.1 Měření a generátor funkcí

Tato část obsahuje jeden blok, generátor funkcí spolu s digitálním voltmetrem. Generátor funkcí zajišťuje výstupní signál ve frekvenčním rozsahu 0,01 Hz až 100 Hz, který je přístupný z 2 mm zdířky umístěné vpravo dole, ovládací prvky zajišťují různý tvar signálu.

**Přepínač funkcí** – pomocí něj si lze vybrat sinusový, obdélníkový, pilový nebo DC signál. Ovládací prvky pro nastavení frekvence (potenciometr a přepínač rozsahu) – umožňují volbu frekvence 0,01 Hz až 100 Hz.

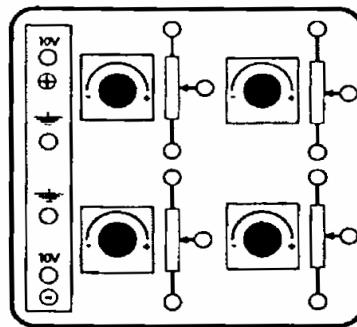
**Offset** - nastavení offsetu v rozsahu od  $-10$  do  $+10$  V.

**Level** - nastavení amplitudy signálu v rozsahu mezi  $-10$  a  $+10$  V, pro lepší kontrolu nastavení je možné připojit výstup ze zdíčky výstupního signálu na zdíčku voltmetru.

**Digitální voltmetr** – skládá se z sedmi segmentového displeje s rozsahem  $\pm 19,99$  V. Vstup je přes 2 mm zdíčku umístěnou vpravo od displeje. Tlačítko vlevo od displeje po stisku dočasně zobrazí frekvenci generovanou funkčním generátorem, nepotřebuje připojení je připojen interně.

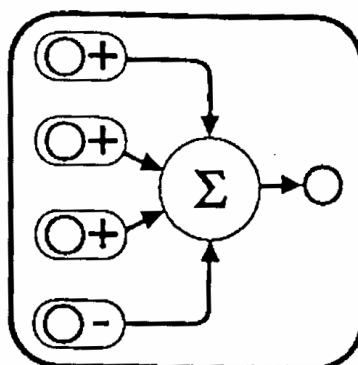
## 2.2 Analogová část

**Zdroj DC signálu a potenciometry** – skládá se ze dvou samostatných konstantních zdrojů napětí  $+10$ V a  $-10$ V a dvou zdírek pro zemi, ve spojení s následnými čtyřmi potenciometry zajišťuje signál v rozsahu  $\pm 10$  V. Je možné nastavit rozsah signálu stavitelného potenciometrem na  $-10$  až  $+10$  V. Odpor každého potenciometru je přibližně  $10$  k $\Omega$ , rozdíl 500mV.



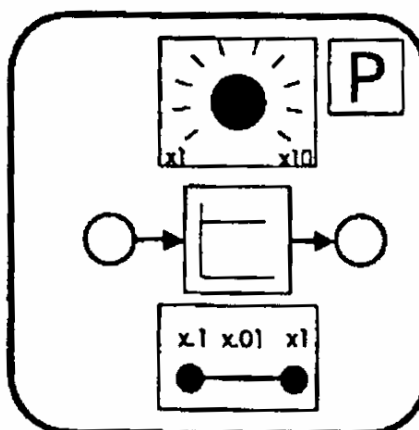
Obr. 2.2 Zdroj DC signálu

**Sumační zesilovače** – čtyři zesilovače, každý s třemi neinvertujícími a jedním invertujícím vstupem, jednotkové zesílení pro každý zesilovač. Nulové napětí je zajištěno s přesností  $\pm 50$  mV.



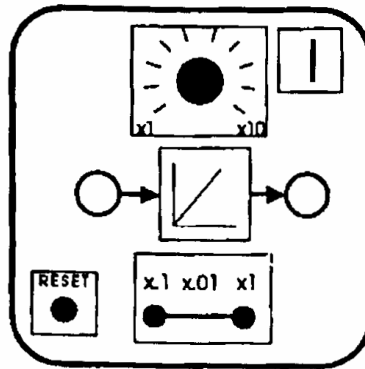
Obr. 2.3 Sumační zesilovač

**Proporcionální zesilovače** – funkcí těchto čtyř zesilovačů je zajistit signál, který je proporcionální ke vstupnímu signálu, kde konstantou proporcionality je aktuální zesílení zesilovače. Každý zesilovač má hodnotu proporcionálního zesílení  $k_p$  v rozsahu 0,01 až 10 nastavitelnou přepínačem rozsahu a spojitě proměnným potenciometrem.



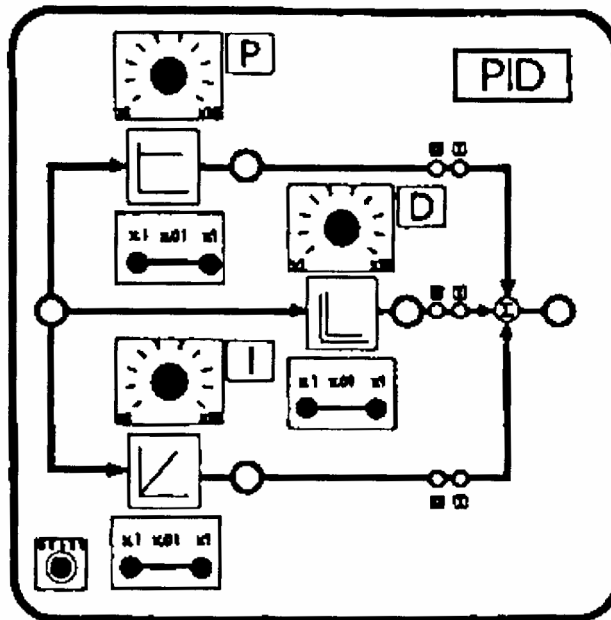
Obr. 2.4 Proporcionální zesilovač

**Integroující zesilovače** – úkolem těchto tří zesilovačů je zajistit integrovaný signál. Každý zesilovač má hodnotu integroujícího faktoru  $k_i$  v rozsahu 0,01 až 10 nastavitelnou přepínačem rozsahu a spojitě proměnným potenciometrem. Tlačítko Reset slouží k odstranění zbytkového napětí.



Obr. 2.5 Integrovaný zesilovač

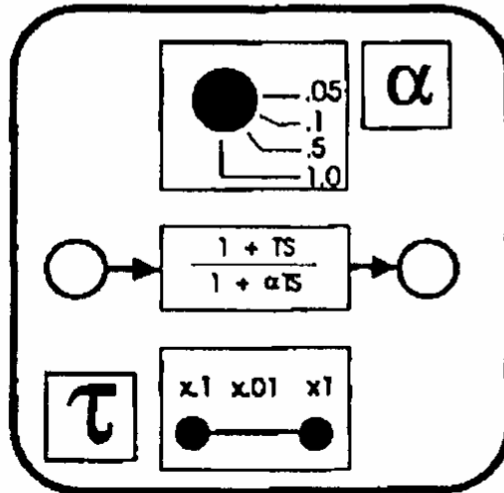
**PID regulátor** – obsahuje proporcionální, integrující a derivující zesilovač, u kterých je možno nastavit hodnoty proporcionálního zesílení  $k_p$ , integrujícího faktoru  $k_i$  a derivujícího faktoru  $k_d$  v rozsahu 0,01 až 10 nastavitelnou přepínačem rozsahu a spojitě proměnným potenciometrem. Za nastavitelnými bloky jsou zdířky pro individuální přístup ke každé složce PID regulátoru a přepínače, kterými lze vyřadit příslušnou složku. Reset má stejnou funkci jako u integrujícího zesilovače.



Obr. 2.6 PID regulátor



**Zesilovač s přenosovou funkcí** – realizuje přenosovou funkci ve tvaru  $\frac{1+\tau s}{1+\alpha\tau s}$ ,  $\alpha$  i  $\tau s$  se nastavují přepínači umístěnými na bloku. Tento blok se používá u systémů se sklony k nestabilitě.



Obr. 2.7 Zesilovač s přenosovou funkcí

### 2.3 Digitální část

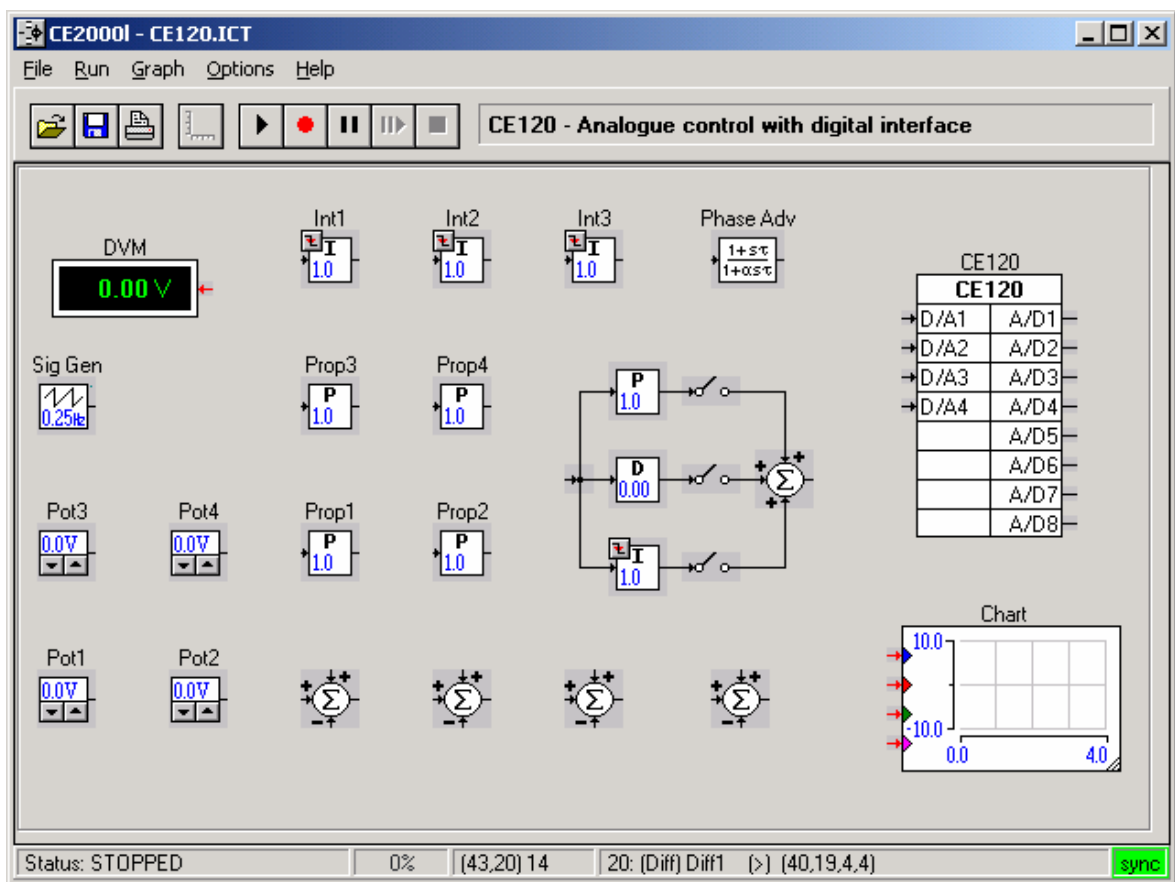
Tato část umožňuje propojení CE 120 s počítačem PC kompatibilním pro softwarové řízení regulace pomocí sériové komunikace RS 232 přes devíti cestný D soket popsany níže v této části. Propojení se realizuje sériovým kabelem. Dále tato část obsahuje osmi kanálový AD převodník a čtyřkanálový DA převodník. Převodník je dvanácti bitový a každý kanál má rozsah  $\pm 10$  V. Pro správnou funkci komunikace je třeba vybrat volný port PC a ten v programu CE2000L zatrhnout (bližší popis nastavení komunikace v kapitole 5).

### 3 CE 2000 L ŘÍDÍCÍ SOFTWARE POD MS WINDOWS

CE 2000 L software je dodáván s libovolným přístrojem firmy TecQuipment Ltd. řady CE a má pouze omezení počtu bloků, které lze použít - pro bližší podrobnosti je třeba kontaktovat dodavatele.

**Doporučené systémové požadavky** – IBM PC AT kompatibilní s 486DX-2 procesorem, 8MB RAM, 10MB HDD, Windows 3.1.

CE 2000 L je chráněn autorskými právy a kopie lze provádět pouze se souhlasem firmy TacQuipment Ltd. Software je dodáván na jedné 1,44 MB disketě. Instalátor se inicializuje po spuštění souboru **A:\instal.exe**. Instalátor nabízí možnost volby adresáře instalace a po nainstalování vytvoří programovou skupinu **TQ Software** v nabídce Start/Programy. Po spuštění se objeví úvodní obrazovka a potom pracovní okno programu, viz obrázek.



Obr. 3.1 Pracovní okno programu CE 2000 L

Toto pracovní okno je rozděleno do pěti částí:

**Hlavička okna** – nese jméno programu CE 2000 L a případně název aktuálního souboru, je-li načten.

**Standardní panel nástrojů** – má tlačítka pro umožnění editace a chodu obvodu. Všechny tyto funkce jsou dostupné i přes menu – File, Run, Graph, Option, Help.

**Funkční panel nástrojů** – obsahuje funkční tlačítka:

- *Otevřít* – ekvivalent příkazu **File/Open circuit**. Zobrazí seznam dostupných souborů obvodů a umožní uživateli jejich výběr.
- *Uložit* – ekvivalent příkazu **File/Save circuit**. Umožní uživateli uložit aktuální obvod s aktuálními hodnotami parametrů.
- *Tisk* – ekvivalent příkazu **File/Print**. Vytiskne aktivní obvod s ohledem na nastavení v **File/Page setup**.
- *Graf* – zobrazení zaznamenaných nebo načtených dat.
- *Spustit* – Spouští aktuální obvod a komunikuje s CE 120 rozhraním dokud není stisknuté tlačítko Stop.
- *Zaznamenávat* – stejné jako Spustit, navíc se archivují všechna data představující vstupní signály všech zobrazovaných bloků.
- *Pozastavit* – tlačítko pozastavit pozastaví zobrazování a archivaci aktuálního stavu, ale regulace neustále běží.
- *Krokování* – toto tlačítko je aktuální pouze při pozastaveném obvodu, zaktualizuje data v obvodu aniž je změněno pozastavení zobrazování a archivace dat.
- *Zastavit* – stlačením dojde k zastavení řízení a nastavení výstupů na 0 V.

**Pracovní plocha** – plocha, kde se nachází řídicí obvod, případně komponenty obvodu při startu programu.

**Stavová řádka** – je rozdělena do částí:

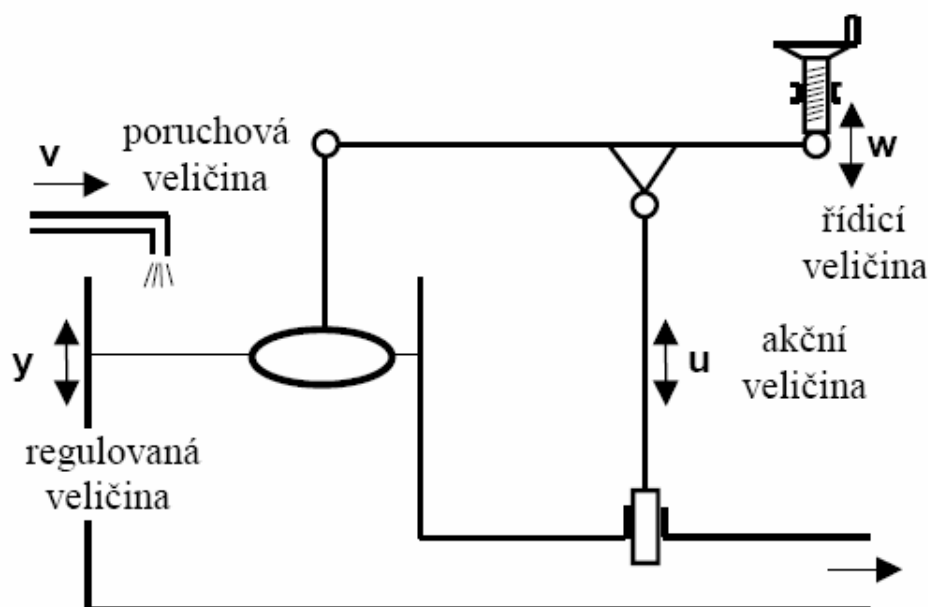
- *Stav obvodu* – zobrazuje aktuální stav obvodu, možnosti jsou: **zastaven**, **běžící**, **zaznamenávající** a **pozastaven**.

- *Procenta operace* – zobrazení procent probíhající operace, jako je např. zaznamenávání dat (jsou červená během zaznamenávání, jinak jsou modrá).
- *Pozice/čas* – jestliže je obvod ve stavu běžící, tak tato část zobrazuje dobu od startu
- *Informace o bloku/spoji* – zobrazí jméno bloku/spoje, nad nímž je kurzor myši a jeho parametry.
- *Synchronizační část* – barva této části signalizuje stav synchronizace přenosu dat mezi PC a CE 120. Je-li zelená, software i hardware je synchronizován, jantarová žluť znamená, že část příchozích dat je kvůli synchronizaci ignorována a červená znamená, že software resetuje propojení, aby obešel problémy komunikace. Je-li neustále červená, je třeba snížit periodu vzorkování a ujistit se, že nejsou nastaveny FIFO buffery na sériovém portu.

## 4 ZÁKLADNÍ POJMY AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ

### 4.1 Spojité řízení

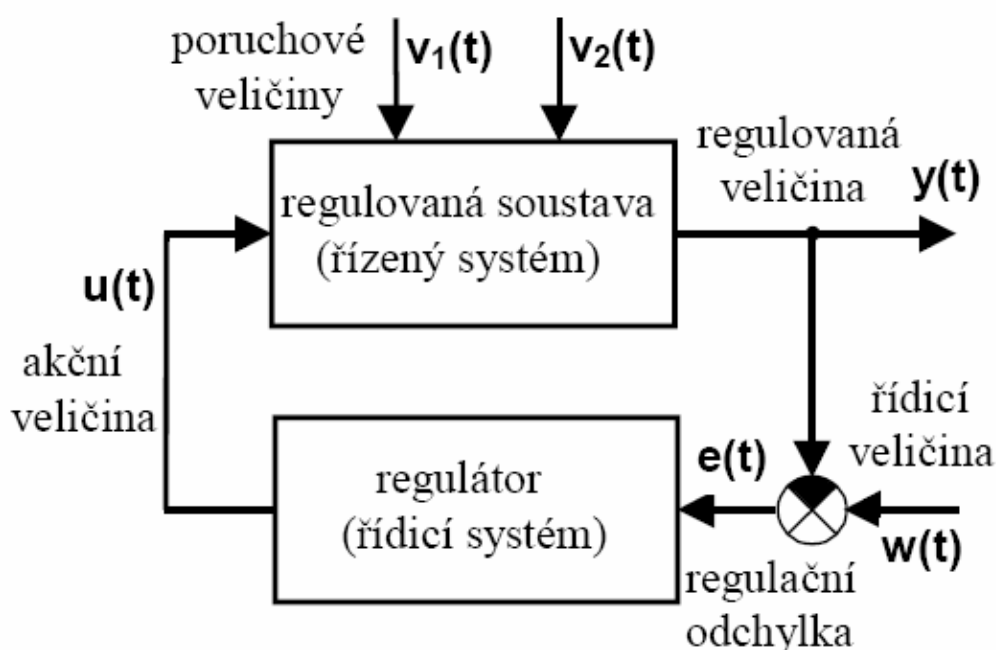
V následující kapitole jsou nastíněny některé základní pojmy a principy z teorie automatického řízení, které byly aplikovány při realizaci praktické části této práce. Rozsah práce neumožňuje podrobnější rozbor problematiky, jsou vysvětleny pouze záležitosti nezbytně nutné pro pochopení experimentů prováděných v praktické části. Řízení se zpětnou vazbou se nazývá regulace. Úkolem regulace je nastavení technických veličin (tlak, teplota, otáčky) na požadovanou hodnotu a udržovat je na této hodnotě i při působení poruch. Regulace se uskutečňuje v regulačním systému zvaném regulační obvod. Ukázkovým případem je např. regulace výšky hladiny v nádrži s přítokem a odtokem podle obrázku 4.1. V regulačním obvodu se výrazně rýsují dvě části: regulátor neboli řídicí systém a regulovaná soustava, neboli řízený systém. Regulátor je zařízení které, které uskutečňuje regulaci a které je za tímto účelem úmyslně sestrojeno. V našem případě je to plovák, který zjišťuje stav hladiny a přes pákový převod pohybuje ventilem, regulujícím odtok (plovák, pákový převod a ventil tvoří regulátor). Regulovaná soustava je objektem regulace – je regulátorem regulována (respektive některá její veličina). V našem případě je regulovanou soustavou nádrž s hladinou včetně přítoku a odtoku.



Obr. 4.1 Regulace výšky hladiny v nádrži

Veličina, jejíž hodnota je výstupem z regulované soustavy a jež se regulací udržuje na požadované hodnotě, se nazývá **regulovaná veličina** a označuje se symbolem  $y$ . V našem případě je to výška hladiny, ale jako regulované veličiny mohou být nejrůznější fyzikální veličiny jako teplota, poloha, rychlost, pH, elektrické napětí, chemické složení, průtok atd. Žádaná hodnota (někdy též nazývaná řídicí veličina)  $w$  (v našem případě poloha šroubu s ručním kolem) je veličina, pomocí které nastavujeme hodnotu, kterou má dosahovat regulovaná veličina. Určuje tedy vždy žádanou hodnotu regulované veličiny (předepsanou hodnotu, na které se má regulovaná veličina udržovat). Pokud je řídicí veličina zadávána člověkem, je to obvykle poloha nastavovacího prvku (potenciometru, ovládací páčky či kolečka). V automatických provozech, ve kterých je regulační obvod napojen vyšší systém řízení, to může být elektrické napětí nebo jiná veličina, přenášející informaci. V regulačním obvodu se hodnota regulované veličiny trvale měří a porovnává se žádanou hodnotou, kterou je řídicí veličina a vytváří se rozdíl  $e = w - y$  který se nazývá **regulační odchylka**  $e$ . Jakmile je rozdíl mezi regulovanou veličinou a její požadovanou hodnotou, má regulační odchylka nenulovou hodnotu a regulátor provádí akční zásah. Vytváření odchylky  $e$  se v našem případě děje v diferenčním členu, který je páka plováku. Do regulačního procesu je třeba zasahovat tak, aby se regulační odchylka  $e$  udržovala minimální nebo nulová. To se uskutečňuje výstupní veličinou regulátoru, která je vstupní veličinou regulované soustavy – je to tzv. **akční veličina**  $u$ . Přitom regulátor musí být zapojen, aby akční veličina zmenšovala regulační odchylku. V našem případě je akční veličinou otevření či uzavření regulačního ventilu v odtokovém porubí. Všimněte si správného zapojení regulátoru: když se zvyšuje hladina – zvětšuje se regulovaná veličina a vzniká regulační odchylka v jednom směru – působí regulátor otevření odtoku a tudíž snižování hladiny – zmenšování regulované veličiny a zmenšování a zmenšování odchylky. A naopak. Příčinou, proč musíme regulovat, jsou poruchy – **poruchové veličiny**  $v_1, v_2, \dots$ . Poruchové veličiny nežádoucím a nepředvídatelným způsobem působí na regulovanou soustavu a ovlivňují regulovanou veličinu. V našem případě je poruchovou veličinou každá změna přítoku do nádrže, např. zvýšení tlaku v přívodním potrubí, nebo je poruchou ucpání odtokového potrubí apod. Průběhy všech veličin svázaných s regulací se odehrávají v čase; nás tyto časové průběhy  $y(t), w(t), u(t), v_1(t), v_2(t), \dots$  zajímají, protože charakterizují regulační proces. Při tomto označování veličin můžeme regulační obvod – regulační systém – znázornit **blokovým**

**schématem** podle obrázku 4.2. V blokových schématech se jednotlivé členy obvodu nebo i jejich skupiny znázorní obdélníky a vzájemné působení mezi těmito členy spojovacími čarami. Působení je vždy v jednom směru a proto v blokových schématech označujeme i smysl tohoto působení šipkou. Kroužky nám označují místa, v nichž se signály sčítají, jsou to tzv. součtové (eventuálně rozdílové) členy. Vyčerněná část znamená odečítání signálu. Odbočení signálu nebo jeho rozdvojení označujeme čarou spojenou s druhou čarou tečkou (signál se rozdvojením nemění, nezmenšuje – v obou větvích je stále stejná hodnota informace).



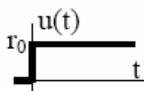
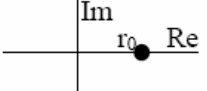
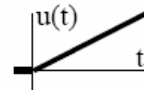

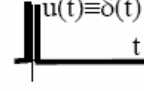
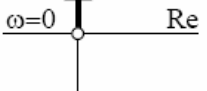
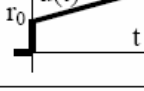
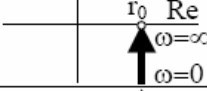
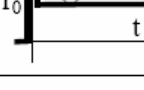
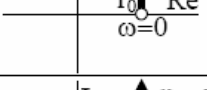
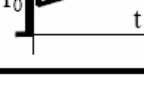
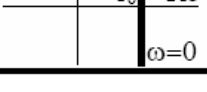
Obr. 4.2 Blokové schéma regulačního obvodu

V konkrétním případě řešeném v praktické části je regulovanou veličinou napínání pásu nebo otáčky motoru a akční veličinou jsou příkony motorů.

## 4.2 Základní dynamické vlastnosti spojitých regulátorů

Regulátor je zařízení které provádí regulaci, čili které prostřednictvím akční veličiny působí na regulovanou soustavu, tak aby se regulovaná veličina na předepsané hodnotě a regulovaná veličina byla nulová nebo co nejmenší. Regulátor může regulační odchylku zesilovat, integrovat a derivovat. Nejjednodušší případ je pouhé zesilování – regulátor je prostý zesilovač. V tomto případě je akční veličina úměrná regulační odchylce  $u = r_0 e$ . Takový regulátor se nazývá proporcionální neboli P regulátor. Častým případem regulátoru je tako-

vý, kdy akční veličina je úměrná integrálu regulační odchylky  $u = r_{-1} \int edt$  a pak se jedná o integrační neboli I regulátor. Technická realizace není možná u regulátoru, kde by akční veličina byla úměrná derivaci regulační odchylky (protože by došlo k rozpojení regulačního obvodu v ustáleném stavu)  $u = r_1 e'$  a to by byl případ regulátoru derivačního neboli D regulátoru. Kombinací těchto základních typů vzniknou další regulátory. Regulátor proporcionálně – integrační neboli PI regulátor má akční veličinu úměrnou regulační odchylce, tak jejímu integrálu, přičemž vliv toho a nebo onoho se dá zvětšit anebo zmenšit volbou konstant  $u = r_0 e + r_{-1} \int edt$ . Podobně regulátor proporcionálně – derivační neboli PD regulátor má akční veličinu úměrnou regulační odchylce a její derivaci  $u = r_0 e + r_1 e'$  a konečně regulátor proporcionálně – integračně – derivační neboli PID regulátor má akční veličinu úměrnou regulační odchylce, jejímu integrálu a její derivaci  $u = r_0 e + r_{-1} \int edt + r_1 e'$ . PID je vzhledem k předcházejícím typům obecným typem a na ostatní se můžeme dívat tak, že některá z konstant je rovna nule.

typ	rovnice	přenos $G_R(s)$	přechodová charakteristika	frekvenční charakteristika
<b>P</b>	$u = r_0 e$	$r_0$		
<b>I</b>	$u = r_{-1} \int edt$	$\frac{r_{-1}}{s}$		
<b>D</b>	$u = r_1 e'$	$r_1 s$		
<b>PI</b>	$u = r_0 e + r_{-1} \int edt$	$r_0 + \frac{r_{-1}}{s}$		
<b>PD</b>	$u = r_0 e + r_1 e'$	$r_0 + r_1 s$		
<b>PID</b>	$u = r_0 e + r_{-1} \int edt + r_1 e'$	$r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s$		

Tab. 1.4 Dynamické vlastnosti spojitých regulátorů



V našem případě jsou sice výpočty akčních zásahů realizovány v číslicovém počítači a v řídicí jednotce je při níže popsaných experimentech třeba využít jak AD tak DA převodník, ve skutečnosti se ale vzhledem k velmi malé periodě vzorkování jedná o regulaci spojitou. V programu jsou nastavovány parametry spojitého (nikoliv diskrétního) P, PI a PID regulátoru a při jejich případném nastavení některou z metod vycházející z modelu řízeného systému by byl použit spojitý model.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 EXPERIMENTY NA CE 108

Experimenty mohly být prováděny dvěma způsoby, které byly principiálně naprosto shodné, lišily pouze technickou realizací. Jednak bylo možno veškerou činnost provádět přímo v analogové části bez využití počítače. Tato možnost ovšem neumožňuje jakoukoliv vizualizaci, proto byla zvolena druhá varianta, která využívá digitální část řídicí jednotky. Tato část je připojena k počítači přes RS 232 a počítač realizuje veškeré funkce jako analogová jednotka v přímém zapojení a navíc získáme možnost vizualizace a archivace dat.

Cílem této části práce bude popsat experimenty na jednotce CE 108 pomocí digitální části řídicí jednotky CE 120 a programu CE 2000 L. Než přejdeme k samotné realizaci tak je nutné si popsat některé možnosti řídicího software. Existují dvě možnosti použití softwaru a to buď načtení předdefinovaného obvodu a nebo vytvoření vlastního.

**Použití předdefinovaných experimentů** – pomocí nabídky menu **File/Open circuit**, vybráním adresáře používaného přístroje (CE 108) a uvnitř něho vybrat požadovaný experiment. Pak je třeba ověřit správnost zapojení vstupů a výstupů přístroje. Zapojení je stejné jak na schématu přístroje v regulačním odvodu. Vlevo jsou výstupy z D/A převodníku a vpravo vstupy do A/D převodníku. Číslo kanálu odpovídá pořadí ve schématu přístroje. Dále je třeba pro kvalitnější regulaci propojení zemí CE 120 a CE 108.

**Editace bloků parametrů** – přístup k parametrům spojeným s dílčím blokem se provádí umístěním kurzoru myši nad příslušný blok a kliknutím levým tlačítkem. Po kliknutí se objeví dialogové okno, kde lze editovat parametry a kliknutím na tlačítko se zelenou fajkou se akceptují změny, klikneme-li na tlačítko s červeným křížkem, zrušíme nastavování změn parametrů. Stisknutí F1 při otevřeném dialogovém okně se zobrazí kontextová nápověda k příslušnému dialogu. Je velmi důležité upozornit, že chceme-li měnit hodnoty funkčních bloků, je třeba změnit Místní nastavení na anglicky (Británie) a provést restart Windows. Bez provedení tohoto nastavení nelze změnit jakýkoliv parametr v programu. Do místních nastavení se dostaneme z nabídky Start/Nastavení/Ovládací panely.

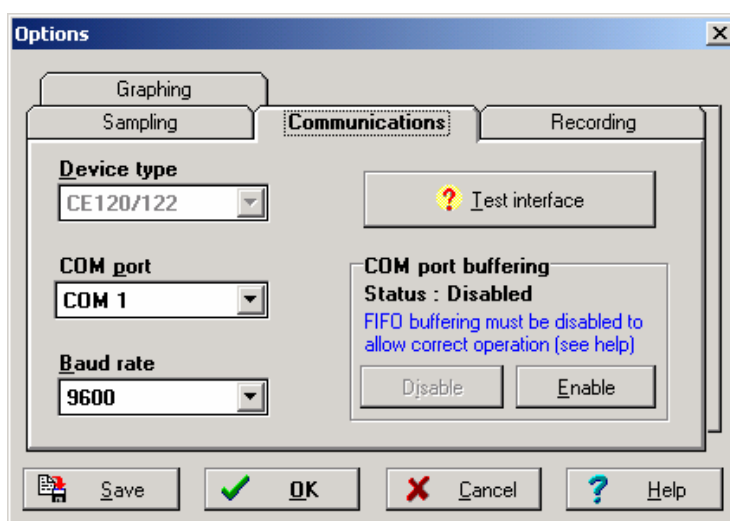
**Vytvoření nového řídicího obvodu** – nejprve je třeba načíst základní soubor s funkčními bloky (CE 108.ICT nebo CE 120.ICT). Pak je třeba ověřit správné propojení mezi oběma modely a PC. Následuje smazání nepotřebných bloků a umístění zbylých do logických pozic a jejich propojení pomocí myši (analogie s propojováním v programu Matlab Simulink). Po provedení požadovaného propojení je možné spustit vytvořený obvod pomocí

tlačítka RUN nebo použít ostatní ovládací prvky. Změny nastavení parametrů po otevření souboru se automaticky neuloží, proto je třeba provést uložení (**Save circuit**).

**Záznam a vykreslení dat** – dialog nastavení podmínek záznamu, který se aktivuje z menu **Options/Circuit options**, dovoluje nastavit délku a periodu zaznamenávání dat. Pro zachování naměřených dat je třeba je uložit pomocí nabídky menu **File/Save datafile**. Po zaznamenání dat je lze vykreslit pomocí položky **Graph/Draw** v menu. Vybráním položky menu **Graph/Options** lze nastavit, které ze zaznamenaných signálů se mají zobrazit – (měřítko os, popis a barvy zobrazovaných signálů, popis os). Tlačítka zobrazovaná spolu s grafem dovolují tisk grafu, uložení grafu jako bitmapy do klipboardu, změnu nastavení grafu, uzavření grafu, vybráním řad, které chceme zobrazit.

## 5.1 Komunikace mezi CE 120 a PC

Veškerá komunikace je realizována sériovou linkou RS 232. Při realizaci komunikace se vyskytlo několik problémů. Zejména ten že model CE 120 není schopen spolupracovat s novými typy počítačů – (zkoušeno s počítačem HP nx5000 s procesorem Intel Centrino). Při propojení a patřičném nastavení sice počítač signalizuje, že je vše v pořádku, ale při spuštění jakéhokoliv obvodu komunikace selhala. Výše popisované problémy se nevyskytovali pouze za použití staršího typu PC – (zkoušeno s počítačem LEO s procesorem Pentium 120). Po správném nastavení komunikační linky v řídicím softwaru vše fungovalo bez potíží. Nastavení komunikace se provádí v nabídce Options, která obsahuje čtyři podnabídky z nichž jedna je Communication jak názorně ukazuje obrázek č. 5.1.



Obr. 5.1 Nastavení parametrů komunikace

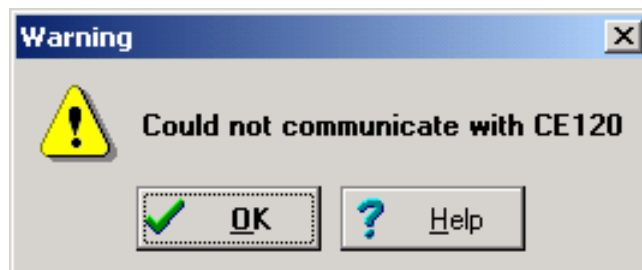
Zobrazuje typ rozhraní zařízení (Device type), číslo portu ke kterému je připojena linka RS232 (COM port), komunikační rychlost v baudech, ta by měla být stejná jako je v nastavení operačního systému. Pomocí této karty se testuje komunikace mezi PC a CE 120 rozhraním (Test interface) a nastavuje stav bufferování komunikačního portu (COM port buffering).

Pokud je vše v pořádku tak se po zmáčknutí tlačítka **Test interface** zobrazí hláška na obrázku č. 5.2.



*Obr. 5.2 Potvrzení komunikace s CE 120*

Při poruše komunikace se objeví hláška znázorněná na obrázku č. 5.3. Důvody nefungující komunikace jsou popsány v nápovědě, obrázek č. 5.4, kterou obdržíte po odklepnutí tlačítka Help v níže zobrazeném obrázku.



*Obr. 5.3 Poruchové hlášení komunikace s CE 120*

Soubor Úpravy Záložka Nápověda

Obsah Hledání Zpět Historie << >> About

### Unable to Communicate

If you get the message Unable to communicate with the CE120 / CE122 when trying to run a circuit or when testing the communications interface in **Options / Circuit options**, then check the following in the circuit options dialog:

- Com port - check that the com port that you have selected here is the port that the CE120 / CE122 is connected to.
- Baud rate - set this to 9600. Most PCs will run quite happily with a baud rate of 19200 but only set this once the interface test shows that communications are ok.
- Device type - ensure that this setting reflects the device that is connected.

Check that the CE120 / CE122 is plugged in and switched on and that the status led close to the RS232 socket is on, if the status led is off then switch the CE120 / CE122 off for a couple of seconds and then on again.

Are you using the serial lead supplied with the CE120 / CE122? The pinout of the lead should be as follows:

<b>9 pin D plug</b>	<b>25 pin D socket</b>
2	3
3	2
5	7
7	4
8	5

<b>9 pin D plug</b>	<b>9 pin D socket</b>
2	2
3	3
5	5
7	7
8	8

Other pins may be connected but these connections are not used.

If the supplied serial lead has been lost then a standard RS232 lead, *not* a null modem lead, should be used in its place. Virtually all communications problems with the CE120 / CE122 are to do with the serial lead or the PC. Check that the pinouts of the RS232 lead that you have are the same as those given above and that none of the male contacts in the D plugs on the lead and on the PC have been pushed back or bent over and that none of the female contacts in the D sockets on the lead and on the CE120 have been pushed back into the shell.

Dont use 9 to 25 pin adapters other than those supplied by TecQuipment as some do not connect all of the signal and control lines necessary for CE2000 communications.

Using a terminal emulator, such as Terminal in Windows, set the COM port to the one you are using with the CE120 and set the communication parameters to 9600 baud, 8 bit data, odd parity, 1 stop bit and no flow control. Remove and then reconnect the power to the CE120. If the CE120 processor is running and the RX data and ground lines from the CE120 to the computer are connected correctly the sign-on screen of the CE120 should appear. This consists of about 8 lines of text with blank lines between giving version and communications information. If this screen appears then the problem lies with the TX data or CTS / RTS lines in the leads or connectors.

Are you sure that the serial port on the PC that you are using works? The best way to test this is to connect a modem to the port and run communications software. If the communications software recognises the presence of the modem then the port is probably ok. If not, check the Port settings in Control Panel. Try to ensure that no other device is trying to use the same address or the same interrupt as the port. Run a program such as Microsofts MSD diagnostic software (supplied with DOS 6 or Windows 3.1 or above) to see if it reports any errors for the port or any other devices using the same interrupt.

Try connecting the CE120 / CE122 to a different PC if one is available.

#### *Obr. 5.4 Nápověda k problémům komunikace s CE 120*

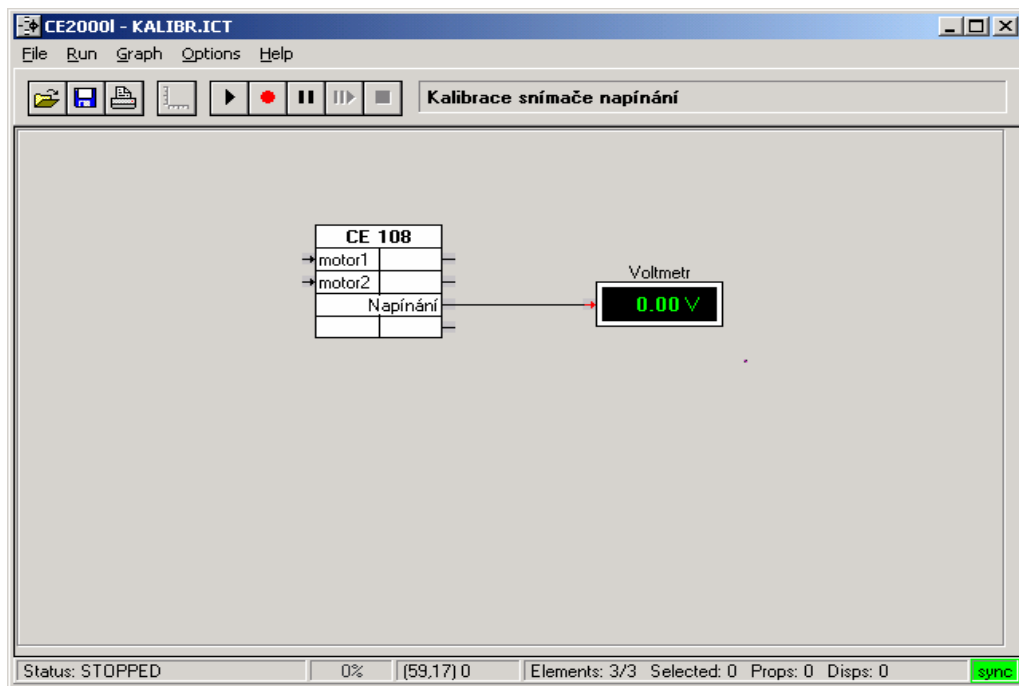
Nejčastější příčinou je špatné propojení nebo chybně nastavená komunikační rychlost. Stav bufferování může být povolen (Enable), zakázán (Disable) nebo nenastaven (Not set). Pro správnou funkci programu je třeba zrušit povolené FIFO bufferování, které sice umožňuje vysokou rychlost přenosu datových paketů, nicméně pouze malé délky.

## 5.2 Měření charakteristik součástí modelu CE 108

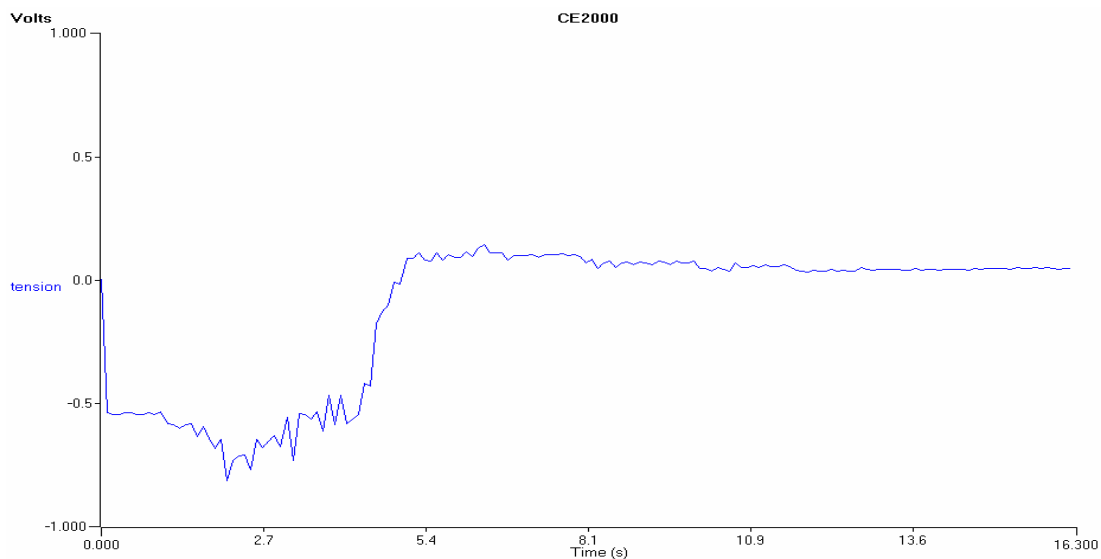
Předmětem měření je kalibrace snímače napínání a změření přechodových charakteristik laboratorního modelu. Naměřené charakteristiky se dají dále využít k identifikaci systému, konstrukci frekvenčních charakteristik, nebo stanovení přenosu systému. Bližší popis různých metod identifikace systémů a konstrukce frekvenčních charakteristik je popsán v [2].

### 5.2.1 Kalibrace snímače napínání

Kalibraci jsme prováděli při zastavené rotaci pásu a vyšroubovaném pojistném šroubu, aby se mohlo volně pohybovat pohyblivé rameno a byla prováděna pomocí obvodu na obrázku 5.5. Cílem kalibrace bylo zajistit nulové napětí na výstupu snímače při nulovém vychýlení ramene. Samotné seřízení bylo prováděno nastavením napínací síly pružiny, která celé rameno drží.



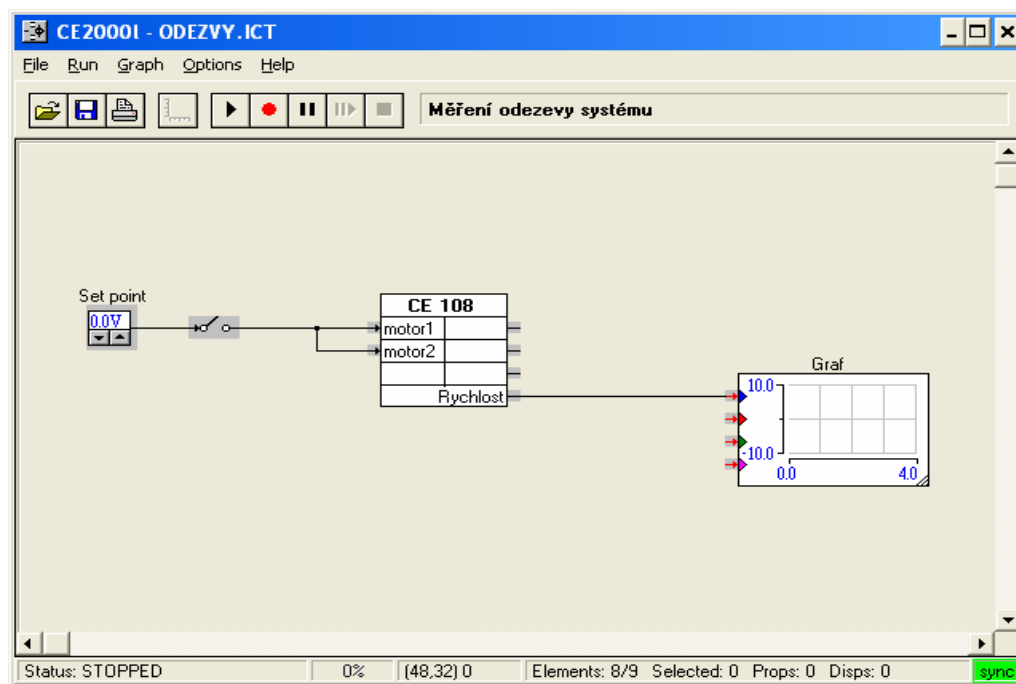
Obr. 5.5 Kalibrace snímače napínání



Obr. 5.6 Průběh kalibrace

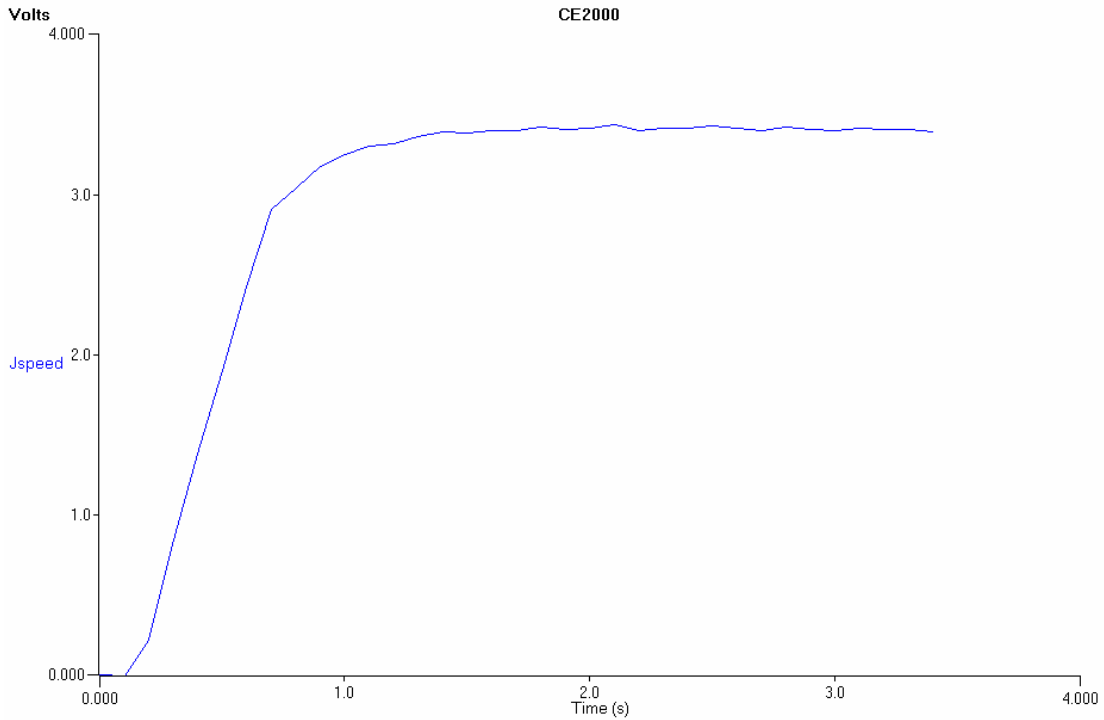
## 5.2.2 Měření přechodových charakteristik a odezvy systému na sinusový signál

Měření bylo prováděno pomocí zapojení na obrázku 5.7.



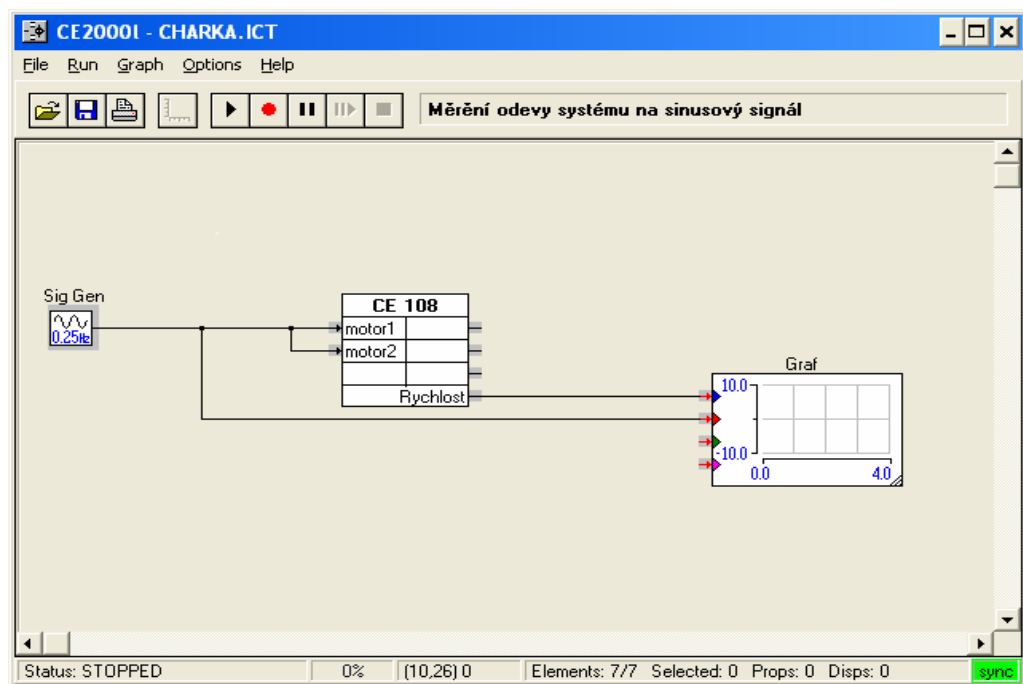
Obr. 5.7 Obvod pro měření přechodové charakteristiky



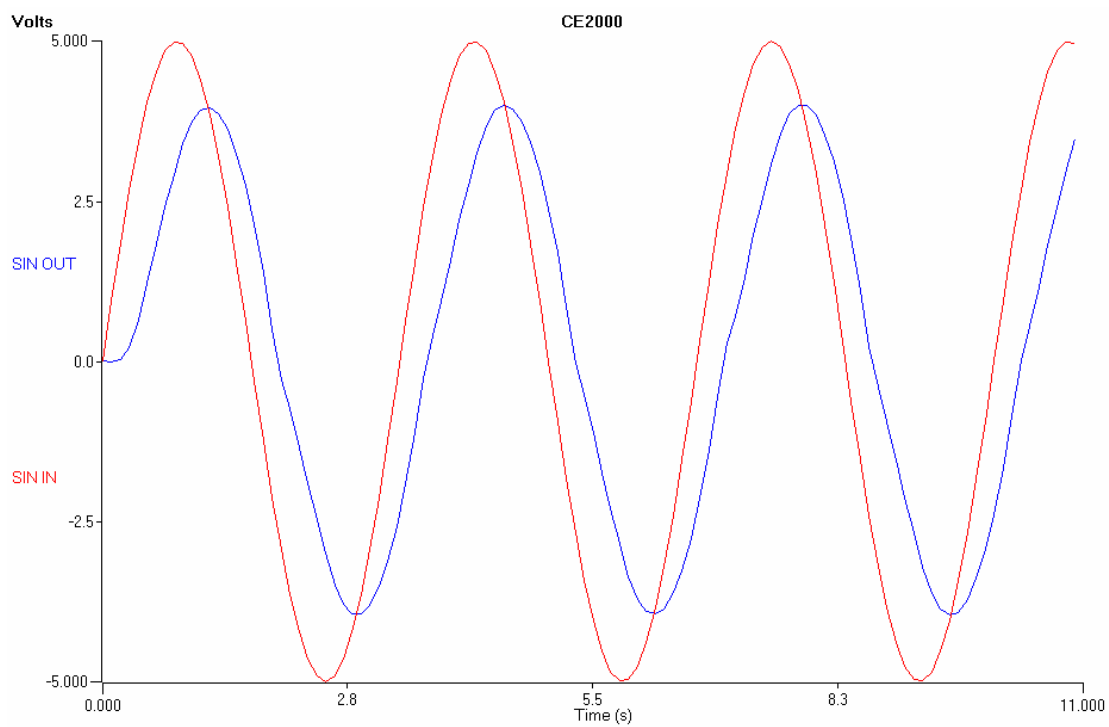


Obr. 5.8 Odezva systému na vstup 4 V

K měření odezvy systému na sinusový signál bylo použito obvodu na obrázku 5.9. Na obrázku 5.10 je znázorněna odezva systému na sinusový signál o frekvenci 0,3 Hz a amplitudě 5 V. Postupné proměření řady frekvencí o stejných amplitudách nám může sloužit k sestrojení frekvenční charakteristiky.



Obr. 5.9 Obvod pro měření odezvy systému na sinusový signál



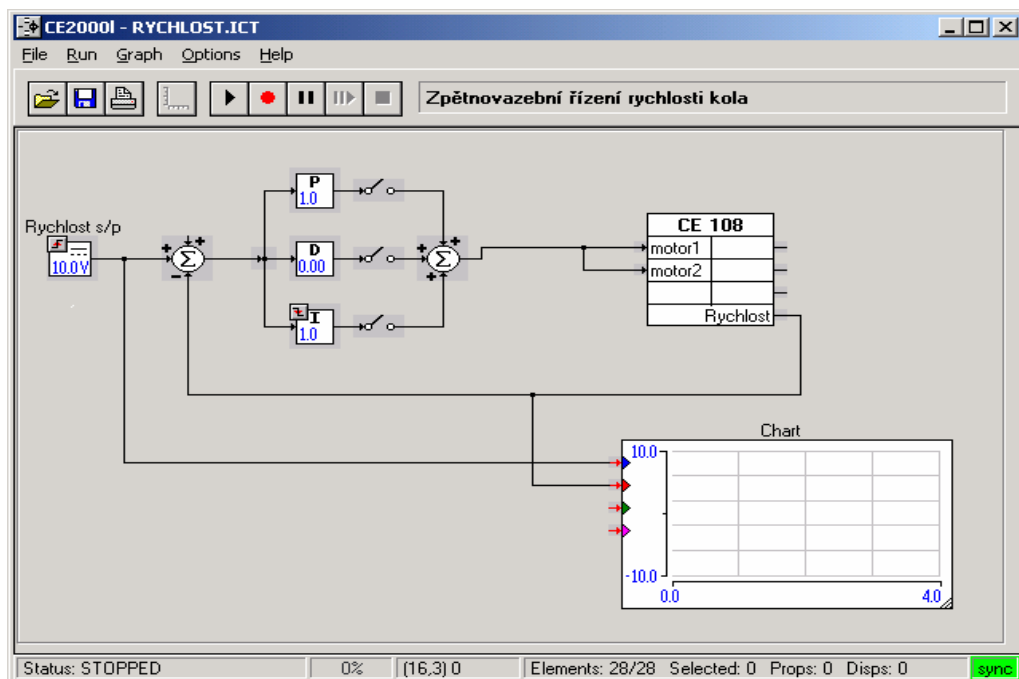
*Obr. 5.10 Průběh vstupního a výstupního sinusového signálu*

## 6 REGULACE A JEJÍ PRŮBĚHY

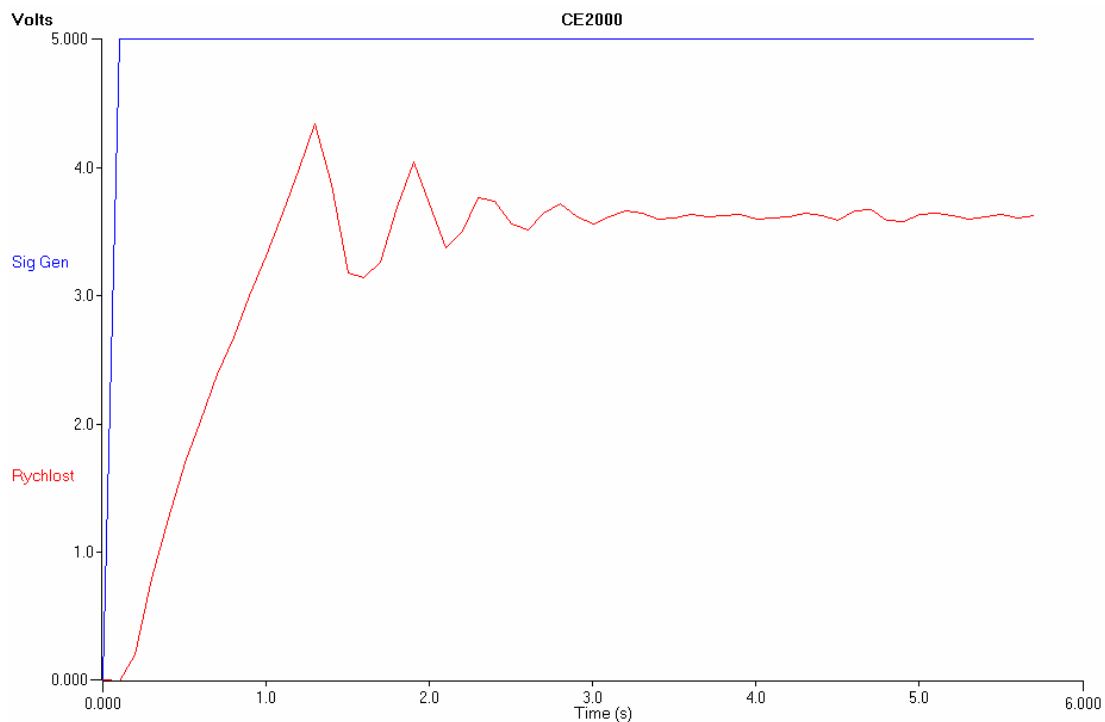
### 6.1 Zpětnovazební řízení rychlosti kola

Řízení rychlosti kola bylo realizováno obvodem na obrázku 6.1. Pomocí vypínačů zapojených v PID regulátoru bylo možno vyzkoušet vliv jednotlivých složek na průběh regulace otáček, a tím bylo možno ověřit vlastnosti P, PI, PID regulace. Další možnost ovlivnění regulačního pochodu je volba vhodných regulačních konstant jednotlivých složek PID regulátoru. V našem případě byly konstanty regulátorů voleny pouze na základě znalostí vlivu jednotlivých složek regulátorů na průběh regulace.

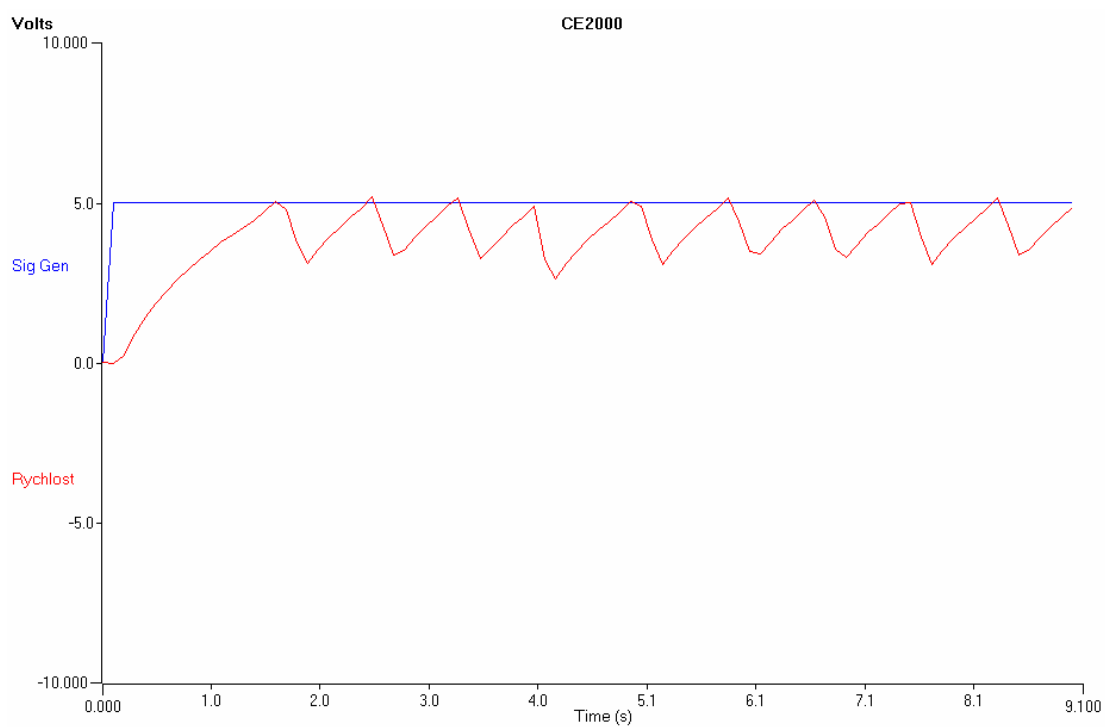
Volba vhodného regulátoru k dané regulované soustavě a metody seřízení a výpočtu konstant regulátoru jsou blíže popsány v [2]. Na obrázcích 6.2 až 6.7 jsou zobrazeny průběhy regulačních pochodů z různými typy regulátorů a různým nastavením jednotlivých složek.



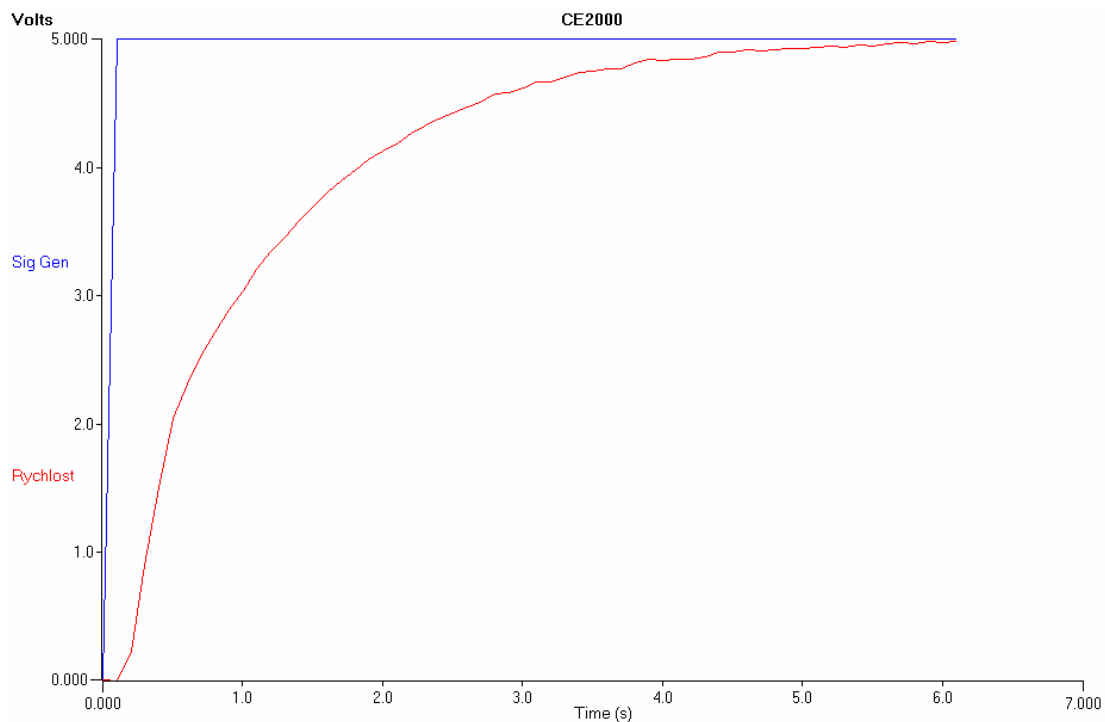
Obr. 6.1 Obvod pro zpětnovazební řízení rychlosti



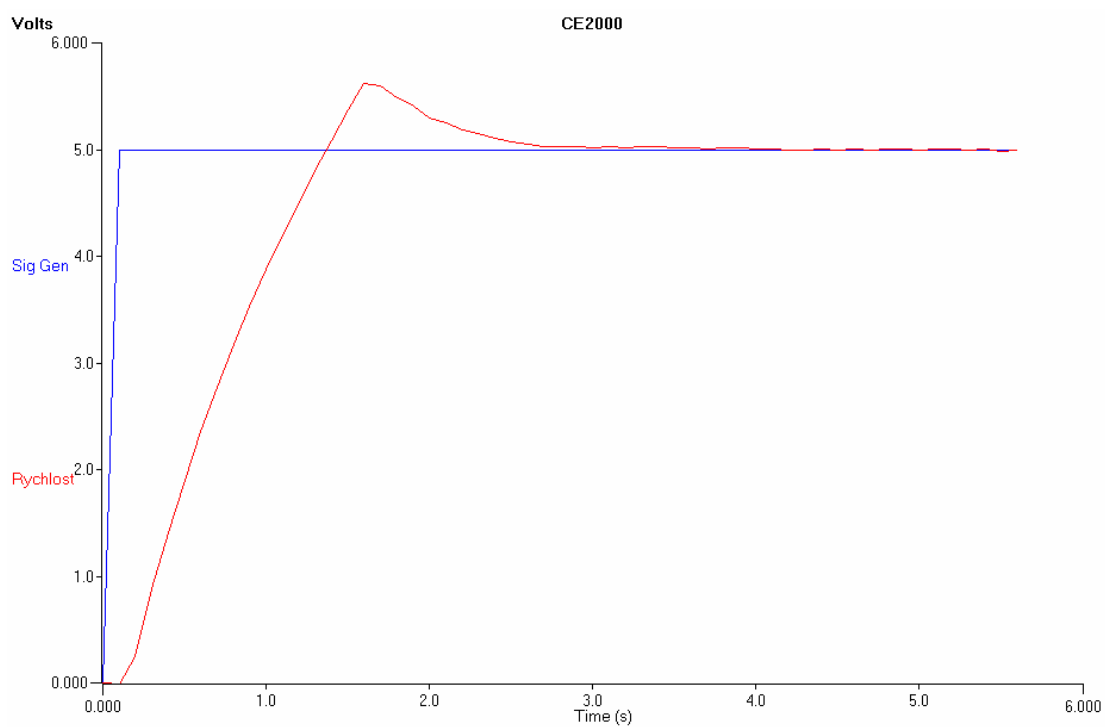
Obr. 6.2 P-regulace s proporcionální konstantou 3



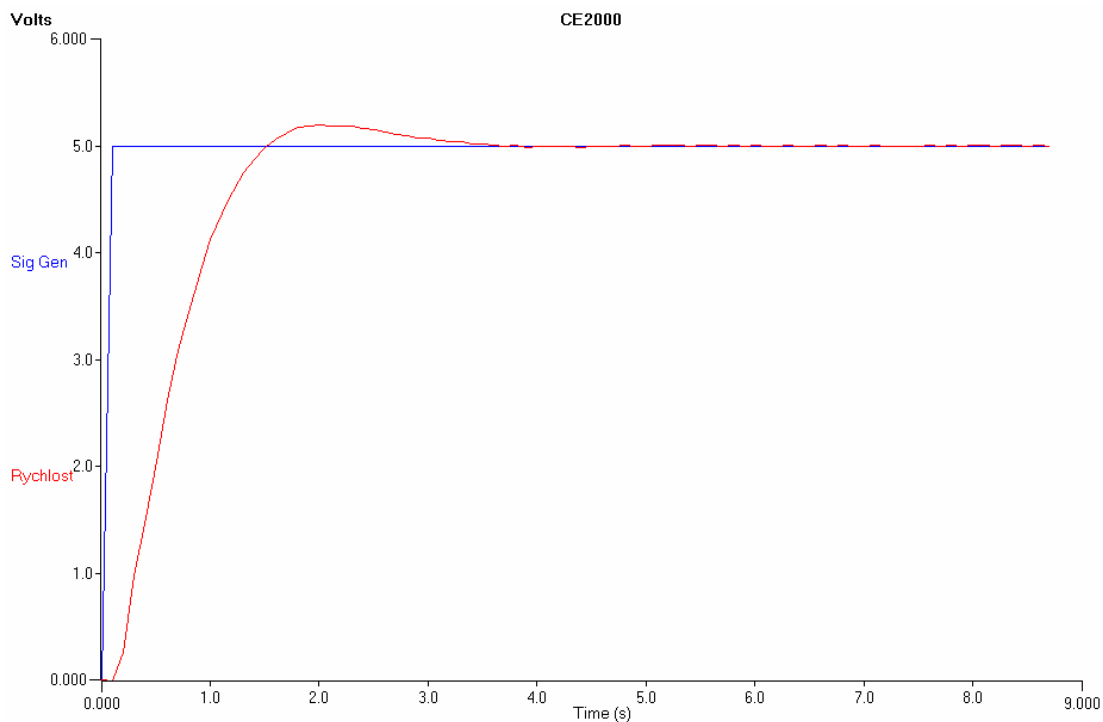
Obr. 6.3 P-regulace s proporcionální konstantou 10



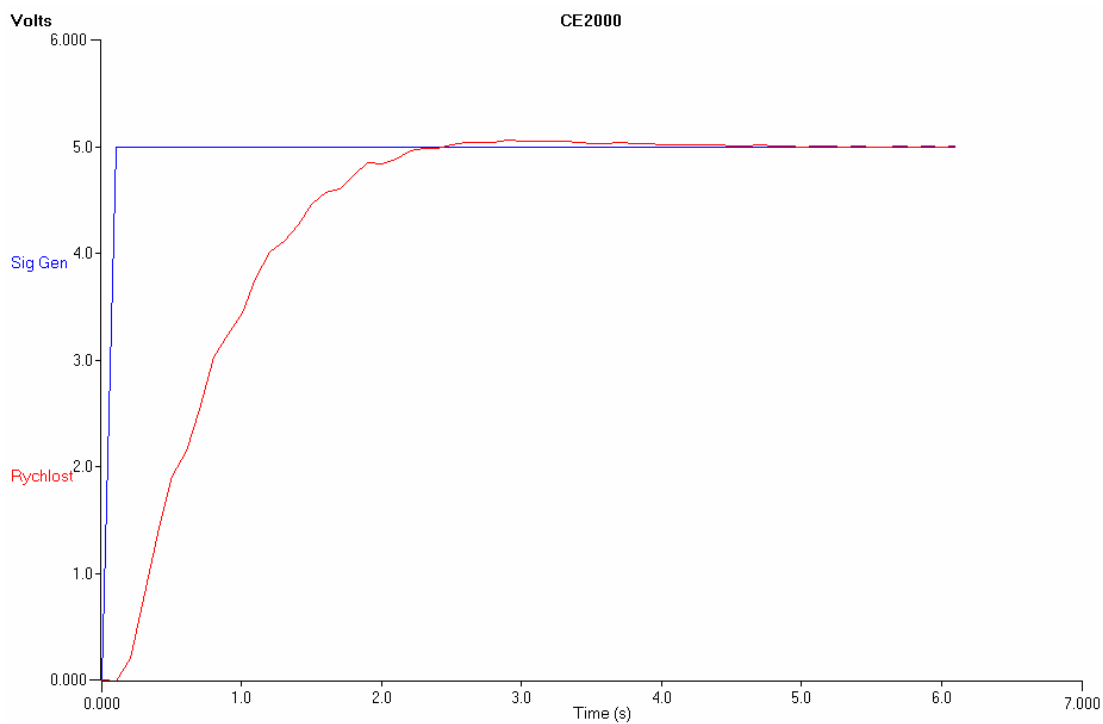
Obr. 6.4 PI-regulace s proporcionální konstantou 0,5 a integrační 1



Obr. 6.5 PI-regulace s proporcionální konstantou 0,5 a integrační 2



Obr. 6.6 PID-regulace s proporcionální konst. 0,5, integrační 2 a derivační 0,2

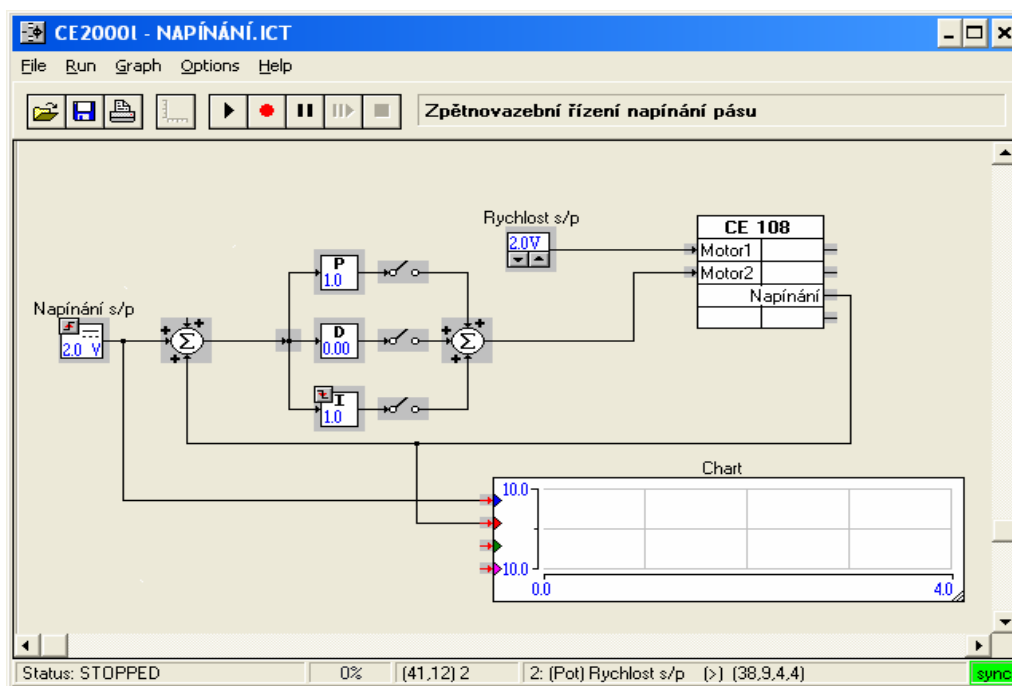


Obr. 6.7 PID-regulace s proporcionální konst. 0,5, integrační 1,5 a derivační 0,2

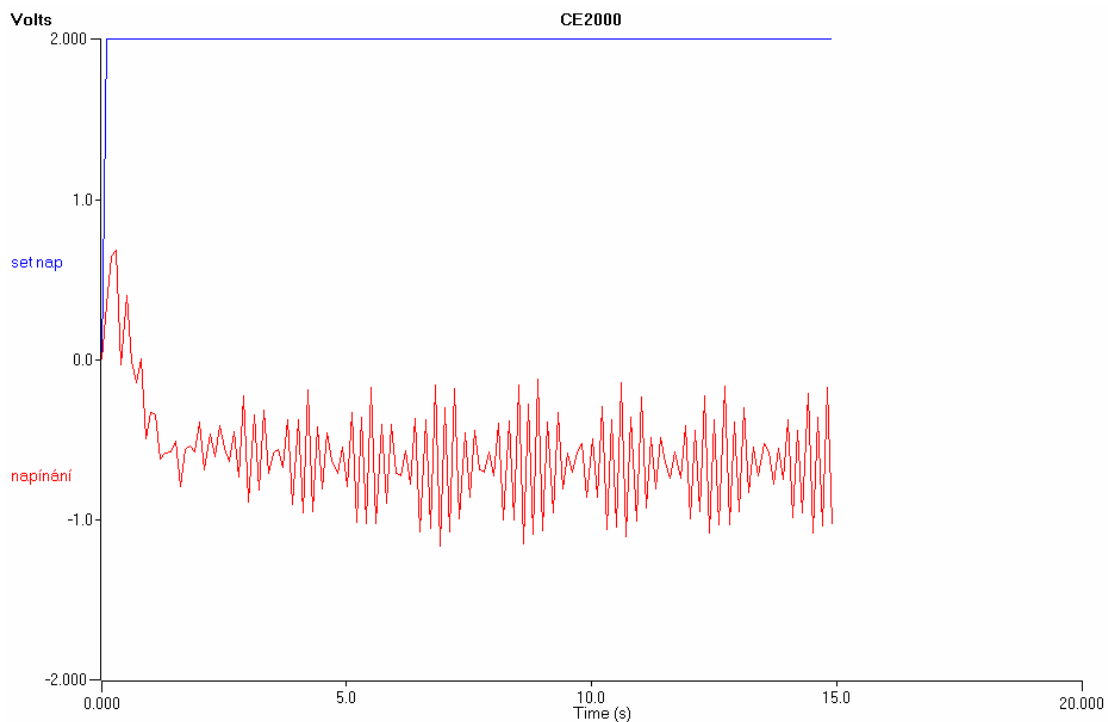
Experimenty prokázaly teoretické předpoklady. Zvyšující se zesílení u P regulátoru snižovalo trvalou nenulovou regulační odchylku. Zavedením integrační složky byla trvalá nenulová regulační odchylka odstraněna. D složka u PID regulátoru snížila kmitavost regulačního pochodu.

## 6.2 Zpětnovazební řízení napínání pásu

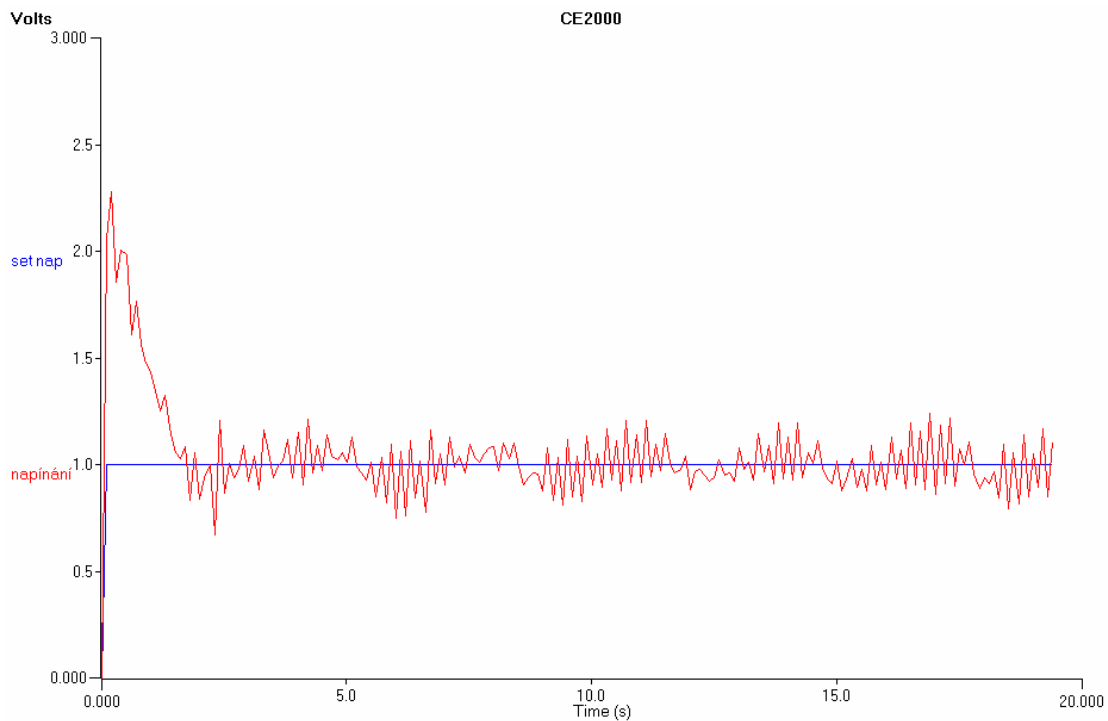
Zpětnovazební řízení napínání pásu bylo realizováno pomocí obvodu na obrázku 6.8. Při provádění řízení bylo zjištěno, že model CE 108 je schopen regulovat napínání pásu pouze ve velmi malém rozsahu, takže pokud chceme řídit napínání pásu na určitou hodnotu musíme ho také na tuto hodnotu přibližně zkalibrovat. Například pokud chceme regulovat napínání na hodnotu 1 V tak by měl být na tuto hodnotu servopotenciometr zkalibrován s přesností na  $\pm 0,2$  V. Pokud bude difference větší tak regulace vykazuje špatné výsledky, nebo zůstává trvalá regulační odchylka. Dále bylo zjištěno, že zkalibrovná hodnota nezůstává konstantní a v průběhu regulace se může měnit, což také negativně ovlivňuje regulační pochod.



Obr. 6.8 Obvod pro zpětnovazební řízení napínání pásu

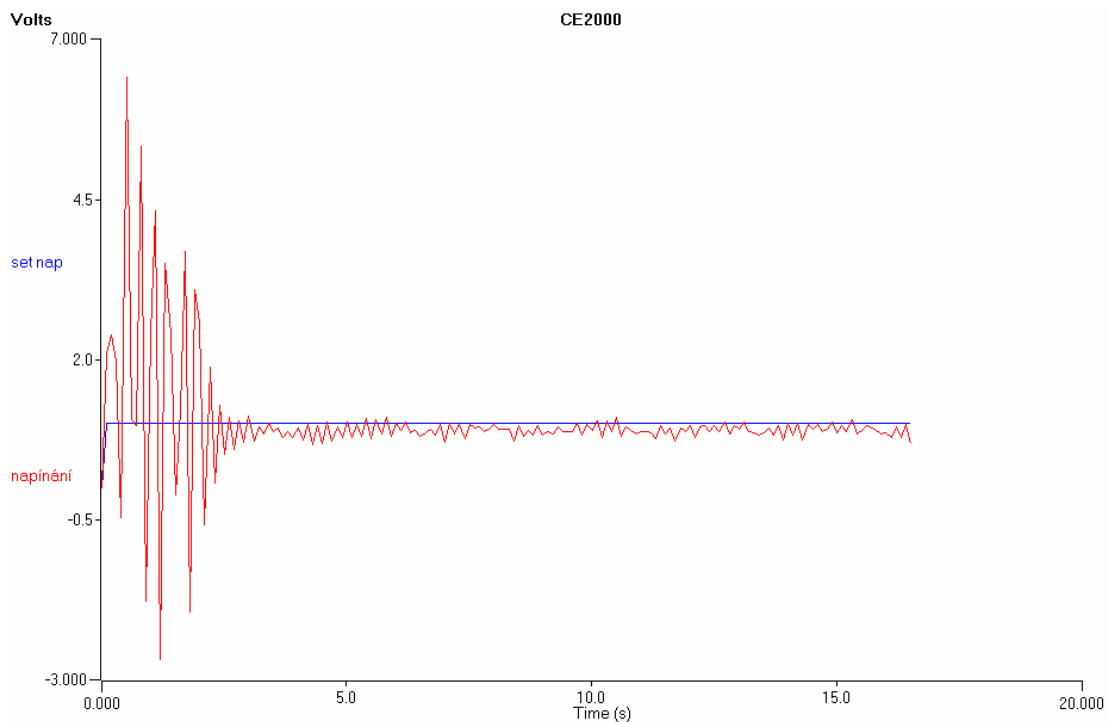


*Obr. 6.9 PI-regulace napínání pásu s nezkalibrovaným snímačem napínání*



*Obr. 6.10 PI-regulace napínání pásu se zkalibrovaným snímačem napínání*





*Obr. 6.11 Příklad PID regulace napínání pásu*

Ze zobrazených grafů je opět patrný vliv jednotlivých složek regulátoru (derivační konstanta odstraňuje kmitavost regulované soustavy).

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo experimentální ověření modelu zpřažených elektromotorů CE 108 s využitím řídicí jednotky CE 120. Jednotlivé závěry, které vyplynuly z řešení je možno shrnout do několika bodů:

- Řídicí jednotka CE 120 je schopna komunikovat pouze se staršími typy PC – bezproblémový průběh řízení byl ověřen na PC s procesorem Pentium 120. Tato skutečnost představuje významné znesnadnění práce s celým kompletem laboratorního modelu.
- Řízení rychlosti pásu bylo shledáno jako bezproblémové a celý model se při něm chová dostatečně demonstrativně. Díky tomu je možno ověřit širokou škálu nastavení P, PI a PID regulátorů.
- Regulace napnutí pásu vykazuje značné experimentální komplikace, které pramení z technického řešení modelu. Nedokonalé povrchové opracování pásu způsobuje špatnou adhezi ke hnacím kolům a tím jeho prokluzování. Dále pak vzájemný poměr mezi tuhostí pásu a pružiny snímacího ramene není vhodně nastaven, což v kombinaci se značnou citlivostí snímacího servopotenciometru velmi často způsobuje rozkmitání celého systému. Taktéž byly pozorovány různé hodnoty klidového napětí servopotenciometru při stejném nastavení napínací síly pružiny.

I přes zmíněné experimentální komplikace celý přístroj reprezentuje výbornou učební pomůcku, která může sloužit k řešení bezpočtu úloh z teorie automatického řízení. Na modelu se dají řešit problémy v rozsahu od konstrukce frekvenčních charakteristik až po mnoho-  
rozměrové řízení. Pro tyto účely by bylo vhodné dále rozpracovat metody identifikace systémů např. na základě matematických modelů a pomocí těchto metod zvolit vhodné regulátory. Dále je možno rozpracovat některou z početných metod seřízení regulátoru.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1]CE 120 Controller manual. TecQuipment Ltd., 1998.

[2]Balátě,J. 2003.Automatické řízení.BEN.

[3]Švarc,I. 2005.Automatizace.CERM.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$e$	Regulační odchylka
$u$	Akční veličina
$v_1, v_2$	Poruchové veličiny
$w$	Žádaná hodnota (řídící veličina)
$y$	Regulovaná veličina
$y_1$	Výstupní napětí tachogenerátoru
$y_2$	Výstupní napětí servopotenciometru
$\omega_1$	Rychlost tachogenerátoru motoru č. 1
$\omega_2$	Rychlost tachogenerátoru motoru č. 2
$\Gamma_1$	Kroutící moment motoru č. 1
$\Gamma_2$	Kroutící moment motoru č. 2
$\Theta$	Změna úhlu ramene ve stupních
$v_1$	Řídící napětí elektromotoru č. 1
$v_2$	Řídící napětí elektromotoru č. 1
$V_{\omega_1}$	Elektrický signál přímo úměrný rychlosti motoru č. 1
$V_{\omega_2}$	Elektrický signál přímo úměrný rychlosti motoru č. 2

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1.1 Ilustrační foto jednotky CE 108</i> .....	10
<i>Obr. 1.2 Schéma modelu CE 108</i> .....	10
<i>Obr. 1.3 Princip modelu CE 108</i> .....	11
<i>Obr. 1.4 Detail pohyblivého ramena</i> .....	12
<i>Obr. 2.1 Ilustrační foto řídicí jednotky CE 120</i> .....	13
<i>Obr. 2.2 Zdroj DC signálu</i> .....	14
<i>Obr. 2.3 Sumační zesilovač</i> .....	15
<i>Obr. 2.4 Proporcionální zesilovač</i> .....	15
<i>Obr. 2.5 Integrovaný zesilovač</i> .....	16
<i>Obr. 2.6 PID regulátor</i> .....	16
<i>Obr. 2.7 Zesilovač s přenosovou funkcí</i> .....	17
<i>Obr. 3.1 Pracovní okno programu CE 2000 L</i> .....	18
<i>Obr. 4.1 Regulace výšky hladiny v nádrži</i> .....	21
<i>Obr. 4.2 Blokové schéma regulačního obvodu</i> .....	23
<i>Obr. 5.1 Nastavení parametrů komunikace</i> .....	28
<i>Obr. 5.2 Potvrzení komunikace s CE 120</i> .....	29
<i>Obr. 5.3 Poruchové hlášení komunikace s CE 120</i> .....	29
<i>Obr. 5.4 Návod k problémům komunikace s CE 120</i> .....	30
<i>Obr. 5.5 Kalibrace snímače napětí</i> .....	31
<i>Obr. 5.6 Průběh kalibrace</i> .....	32
<i>Obr. 5.7 Obvod pro měření přechodové charakteristiky</i> .....	32
<i>Obr. 5.8 Odezva systému na vstup 4 V</i> .....	33
<i>Obr. 5.9 Obvod pro měření odezvy systému na sinusový signál</i> .....	33
<i>Obr. 5.10 Průběh vstupního a výstupního sinusového signálu</i> .....	34
<i>Obr. 6.1 Obvod pro zpětnovazební řízení rychlosti</i> .....	35
<i>Obr. 6.2 P-regulace s proporcionální konstantou 3</i> .....	36
<i>Obr. 6.3 P-regulace s proporcionální konstantou 10</i> .....	36
<i>Obr. 6.4 PI-regulace s proporcionální konstantou 0,5 a integrační 1</i> .....	37
<i>Obr. 6.5 PI-regulace s proporcionální konstantou 0,5 a integrační 2</i> .....	37
<i>Obr. 6.6 PID-regulace s proporcionální konst. 0,5, integrační 2 a derivační 0,2</i> .....	38
<i>Obr. 6.7 PID-regulace s proporcionální konst. 0,5, integrační 1,5 a derivační 0,2</i> .....	38

---

<i>Obr. 6.8 Obvod pro zpětnovazební řízení napínání pásu .....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 6.9 PI-regulace napínání pásu s nekalibrovaným snímačem napínání .....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 6.10 PI-regulace napínání pásu se zkalibrovaným snímačem napínání .....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 6.11 Příklad PID regulace napínání pásu.....</i>	<i>41</i>

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1.4 Dynamické vlastnosti spojitéch regulátorů .....</i>	<i>24</i>
---	-----------