

Univerzita Hradec Králové
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyziky

Inovace praktika z automatizační techniky se stavebnicí RC Didactic

Diplomová práce

Autor: Bc. Martin Sudek
Studijní program: N1701 – FYZIKA
Studijní obor: Fyzikální měření a modelování
Vedoucí práce: Ing. Karol Radocha, Ph.D.

Hradec králové

červen 2015

Univerzita Hradec Králové
Přírodovědecká fakulta

Zadání diplomové práce

Autor: Martin Sudek

Studijní program: N1701 Fyzika

Studijní obor: Fyzikální měření a modelování

Název práce: Inovace praktika z automatizační techniky se stavebnicí RC Didactic

Název práce AJ: Innovation practice of automation with construction kit RC Didactic

Cíl a metody práce:

Návrh, měření a návody na úlohy se stavebnicí RC didactic. Součástí diplomové práce je kompletní zpracování úloh fyzikálního praktika, který bude obsahovat navržení úlohy, teoretický úvod, proměření úlohy a zpracování výsledků měření a návrh postupu měření pro studenty.

Garantující pracoviště: Katedra fyziky, Přírodovědecká fakulta

Vedoucí práce: Ing. Karol Radocha, Ph.D.

Konzultant:

Oponent: RNDr. Daniel Jezbera

Datum zadání práce: 26. 10. 2014

Datum odevzdání práce: 3. 6. 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a v seznamu použité literatury uvedl všechny prameny, z kterých jsem vycházel.

V Hradci Králové dne 3. června 2015

Anotace

SUDEK, M. *Inovace praktika z automatizační techniky se stavebnicí RC Didactic*. Hradec Králové, 2015. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové. Vedoucí práce Karol Radocha. 43 s.

Úkolem a cílem práce je návrh a proměření úloh pro potřebu fyzikálního praktika s podporou stavebnice RC didactic.

Klíčová slova: úlohy fyzikální měření, Stavebnice RC didactic

Annotation

SUDEK, M. *Innovation practice of automation technology with construction kit RC Didactic*. Hradec Králové, 2015. Master's thesis at Faculty of Science University of Hradec Králové. Thesis supervisor Karol Radocha. 43 p.

The challenge and objective is proposal and measurement exercises for use in physical practice with the support of electronics-building kit RC didactic.

Klíčová slova: exercises, physical practice, electronics-building kit RC didactic

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Karolu Radochovi, Ph.D. za cenné rady a čas, který mi věnoval při zpracovávání mé diplomové práce.

Obsah

Úvod	7
1 Teoretická část	8
1.1 Bloky rc didactic	15
2 Zadání úloh	18
2.1 Proporcionální člen	18
2.2 Integrovní člen I.....	20
2.3 Derivační člen D-T1	22
2.4 PI člen	24
2.5 PID-T1 člen	26
2.6 Zpožďovací člen T1.....	28
2.7 Zpožďovací člen T2.....	29
2.8 Identifikace soustavy Motor-Generátor	30
2.9 P regulátor.....	31
2.10 I regulátor.....	32
2.11 PI regulátor.....	33
2.12 P regulátor soustava motor-generátor	34
2.13 I regulátor soustava motor-generátor	35
2.14 PI regulátor soustava motor-generátor	36
2.15 Porovnání regulace soustavy Motor-Generátor a modelové soustavy členu T1.....	37
2.16 Měření 1 - Zatížená soustava Motor-generátor s PI regulátorem	38
2.17 Měření 2 - Zatížená soustava Motor-generátor s PI regulátorem	39
Závěr	40
Seznam použité literatury	41
Přílohy	43

Úvod

Při úvaze nad tématem diplomové práce jsem se rozhodoval z několika možných témat, nakonec jsem zvolil oblast regulace, výuky a využití systému RC 2000 *micro Lab*, jakožto výukového systému ve školních laboratořích. V této práci jsem využil především informace, podklady a zkušenosti získané při dosavadním studiu.

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout úlohy na měření ve fyzikálním praktiku z oblasti automatizační techniky, s využitím stavebnice RC 2000 *micro Lab*, pro studenty třetího ročníku, oboru Fyzikálně-technická měření a výpočetní technika. Jednotlivé úlohy jsou vybrány a navrženy tak, aby si studenti prakticky vyzkoušeli znalosti získané v teoretické části výuky.

RC 2000 *micro Lab* je elektrotechnický stavebnicový systém umožňující jednoduchým a názorným způsobem zapojovat a řešit širokou škálu úloh, pro podporu výuky na školách. V jednotlivých modulech systému jsou vloženy ochranné prvky, které chrání modul před zničením z důvodu chybného zapojení, přepólováním. Všechny moduly jsou plně kompatibilní, vytvořeny z pevného a zároveň lehkého materiálu o vhodně zvolených rozměrech. Jednoduchý princip propojování jednotlivých modulů. Pomocí přiložených vodičů různých délek a barev. V systému není nutno pájet. To vše zajišťuje vysoký komfort při práci studenta a snadnou kontrolu správnosti zapojení jednotlivých obvodů. Detailní popis modulového výukového systému RC didactic není součástí této práce. Nachází se zde pouze, jednoduchý přehled bloků používaných v řešených úlohách z oblasti regulace.

Všechny teoreticky navržené úlohy jsem naměřil a zpracoval. Přikládám je jako přílohu diplomové práce. Jejich řazení je souhlasné s řazením v jejich zadání.

1 Teoretická část

Regulované soustavy

Regulované soustavy jsou technologická zařízení, v kterých se provádí regulace. Na vstup soustavy se přivádí akční veličina y , na výstupu pak vzniká regulovaná veličina x . Pro posouzení regulované soustavy jsou důležité její statické a dynamické vlastnosti. Ty se určují podle odezvy výstupní veličiny x na vstupní veličinu y . Podle průběhu odezvy na skokovou změnu regulované veličiny x mohou nastat dva případy. V prvním případě se regulovaná veličina x sama ustálí na nové hodnotě, to odpovídá statické soustavě (soustavě se samoregulací). V druhém případě kdy nedojde k samostatnému ustálení, na novou hodnotu se pak nazývá astatická (soustava bez samoregulace).

U regulovaných soustav někdy dochází k tomu, že změna akční veličiny začne na regulovanou soustavu působit až s určitým časovým zpožděním, toto zpoždění nazýváme dopravní zpoždění. Při zjišťování dynamických vlastností regulované soustavy se používá přesně určená změna akční veličiny. Jedná se o změnu skokovou nebo o periodickou sinusovou změnu. Odezva výstupní veličiny na vstupní změnu akční veličiny se pak nazývá přechodová charakteristika. Pro naše studium vystačíme s posouzením dynamických vlastností pouze na základě skokové změny veličiny y na vstupu do soustavy.

Druhým určujícím parametrem soustavy je její zesílení, to je dáno poměrem změny výstupního signálu ke změně vstupního signálu v ustáleném stavu. Zesílení soustavy je nezávislé na čase a popisuje statickou charakteristiku soustavy.

Statické regulované soustavy

Jsou samoregulační, to znamená, že se po změně vstupní veličiny výstupní veličina po určité době ustálí na nové hodnotě. Tvar přechodové charakteristiky je dán složitostí regulované soustavy. Z hlediska regulace je důležité časové zpoždění signálu při průchodu soustavou. To závisí na počtu časových konstant soustavy. Jedná-li se o soustavu s jednou kapacitou, mluvíme o soustavě prvního řádu, která se vyznačuje jednou časovou konstantou. Soustava druhého řádu má dvě časové konstanty atd. V případě, kdy regulovaná soustava začne reagovat na změnu akční veličiny, až po určité době nazýváme soustavu s dopravním zpožděním. V

elektrických soustavách může nastat i možnost soustavy nultého řádu, kdy na skokovou změnu akční veličiny y , se výstupní veličina x změní též skokově. Častější je však soustava prvního řádu, která po skokové změně akční veličiny bude výstupní veličinu měnit exponenciálně (viz následující příklad). Ještě čtenější jsou soustavy druhého a vyšších řádů, které reagují na vstupní skokovou změnu aperiodicky, přičemž čím bude vyšší řád soustavy, tím delší čas bude zapotřebí pro ustálení soustavy (tím déle bude trvat přechodový stav) a tím strmější bude nárůst střední části výstupní charakteristiky. Soustavy druhého a vyšších řádů jsou proto hůře regulovatelné, přičemž nejnepříznivějším případem jsou soustavy se stejnými časovými konstantami.

Astatické regulované soustavy

Nemají samoregulační vlastnosti. Platí tedy, že při změně vstupní veličiny se výstupní veličina sama na nové hodnotě neustálí. Opět rozlišujeme astatické soustavy podle počtu časových konstant na soustavu: nultého, prvního, druhého a vyšších řádů. Nejobvyklejší je soustava prvního řádu. Přechodové charakteristiky astatických soustav vyšších řádů vznikají složením astatických soustav prvního řádu a mají tvar paraboly druhého, třetího či vyššího stupně. Je-li soustava složena z několika statických a alespoň jedné astatické soustavy má celá soustava charakter astatické soustavy.

Regulátory

Regulátor doplňuje regulační soustavu na regulační obvod. Jeho činností je řízení velikosti akční veličiny tak, aby regulovaná veličina byla udržována na požadované hodnotě. Součástí regulačního obvodu je vždy zpětná vazba, proto se velice často pojmem regulátor myslí nejen ústřední člen regulátoru R , ale i jeho spojení se zpětnou vazbou ZV . Regulátory jsou v obvodu zapojeny tak, že pracují jako záporná zpětná vazba. Jelikož regulované soustavy mají různé statické a dynamické vlastnosti je nutné regulátory vyrábět jako universální tedy tak, že jejich vlastnosti jsou v určitých mezích nastavitelné.

Regulátory dělíme podle vlastností:

Podle spojitosti signálu - spojitě a nespojitě

Podle druhu zpracování signálu - analogové a číslicové

Podle regulačních vlastností - lineární a nelineární

Podle konstrukce se dělí - přímé a nepřímé

Podle pomocné energie - regulátory elektrické, mechanické, pneumatické a hydraulické.

Lineární regulátory

Podle statických a dynamických vlastností rozdělujeme lineární regulátory na proporcionální, integrační, derivační a kombinace proporcionálního regulátoru s integračním, derivačním nebo integračním i derivačním. Nejčastěji se používají zapojení elektrického regulátoru s operačním zesilovačem.

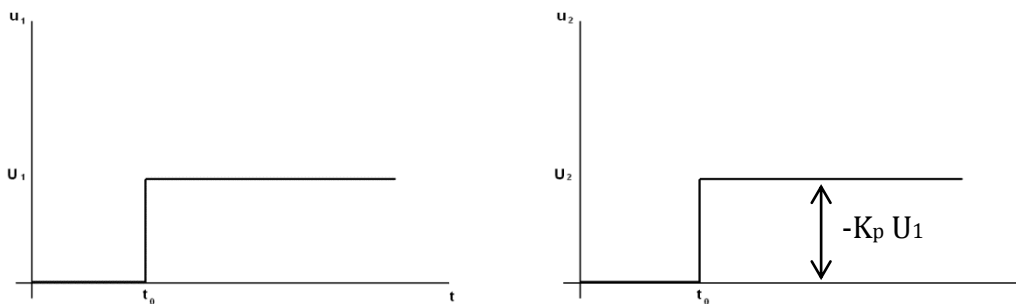
Proporcionální regulátor

Je nejjednodušším typem spojitého regulátoru. Označován jako P regulátor. Jeho hlavní vlastností je proporcionalita, tedy přímá úměra mezi vstupní a výstupní veličinou. Pracuje jako zesilovač a jeho zesílením je proporcionální konstanta regulátoru P. Tato konstanta může být kladná i záporná.

$$U_2 = -K_p \cdot U_1$$

U_2 - výstup regulátoru, akční veličina

K_p - proporcionální konstanta regulátoru



Obrázek 1 : Přejchodová charakteristika P člen

Změnou konstanty zesílení K_p ovlivňujeme působení regulátoru na soustavu, tím můžeme dosáhnout požadovaného chování obvodu.

Čím bude zesílení větší, tím bude regulátor citlivěji reagovat. Zesílení ale nemůže být nekonečně velké, zůstává vždy v regulačním obvodu malá, ale nenulová regulační odchylka.

Přestože je zesílení záporné (invertující zapojení) kreslíme charakteristiku v kladném smyslu

Použití: Tento regulátor je vhodný i pro astatické soustavy, je-li přípustná trvalá regulační odchylka. Zesílení regulátoru může být hodně vysoké, aniž by hrozila nestabilita nebo překmity regulované veličiny. Proporcionální regulátory nejsou vhodné pro regulované soustavy bez setrvačnosti, neboť již při malém zesílení je systém náchylný k vysokofrekvenčnímu kmitání. Tento nedostatek odstraňujeme umělým zavedením setrvačnosti do regulované soustavy

Integrační regulátor (I regulátor)

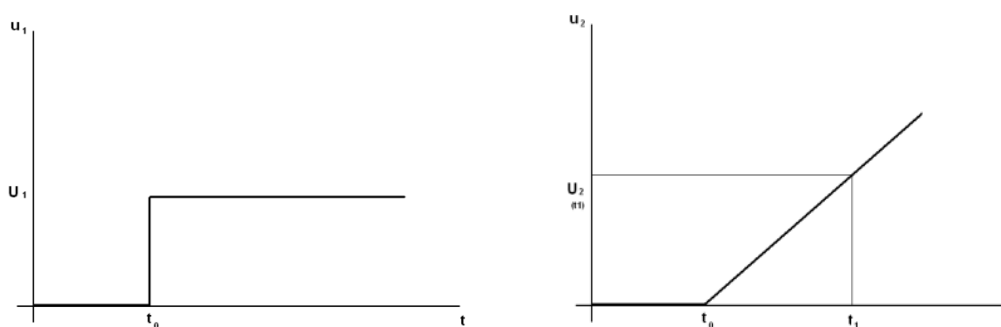
Upravuje signál regulační odchylky v čase, vytváří tak odlišný časový průběh akční veličiny z regulační odchylky. Vytváří závislost mezi vstupní a výstupní veličinou, čímž přiřazuje každé hodnotě vstupní veličiny určitou rychlost změny veličiny výstupní.

Při skokové změně regulační odchylky dostaneme.

$$U_2 = -\frac{U_1}{R_i C_i} (t_1 - t_0)$$

$(t_1 - t_0)$ - průběžný čas přechodového děje

$R_i C_i$ - integrační časová konstanta



Obrázek 2 : Přechodová charakteristika I člen

Vlastnosti: Schopnost ustálit se v libovolné poloze. Schopnost udržet trvale nulovou regulační odchylku. Umožňuje (za určitou dobu) zcela odstranit regulační odchylku. Základní nevýhodou je pokles zesílení se zvyšující se frekvencí, takže regulátor pomalu odstraňuje poruchy. Nehodí se tedy v případech, kdy se vyskytují časté poruchy. Regulátor I je velmi vhodný pro statické regulované soustavy bez setrvačnosti, jeho zesílení může být velmi vysoké bez nebezpečí rozkmitání. Je vhodný i pro setrvačné soustavy 1. řádu, při poruše však dochází k většímu překmitu regulované veličiny. Regulátor I je nejvhodnější ze všech ostatních typů pro regulaci statických soustav s dopravním zpožděním. U těchto soustav nejvíce

hrozí rozkmitání regulačního obvodu, proto musíme nastavit menší zesílení regulátoru.

Derivační regulátor (D regulátor)

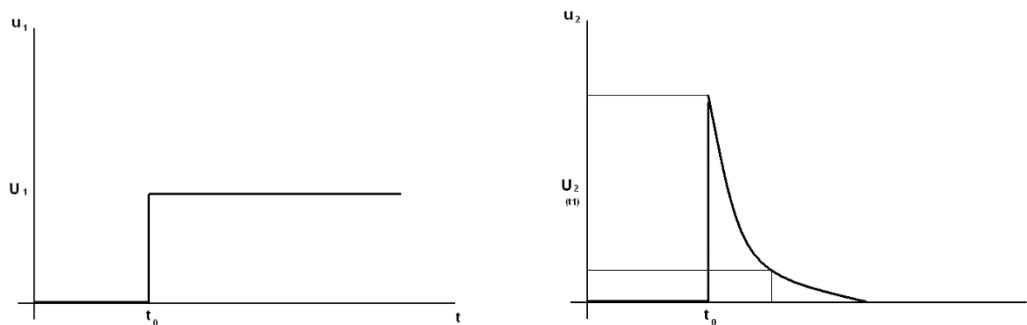
Tato složka způsobí závislost výstupní veličiny, která je úměrná změně vstupní veličiny. Tím přináší do regulátoru vlastnost předvídání. Tato vlastnost pomáhá zvládnout regulaci při rychle se měnícím průběhu.

$$U_2 = -R_d C_d \cdot U_1 \frac{1}{r_d C_d} e^{-\frac{t}{r_d C_d}}$$

$U_1 \frac{R_d}{r_d}$ - Vzorec pro výpočet špičky křivky

Vlastnosti:

Výstupní signál derivačního regulátoru je první derivací vstupního signálu a proto mění výstupní veličinu tím více, čím rychlejší jsou změny vstupní veličiny. Regulátor účinně zasáhne již při malé změně regulované veličiny, pokud se bude



Obrázek 3 : Přechodová charakteristika D-T1 člen

měnit velkou rychlostí. Tento regulátor při skokové změně vstupní veličiny, po nabití kondenzátoru, ustálí na původní hodnotě. Vhodné použití je se vstupním signálem měnícím se stálou rychlostí. Odezvou je skoková změna výstupní veličiny. Platí zde, že čím bude strmější nárůst vstupní veličiny, tím větší bude změna výstupní veličiny.

Proporcionálně integrační regulátor (PI regulátor)

Jedná se o paralelní kombinaci proporcionálního a integračního regulátoru. Charakteristika popisující odezvu na skokovou změnu vstupního signálu je součtem odezev obou regulátorů. V okamžiku skokové změny na vstupu dojde ke skokové změně výstupu a výstupní veličina bude nadále narůstat rychlostí odpovídající časové konstantě PI regulátoru

Výpočet PI regulátoru:

$$U_2 = K_p \cdot U_1 + K_i \cdot U_1 \cdot t$$

$$U_2 = K_p \left(U_1 + \frac{t}{T_n} U_1 \right)$$

PI regulátor je nejrozšířenějším kombinovaným regulátorem, protože má téměř univerzální použití. Přitom není příliš složitý. Výhoda regulátoru PI je úplné odstranění regulační odchylky. Vyhovujícím způsobem odstraňuje poruchy vstupující do regulované soustavy a zlepšuje stabilitu regulačního obvodu. Regulátor PI se nejvíce používá při regulaci kmitavých soustav druhého i vyšších řádů.

Proporcionálně derivační regulátor (PD regulátor)

Jedná o kombinaci proporcionálního a derivačního regulátoru. Výstup je součtem vstupních veličin. Po skokové změně vstupu se výstup skokově změní o součet změny proporcionálního regulátoru a změny vstupní veličiny a poté se bude s nabíjejícím se kondenzátorem exponenciálně snižovat na hodnotu změny proporcionálního regulátoru. Proporcionálně derivační regulátor je vhodný všude tam, kde vyhovuje regulátor P. Jeho předností je větší rychlost regulace. Projevuje potlačením rychlých překmitů regulované veličiny hlavně v případech, kdy často vstupují do regulované soustavy poruchy.

Proporcionálně integračně derivační regulátor (PID regulátor)

Jedná se o kombinaci všech tří typů regulátorů. Odezva výstupní veličiny je dána součtem dynamických charakteristik všech tří regulátorů. Dojde tedy nejdříve ke skokové změně odpovídající součtu změny proporcionálního regulátoru a změny

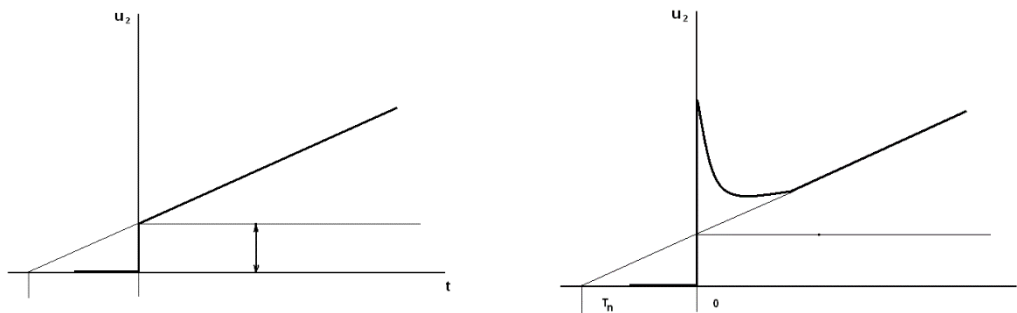
vstupní veličiny. Potom po nabití kondenzátoru začne akční veličina narůstat strmostí odpovídající integračnímu regulátoru a tedy integrační časové konstantě.

Výpočet PID regulátoru:

$$U_2 = K_p \cdot U_1 + K_i \cdot U_1 \cdot t + K_d \frac{\Delta U_1}{\Delta t}$$

$$U_2 = K_p \left(U_1 \frac{1}{T_n} U_1 \cdot t + T_v \frac{\Delta U_1}{\Delta t} \right)$$

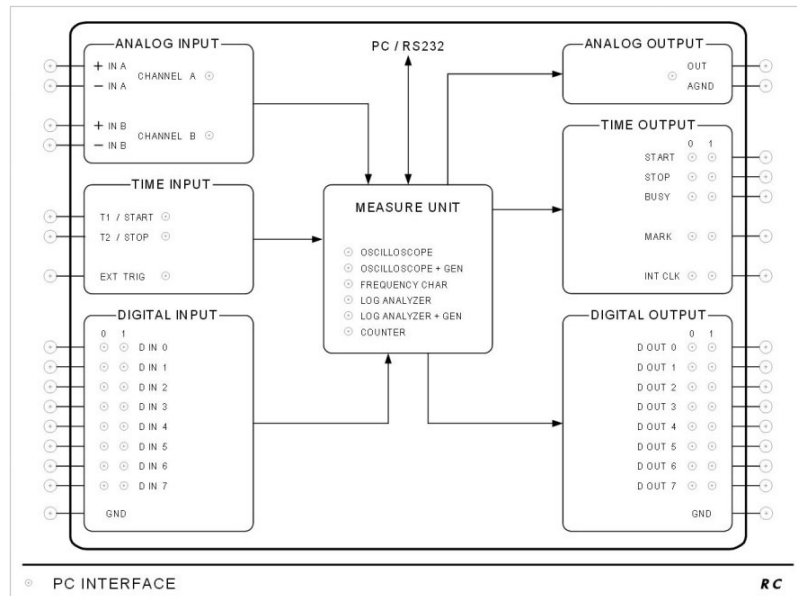
Proporcionálně integračně derivační regulátor je vhodný všude tam, kde vyhovuje regulátor PI. Proti regulátoru PI je rychlejší, takže lépe tlumí rychlé překymity regulované veličiny.



Obrázek 4 : přechodová charakteristika PI a PID členů

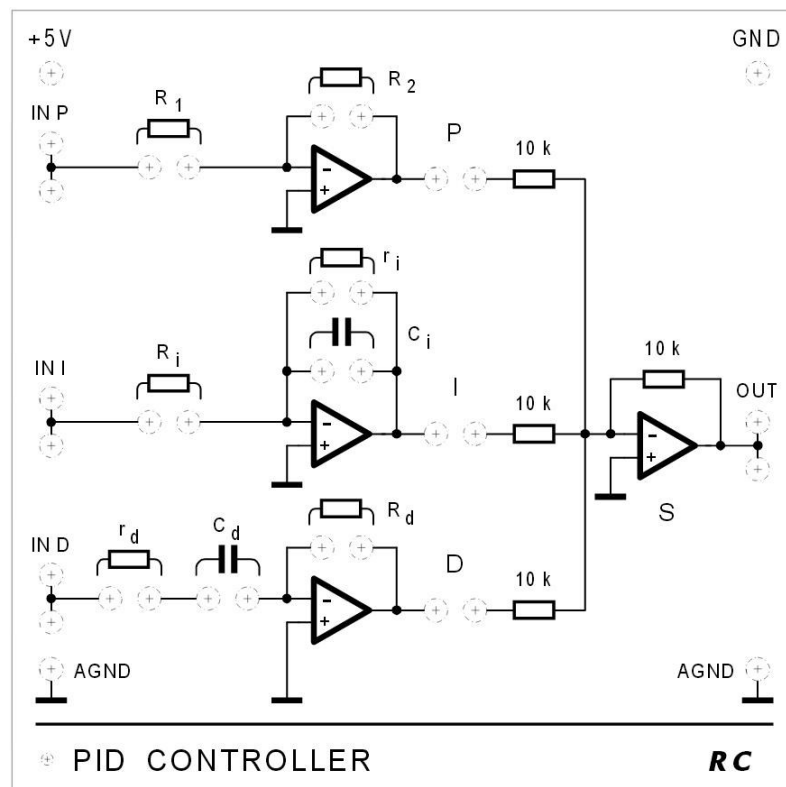
1.1 Bloky RC didactic

V této části si popíšeme nejdůležitější moduly systému RC didactic, které budeme používat pro následná měření.



Obrázek 5: modul PC INTERFACE

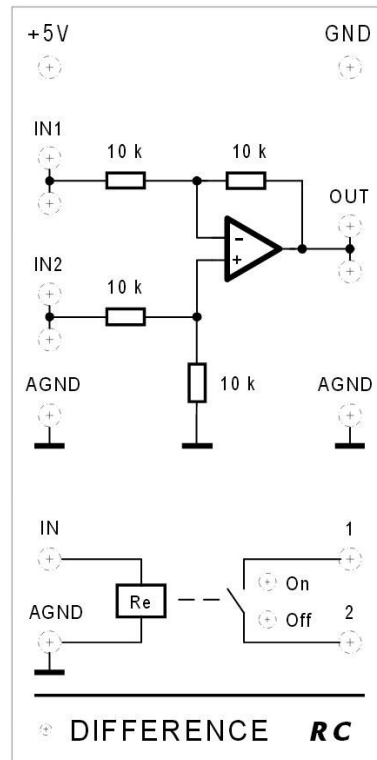
Tento modul je středobodem všech měření, proto se na něho podíváme hned na začátku. Jedná se o blok *pc interface*, a jak napovídá název, jedná se o propojovací modul mezi počítačem a stavebnicí. Ovládá a zaznamenává všechna měření do programu rc2000 v počítači.



Obrázek 6 : Modul PID CONTROLLER

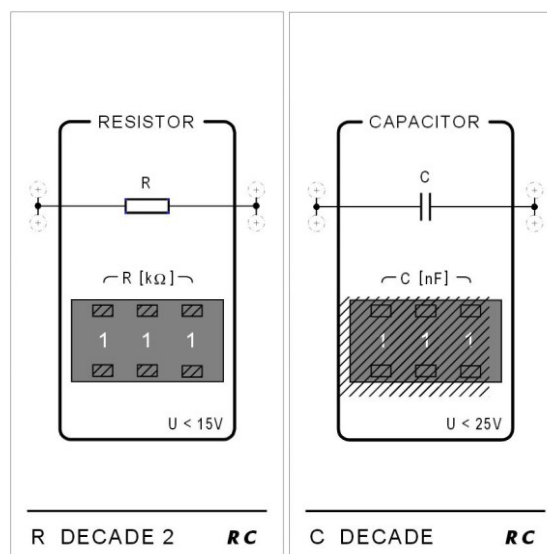
Modul *pid controller* je blok pro zapojování proporcionálních integračních a derivačních členů a jejich kombinací

Blok jak můžeme vidět je rozdělen na tři části, které mohou být na sobě nezávislé nebo se snadno, použitím propojek, stanou na sobě závislými. Na bloku je precizně provedeno značení jednotlivých součástek, které pro část derivační mají příznak číselný, pro integrační část jsou označeny příznakem i a pro derivační část d. Tato označení lze velice dobře využít.



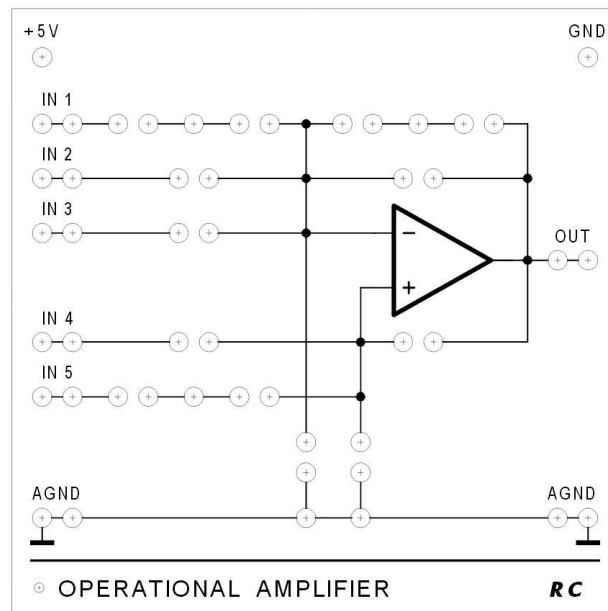
Obrázek 7 : Modul DIFFERENCE

Modul *difference* se dá pomyslně rozdělit na dvě části. Rozdílový zesilovač a relé. Část relé používáme při všech měření s integračním článkem. Rozdílový zesilovač pro vytvoření regulační odchylky.



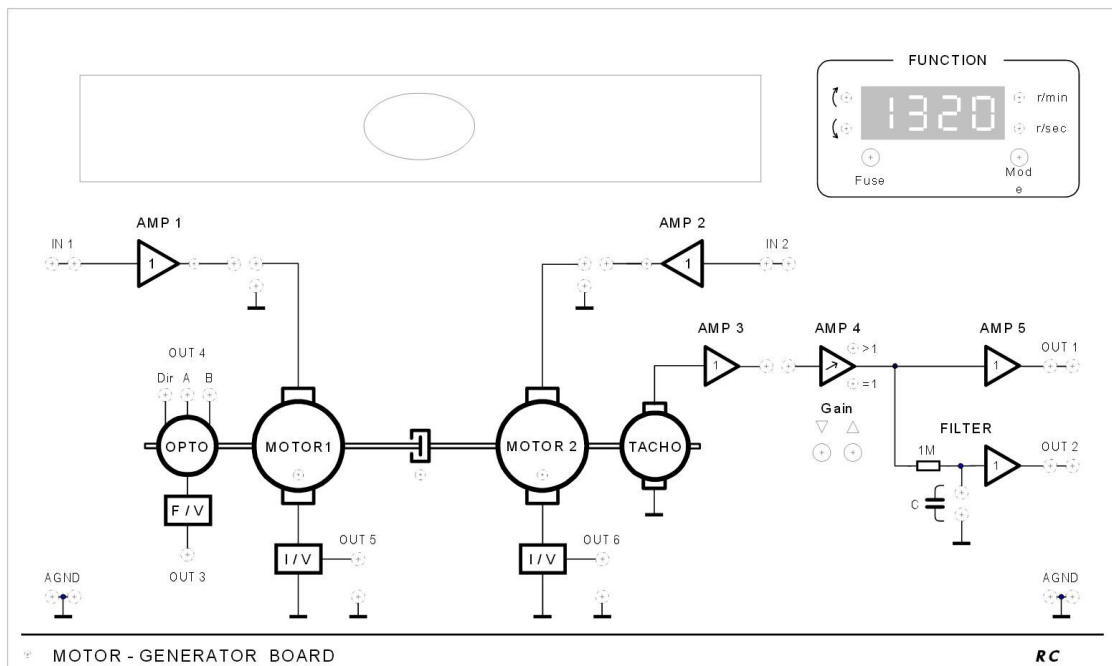
Obrázek 8 : R decade 2 a C decade

Odporová dekáda 2. Má rozsah je 1k Ω až 999k Ω s krokem 1k Ω . Kapacitní dekáda rozsah 1nF až 999nF s krokem 1nF.



Obrázek 9 : Modul OPERATIONAL AMPLIFIER

V modulu operačního zesilovače se nachází zesilovač OP132. Tento modul použijeme pro porovnání vlastností s pid regulátorem.



Obrázek 10 : Motor-generátor board

Soustava *motor-generátor* je složena ze dvou stejnosměrných motorů. Motor M1 je spojen s optickým snímačem otáček OPTO a motor M2 s lineárním tachodynamem TACHO. Napětí tachodynamu lze měřit na výstupu AMP3-napětí dynama nebo Výstupu OUT1-napětí dynama s proměnným zesílením a výstupu OUT2-napětí tachodynamu s proměnným zesílením a filtrací.

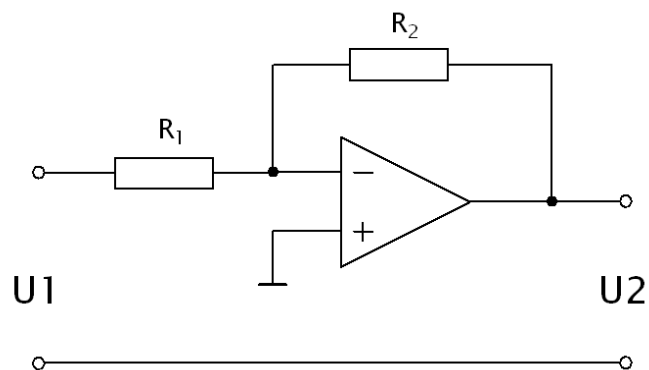
2 Zadání úloh

2.1 Proporcionální člen P

Teorie: Proporcionální člen jak prozrazuje název, pouze zesiluje regulační odchylku e , přitom

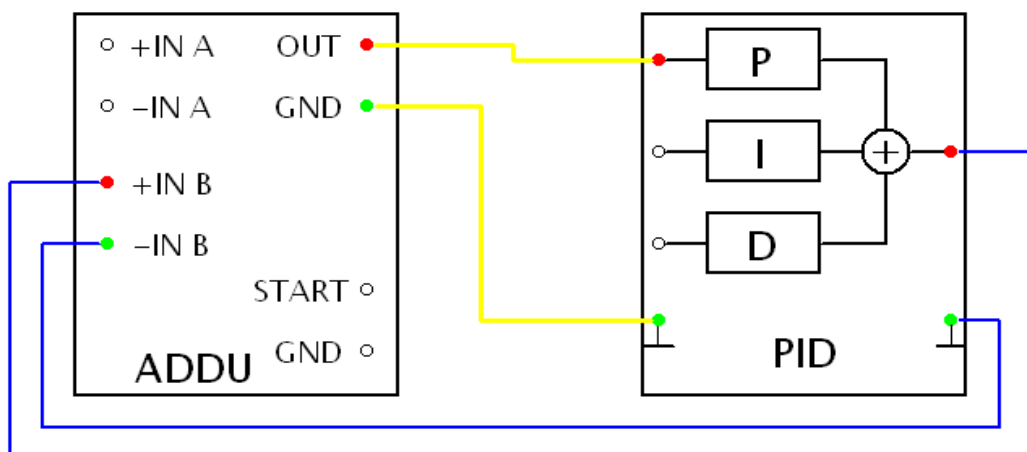
$$U_2 = -K_p \cdot U_1$$

Realizovat ho můžeme pomocí invertujícího zesilovače v zapojení obrázek 11 je roven $U_2 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_1$



Obrázek 11: Proporcionální člen schéma

Úkol: Zjistěte, jaké jsou rozdíly přechodových charakteristik v zapojení proporcionálního členu pomocí bloku OPERATIONAL AMPLIFIER, měřeno na osciloskopu a bloku PID CONTROLLER měřeno na systému stavebnice RC2000.

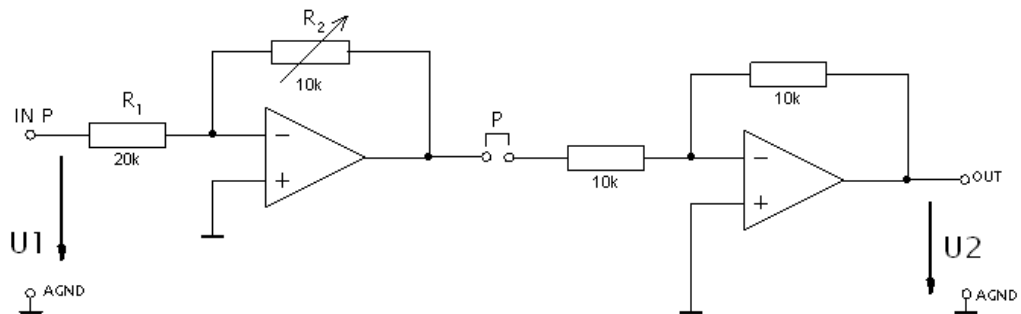


Obrázek 12 : Zapojení měřícího obvodu P-člen

Postup: Zapojte invertující zesilovač na bloku OPERATIONAL AMPLIFIER podle obrázku 11. Na zdroji signálu nastavte tvar signálu square velikost 5V frekvenci 100Hz a stiskněte tlačítko OUTPUT, které potvrdí vaše nastavení a vyšle ho na výstup zdroje. Hroty osciloskopu připojte na vstup a výstup zesilovače. Na osciloskopu zobrazte přechodovou charakteristiku, kterou uložte na přenosné

médium k dalšímu použití. Připojte přenosné medium, stiskněte tlačítko STORAGE a postupujte dle popisu na displeji. Po uložení médium odpojte.

Za použití modulu PID CONTROLLER zapojte proporcionální člen, viz obrázky 12 a 13



Obrázek 13 : P člen schéma PID controller

Spustíte program rc2000 – Oscilloskope+Gen.

Vyberte vstupní skokovou funkci 2,5V v panelu **output** otevřete soubor *skok1.aio* potvrďte kliknutím na tlačítko **open**.

Měření proved'te pro následující hodnoty odporů, viz tabulka 1.

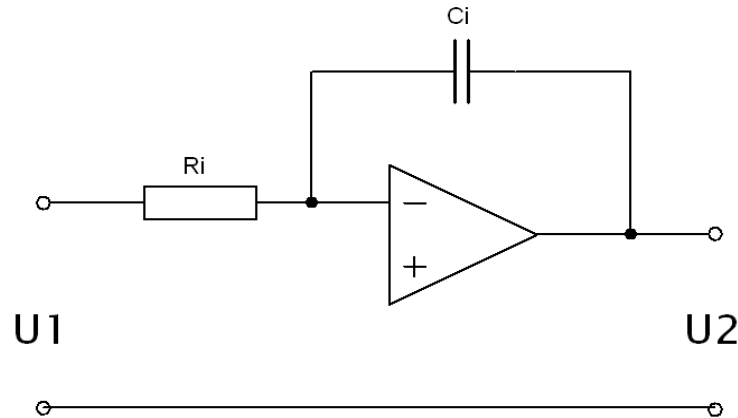
Tabulka 1 : Hodnoty odporu rezistorů proporcionální člen

R ₁	R ₂
10 kΩ	10 kΩ
100 kΩ	200 kΩ
100 kΩ	300 kΩ
100 kΩ	50 kΩ

Charakteristiky zobrazte a porovnejte s charakteristikou získanou z osciloskopu při měření na modulu AMPLIFIER. Zpracujte protokol o měření.

2.2 Integrovní člen I

Integrovní člen můžeme realizovat pomocí integrovního zesilovače, zobrazeném na obrázku 14.



Obrázek 14 : Schéma zapojení integrovní člen

Výstupní napětí integrovního členu pro vstupní skokovou funkci napětí, je dáno vztahem

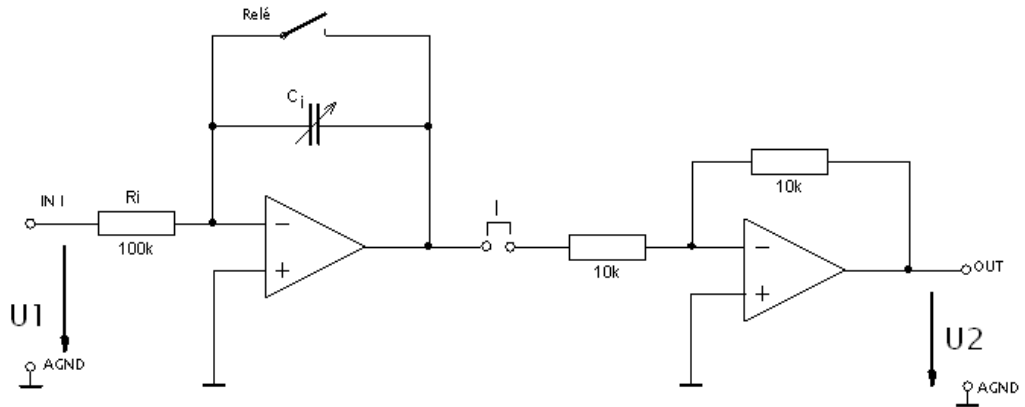
$$U_2 = -\frac{U_1}{R_i C_i} (t_1 - t_0)$$

Úkol: Zjistěte, jaké jsou rozdíly přechodových charakteristik v zapojení integrovního členu pomocí bloku OPERATIONAL AMPLIFIER měřeno pomocí osciloskopu a bloku PID CONTROLER sestaveno pomocí stavebnice RC2000.

Postup: Zapojte invertující zesilovač na bloku OPERATIONAL AMPLIFIER podle obrázku 14. Na zdroji signálu nastavte tvar signálu square velikost 5V frekvenci 100Hz a stiskněte tlačítko OUTPUT, které potvrdí vaše nastavení a signál vyšle na výstup zdroje. Hroty osciloskopu připojte na vstup a výstup zesilovače. Na osciloskopu zobrazte přechodovou charakteristiku, kterou uložte na přenosné médium k dalšímu použití.

Připojte přenosné médium, stiskněte tlačítko STORAGE a postupujte dle popisu na displeji. Po uložení médium odpojte.

Za použití modulu PID CONTROLER zapojte integrovní člen, viz obrázky 15 a 16 Zapojte obvod dle schématu 15 a změřte na stavebnici RC 2000.



Obrázek 15 : I člen schéma PID controller

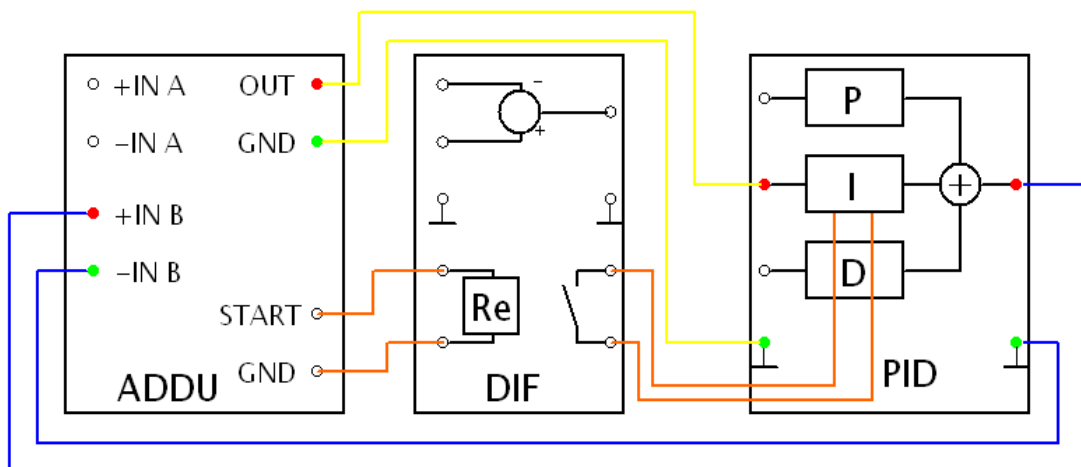
Spusťte program rc2000 – Oscilloskope+Gen.

Vyberte vstupní skokovou funkci 2,5V v panelu **output** otevřete soubor **skok1.aio** potvrďte kliknutím na tlačítko **open**.

Měření proved'te pro následující hodnoty kondenzátorů, viz tabulka 2

Tabulka 2 : Hodnoty kapacit kondenzátorů I-člen

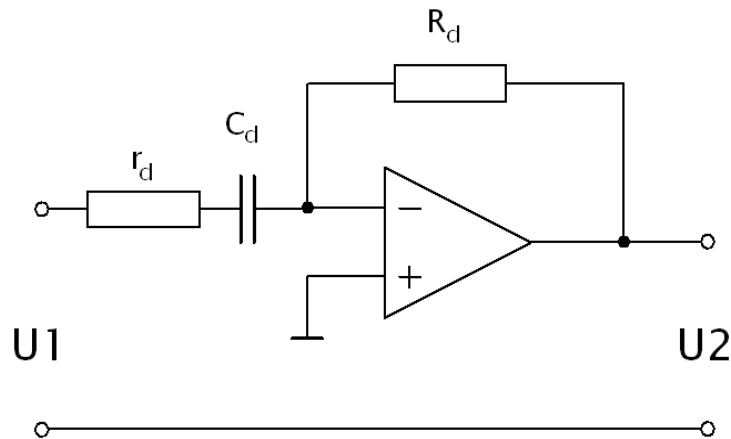
Měření	C_i [nF]
1	100
2	200
3	300
4	500



Obrázek 16 : Zapojení měřícího obvodu I-člen

2.3 Derivační člen D-T1

Samostatný derivační člen se v praxi nepoužívá, protože je pro vysoké frekvence nestabilní. Proto se používá derivační člen D se zpožďovacím členem T1, který lze realizovat pomocí obvodu na obrázku 17.

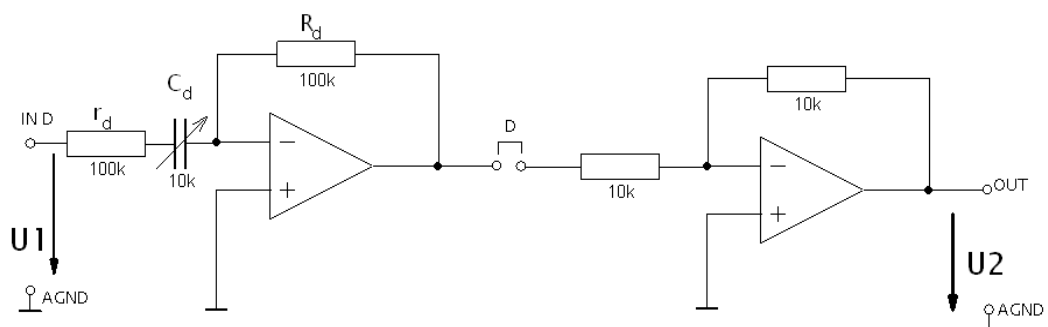


Obrázek 17 : Schéma zapojení D-T1

Úkol: Zobrazte přechodové charakteristiky derivačního členu při různých nastaveních. Vyhodnoťte, co způsobí tyto změny v obvodu. Vaše výsledky zdůvodněte.

Výstupní napětí derivačního členu se zpožděním T1 pro vstupní skokovou funkci napětí, je dáno vztahem

$$U_2 = -R_d C_d \cdot U_1 \frac{1}{r_d C_d} e^{-\frac{t}{r_d C_d}}$$



Obrázek 18 : D-T1 člen schéma PID controller

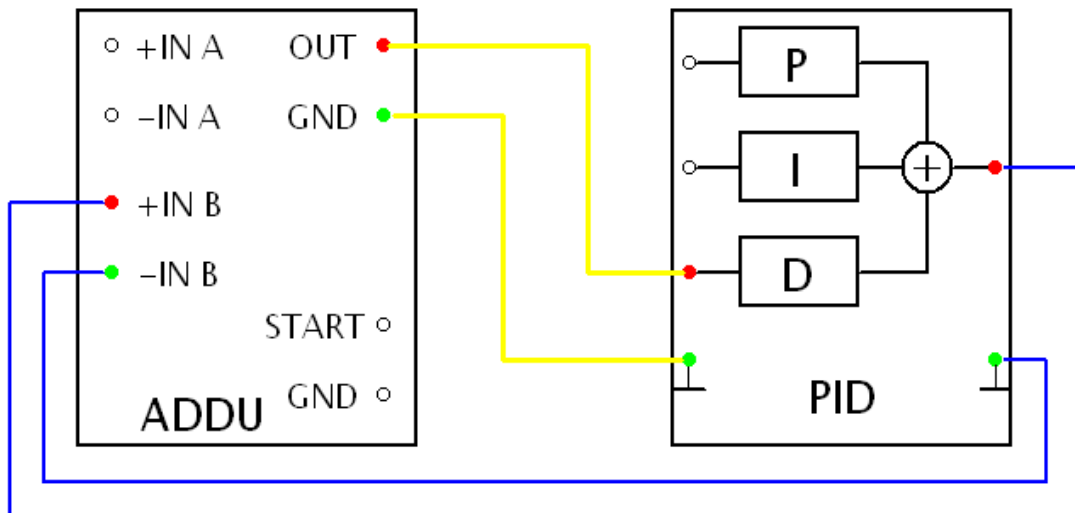
Měření provedte pro následující hodnoty kondenzátoru C_d , viz tabulka 3. Ostatní nastavení je zobrazeno na obrázku 18

Tabulka 3 : Nastavení měření D-T1

Měření	C_d [nF]
1	50
2	100
3	200
4	500

Postup: Spustíte program rc2000 – Oscilloskope+Gen.

Vyberte vstupní skokovou funkci 2,5V v panelu **output** otevřete soubor *skok1.aio* potvrďte kliknutím na tlačítko **open**.



Obrázek 19 : Zapojení měřícího obvodu D-T1

Charakteristiky pro všechna měření zaznamenejte do jednoho průběhu, který vyhodnoťte.

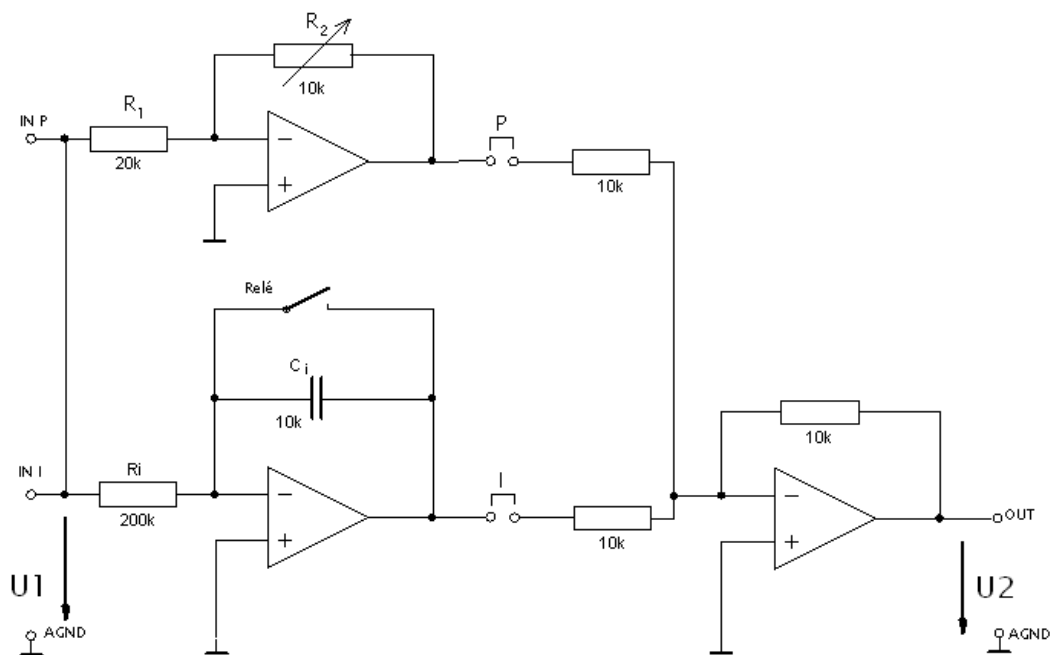
2.4 PI člen

Tento člen vznikne paralelním spojením proporcionálního a integračního členu pomocí součtového invertujícího zesilovače.

Úkol: Zapojte PI člen pomocí modulů ADDU, DIF, PID, R DEC. Zaznamenejte přechodové charakteristiky pro nastavení systému popsaná níže.

Vzorec pro výpočet výstupního napětí je

$$U_2 = K_p \left(U_1 + \frac{t}{T_n} U_1 \right)$$



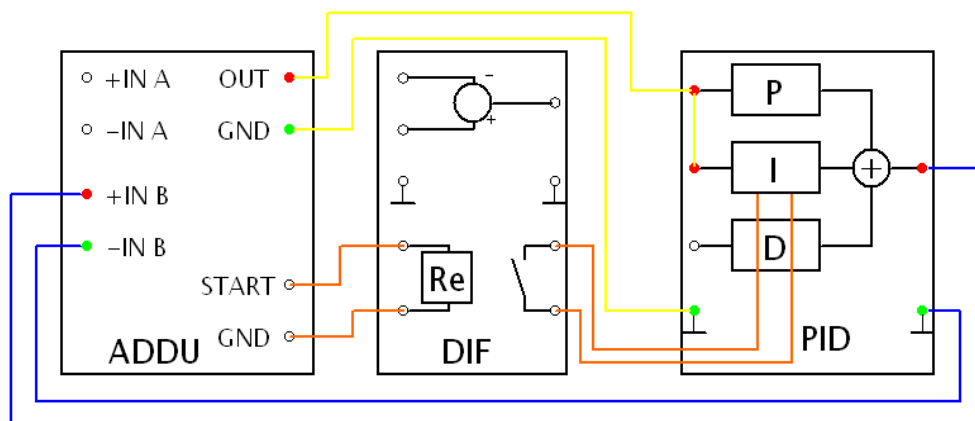
Obrázek 20 : PI člen PID controller

Postup: Zapojte měřící obvod podle schématického obrázku 20 a blokového zobrazení zapojení na obrázku 21. V nastavení podle tabulky 4 a zobrazte přechodové charakteristiky.

Spustíte program rc2000 – Oscilloskope+Gen.

Vyberte vstupní skokovou funkci 2,5V v panelu **output** otevřete soubor *skok1.aio* potvrďte kliknutím na tlačítko **open**.

Zobrazte přechodové charakteristiky, v nastavení podle tabulky 4. Tedy, nejprve zapojte pouze část proporcionální, průběh zaznamenejte a postupte k další řádce tabulky. Zapojte integrační člen, zaznamenejte průběh měření. Nakonec obě tyto části spojte v jeden celek a zaznamenejte průběh pro proporcionálně integrační člen.



Obrázek 21 : Měřící schéma PI člen

Tabulka 4 : PI člen měření

Měření	C_d [nF]
1	Zapojen pouze P člen
2	Zapojen pouze I člen
3	Zapojen PI člen

K měření zpracujte protokol, který zaměříte na rozdíly mezi členy proporcionálními integračními a co plyne z jejich paralelního spojení do proporcionálně integračního členu.

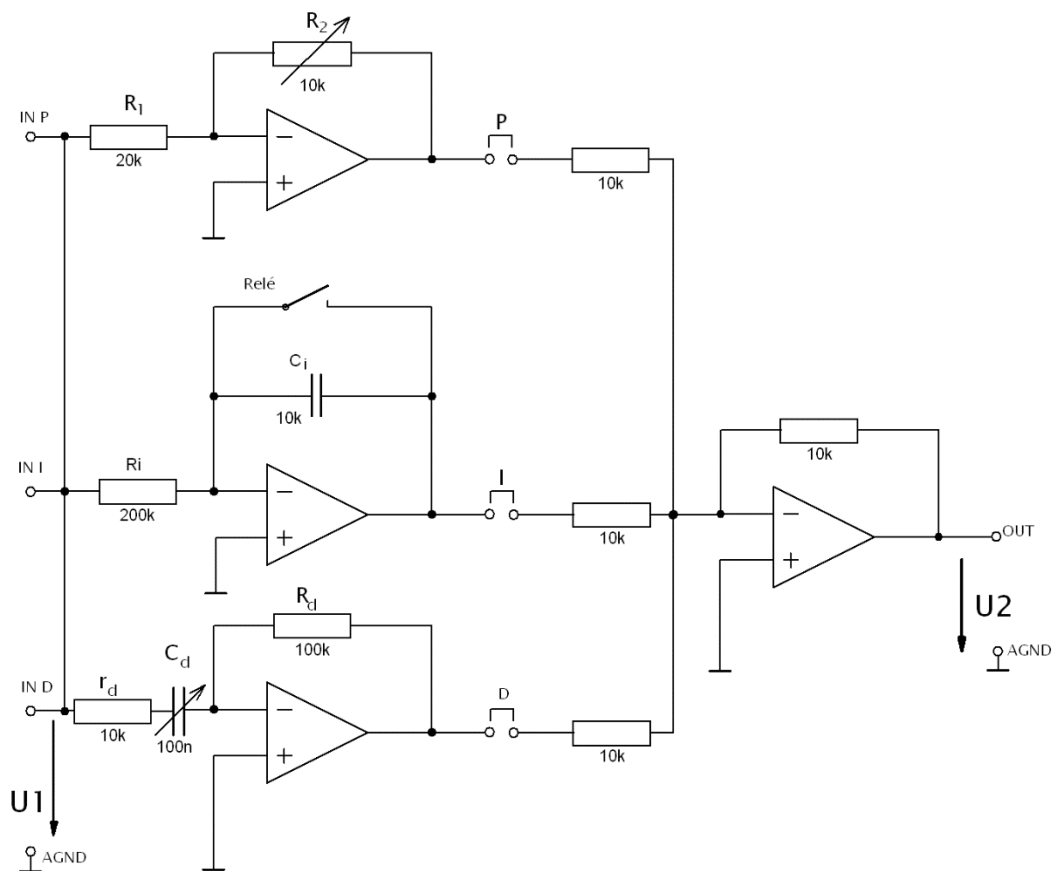
2.5 PID-T1 člen

Paralelní kombinací stejně jako PI člen můžeme sestavit PID člen, který jak již jsme se dozvěděli u derivačního členu. Je vhodné zpozdít proporcionální část pomocí členu T1.

Úkol: Zapojte PID člen pomocí modulů ADDU, DIF, PID, R DEC. Zaznamenejte přechodové charakteristiky pro nastavení systému popsaná níže.

Vzorec pro výpočet výstupního napětí je následující.

$$U_2 = K_p \left(U_1 \frac{1}{T_n} U_1 \cdot t + T_v \frac{\Delta U_1}{\Delta t} \right)$$



Obrázek 22 : PID-T1

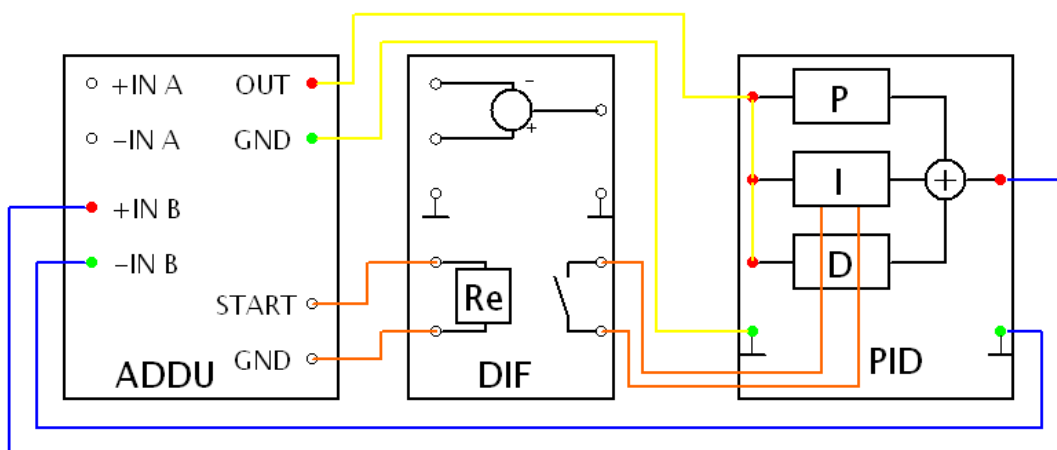
Postup: Zapojte podle schématu na obrázku 22 a blokovém schématu na obrázku 23. Proved'te postupně všechna měření z tabulky 5.

Nejprve zaznamenejte charakteristiku proporcionálního členu (P-členu) potom integračního (I-člen) a derivačního (D-člen) nakonec všechny tyto prvky paralelně spojte pro získání proporcionálně integračně derivačního členu (PID-člen)

Tabulka 5 : PID-T1 nastavení měření

Měření	
1	Zapojen pouze P člen
2	Zapojen pouze I člen
3	Zapojen pouze D-T1 člen
4	Zapojeny PID-T1

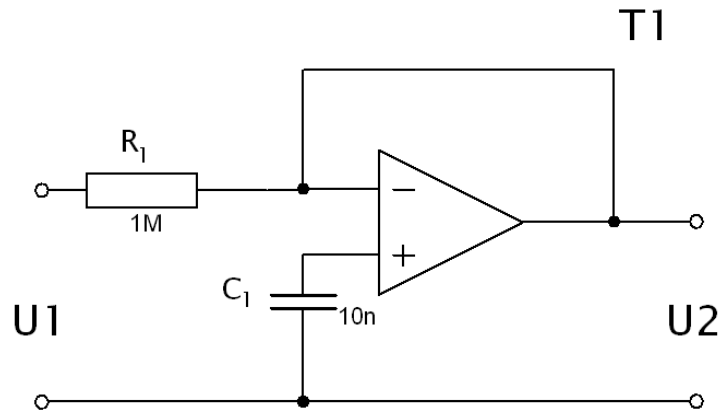
Naměřené charakteristiky vyhodnoťte podle rychlosti reakce na změnu a vhodnost použití při regulaci jakých soustav.



Obrázek 23 : blokové schéma měřícího obvodu PID-T1

2.6 Zpožd'ovací člen T1

Zpožd'ovací člen je možno realizovat pomocí RC článku s impedančním oddělovačem.



Obrázek 24 : Schéma zapojení T1

Výstupní napětí je určeno vztahem $U_2 = U_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$

Úkol: Zpojte T1 člen pomocí modulů ADDU, DELAY. Zaznamenejte přechodové charakteristiky pro nastavení systému popsaná níže.

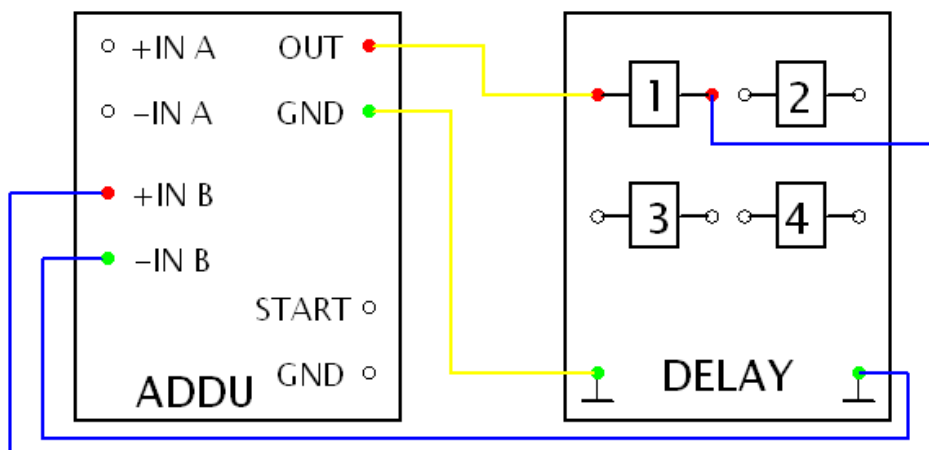
Postup: Spust'te program rc2000 – Oscilloskope+Gen.

Vyberte vstupní skokovou funkci 5V v panelu **output** otevřete soubor *skok2.ao* potvrďte kliknutím na tlačítko **open**.

Zobrazte průběhy pro hodnoty $R_1=1M\Omega$ a C_1 v tabulce.

Tabulka 6 : Hodnoty nastavení měření T1

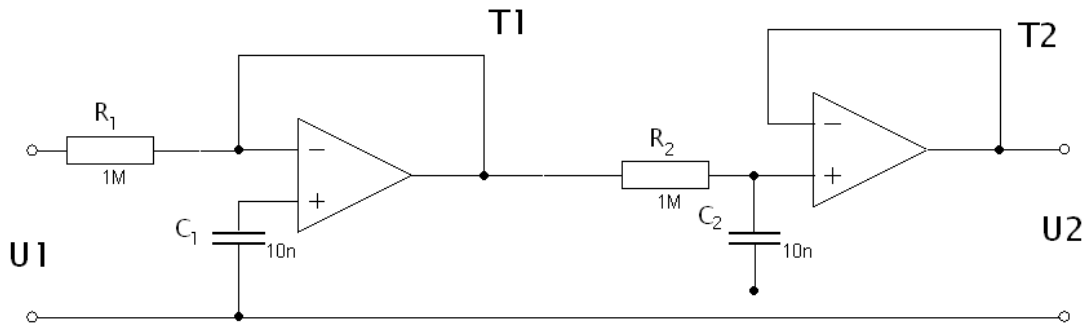
Měření	C_1 [nF]
1	10
2	33
3	100



Obrázek 25 : Měřící obvod T1

2.7 Zpoždovací člen T2

Sériovou kombinací dvou zpoždovacích členů 1. řádu získáme zpoždovací člen 2. řádu. Poměr doby náběhu T_n a doby průtahu T_u definuje regulovatelnost soustavy 2. řádu.



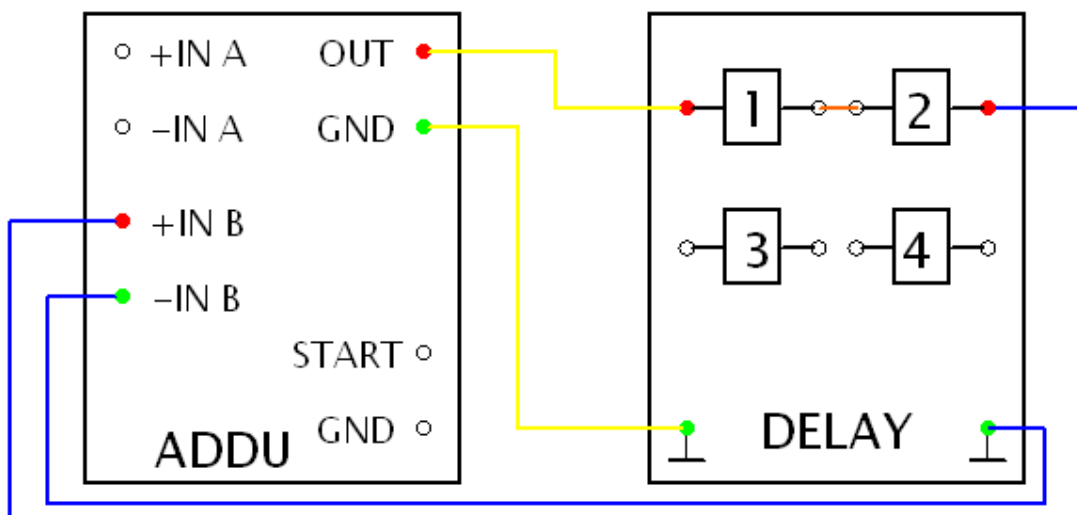
Obrázek 26 : Schéma zapojení zpoždovací člen T2

Postup: Sestrojte obvod podle obrázku 26 a 27. Zobrazte charakteristiky pro nastavení systému popsanému v tabulce 7. Měňte velikost kondenzátoru C_1 a C_2 vždy na stejnou hodnotu.

Tabulka 7 : Nastavení měření člen T2

R_1, R_2 [$M\Omega$]	C_1, C_2 [nF]
1	10
1	33

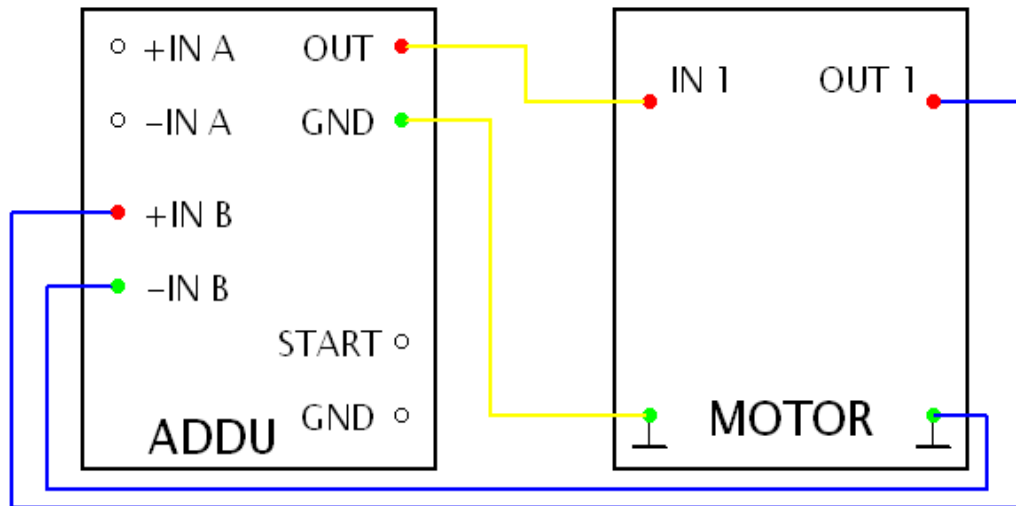
Úkol: Popište, kde na průběhu se nachází doba náběhu a kde doba průtahu.



Obrázek 27 : Měřící obvod T2

2.8 Identifikace soustavy Motor-Generátor

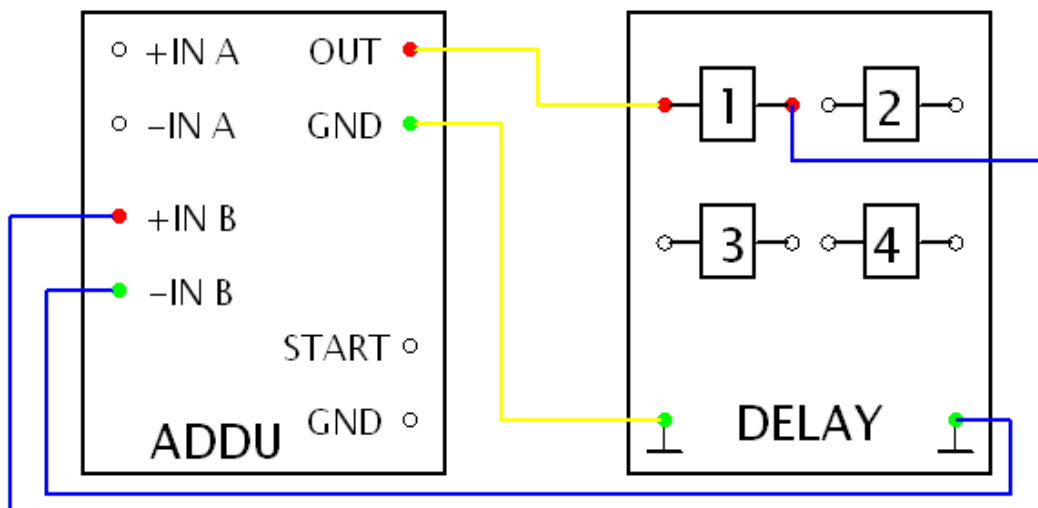
Identifikace regulační soustavy se provádí porovnáním soustavy se zpožďovacím členem. Cílem je najít co nejlepší shodu v přechodových charakteristikách. Potom lze předpokládat, že obě soustavy se budou chovat obdobně i v regulačním obvodu.



Obrázek 28 : Měřicí obvod identifikace soustavy motor-generátor

Postup: Pro vstupní skokovou funkci (5,0V) v panelu **output** otevřete soubor *skok2.ao* pomocí tlačítka **Open**.

Nastavení zpožďovacího členu T1 ($R_1=1M$, $C_1=C$ DEC)



Obrázek 29 : Měřicí obvod Identifikace soustavy zpožďovací člen

Podle zapojení na obrázku 28 několikrát změřte výstupní charakteristiku soustavy Motor-generátor. Měňte zesílení výstupu tachodynamu tak, aby došlo v ustáleném stavu k překrytí vstupní funkce výstupní funkcí. Přepojte obvod podle obrázku 29, změnou kapacity C_1 v okolí 40nF nalezněte optimální překrytí obou charakteristik. Hodnotu C_1 si zaznamenejte pro pozdější využití.

2.9 P regulátor

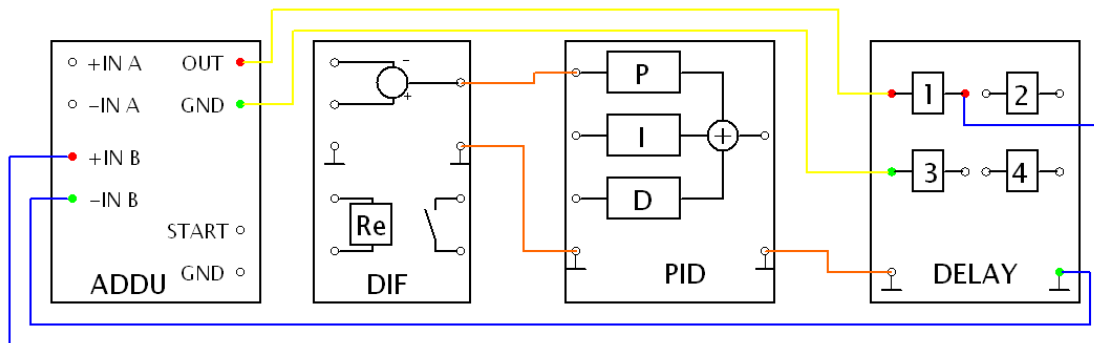
Úkol: Porovnejte zapojení zpoždovacího členu s proporcionálním regulátorem a bez regulátoru.

Připravte si bloky DIF, PID, DELAY, R DEC, C DEC

Tabulka 8 : Hodnoty P regulátor

P regulátor	Soustava T1
$R_1=1M\Omega$	$R_1=1M\Omega$
$R_2=20k\Omega$	$C_1\approx 40nF$

Velikost C_1 zvolte podle výsledku identifikace soustavy.



Obrázek 30 : Schéma zapojení T1 bez P regulátoru

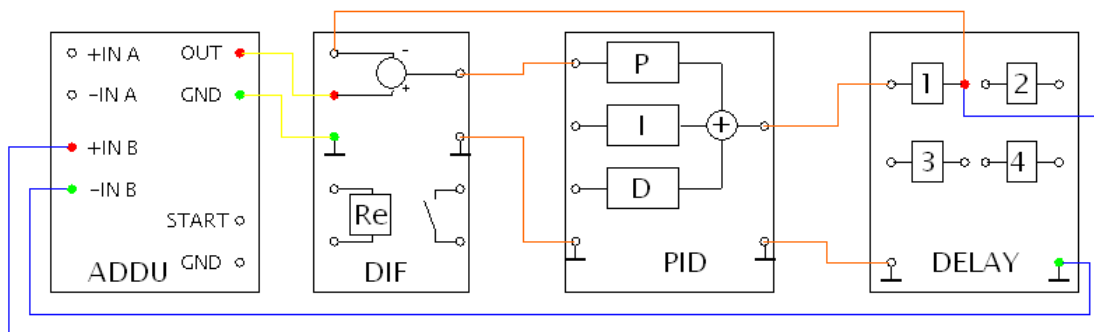
Postup: Spusťte program rc2000 – Oscilloskope+Gen.

Pro toto měření potřebujeme vytvořit skokovou funkci (3,75V) V panelu **UOUTPUT** zvolte **EDIT** a vytvořte potřebný skok. **ULOŽTE** jako *skok3.aio*

Vytvořenou funkci načtete pomocí tlačítka **open** v panelu **OUTPUT**.

Tabulka 9 : Hodnoty P regulátor

Měření	Zapojení	P regulátor
1	Zapojen T1 bez P regulátoru	
2	Zapojen T1 s P regulátorem	$R_1=10k\Omega$, $R_2=20k\Omega$
3	Zapojen T1 s P regulátorem	$R_1=10k\Omega$, $R_2=50k\Omega$
4	Zapojen T1 s P regulátorem	$R_1=10k\Omega$, $R_2=100k\Omega$



Obrázek 31 : Měřicí obvod T1 s P regulací

2.10I regulátor

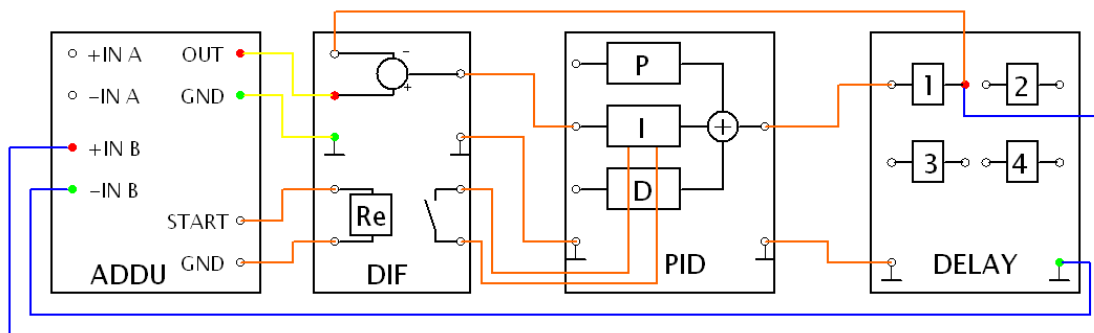
Úkol: Porovnejte zapojení zpožd'ovacího člen s integračním regulátorem a bez regulátoru.

Připravte si bloky DIF, PID, DELAY, R DEC, C DEC

Tabulka 10 : Hodnoty I regulátor

I regulátor	Soustava T1
$C_i=100\text{nF}$	$R_1=1\text{M}\Omega$
$R_i=20\text{k}\Omega$	$C_1\approx 40\text{nF}$

Velikost C_1 zvolte podle výsledku identifikace soustavy.



Obrázek 32 : Měřící obvod T1 bez I regulátoru

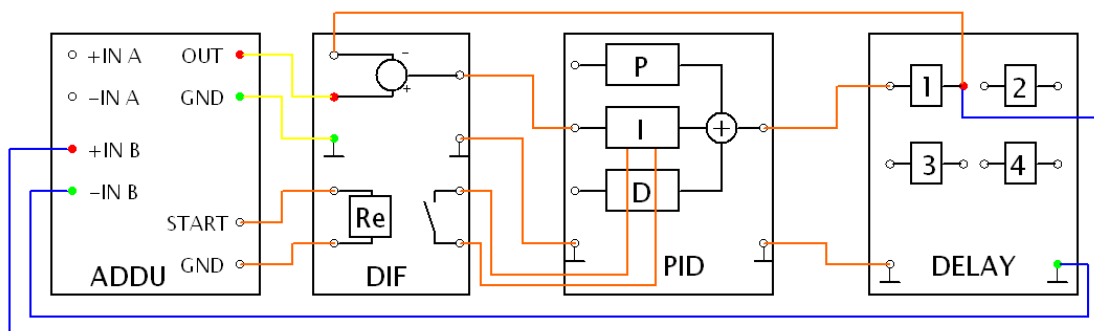
Postup: Spusťte rc 2000 – Oscilloskope+Gen.

V panelu output nalezněte již dříve vytvořenou skokovou funkci *skok3.aio*.

Postupujte stejně jako v předchozím měření.

Tabulka 11 : Nastavení měření I regulátoru

Měření	Zapojení	I regulator
1	Zapojen T1 bez I regulátoru	
2	Zapojen T1 s I regulátorem	$C_i=100\text{nF}$, $R_i=20\text{k}\Omega$
3	Zapojen T1 s I regulátorem	$C_i=100\text{nF}$, $R_i=90\text{k}\Omega$
4	Zapojen T1 s I regulátorem	$C_i=100\text{nF}$, $R_i=190\text{k}\Omega$



Obrázek 33 : Měřící obvod T1 s I regulátorem

2.11 PI regulátor

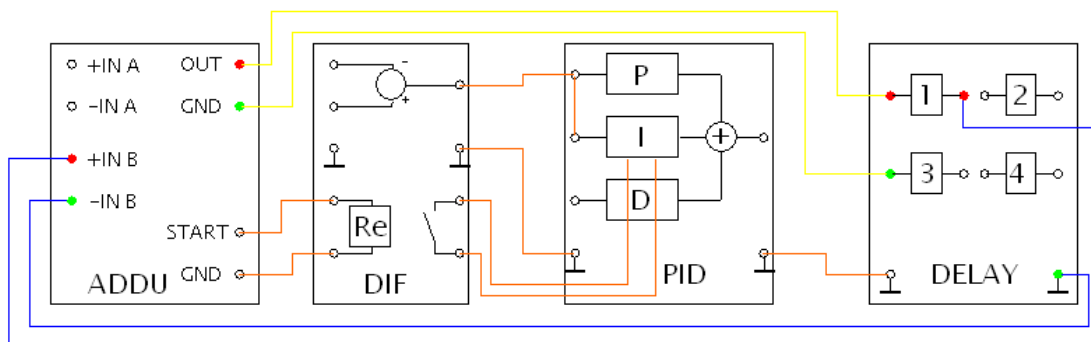
Úkol: Porovnejte zapojení zpoždovacího člen s proporcionálně-integračním regulátorem a bez regulátoru.

Připravte si bloky DIF, PID, DELAY, R DEC, C DEC

Tabulka 12 : Hodnoty PI regulátor

P regulátor	I regulátor	Soustava T1
$R_1=10k\Omega$	$C_i=100nF$	$R_1=1M\Omega$
$R_2=50k\Omega$	$R_i=90k\Omega$ (R DEC)	$C_1\approx 40nF$

Velikost C_1 zvolte podle výsledku identifikace soustavy.



Obrázek 34 : Měřící obvod T1 bez PI regulátoru

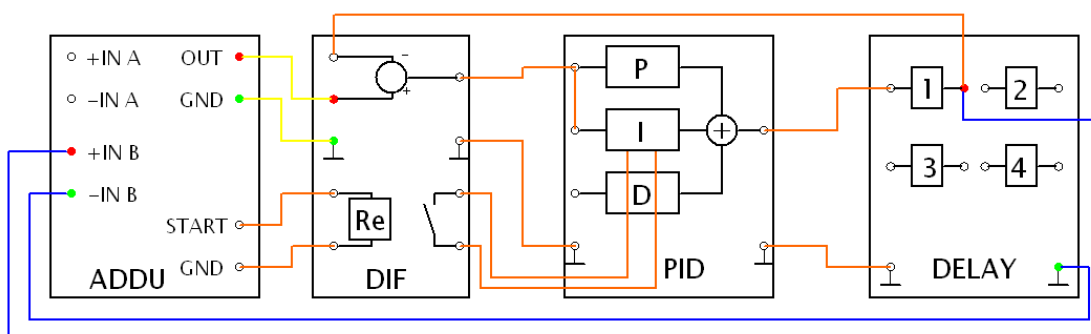
Postup: Spusťte rc 2000 – Oscilloskope+Gen.

V panelu output nalezněte již dříve vytvořenou skokovou funkci *skok3.aio*.

Postupujte stejně jako v předchozím měření.

Tabulka 13 : Nastavení měření PI regulátor

Zapojení	P regulátor	I regulátor
Zapojen T1 bez PI regulátoru		
Zapojen T1 s PI regulátorem	$R_1=10k\Omega$, $R_2=50k\Omega$	$C_i=100nF$, $R_i=90k\Omega$
Zapojen T1 s PI regulátorem	$R_1=10k\Omega$, $R_2=50k\Omega$	$C_i=100nF$, $R_i=20k\Omega$



Obrázek 35 : Měřící obvod T1 s PI regulátorem

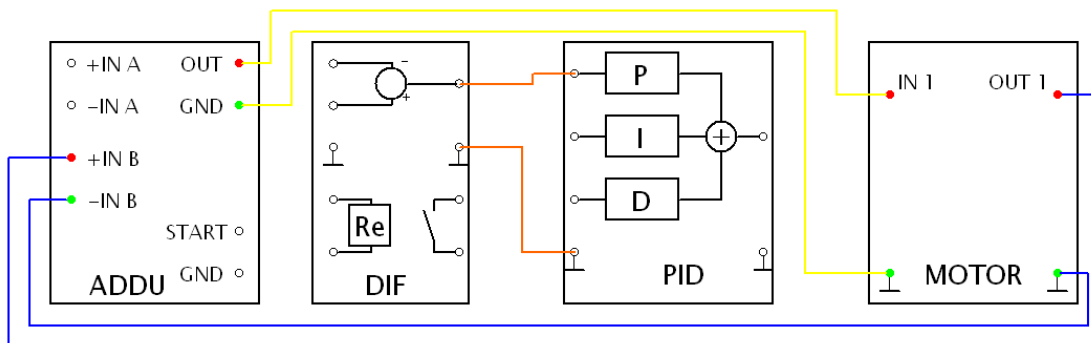
2.12P regulátor soustava motor-generátor

Úkol: Porovnejte zapojení soustavy motor-generátor s proporcionálním regulátorem a bez regulátoru.

Připravte si bloky DIF, PID, MOTOR, R DEC

Tabulka 14 : Hodnoty P regulátor - motor

P regulátor
$R_1=10k\Omega$
$R_2=20k\Omega$ (R DEC)



Obrázek 36 : Měřící obvod motor bez P regulátoru

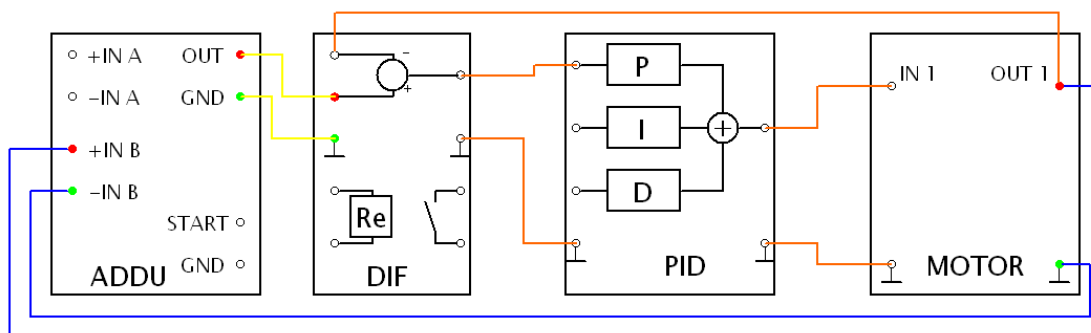
Postup: Spusťte rc 2000 – Oscilloskope+Gen.

V panelu output nalezněte skokovou funkci *skok3.aio*.

Postupujte podle následující tabulky.

Tabulka 15 : Hodnoty P regulátoru a jeho zapojení

Zapojení	P regulator
Motor-Generátor bez P regulátoru	
Motor-Generátor s P regulátorem	$R_1=10k\Omega$, $R_2=20k\Omega$
Motor-Generátor s P regulátorem	$R_1=10k\Omega$, $R_2=50k\Omega$
Motor-Generátor s P regulátorem	$R_1=10k\Omega$, $R_2=100k\Omega$



Obrázek 37 : Měřící obvod MOTOR s P regulátorem

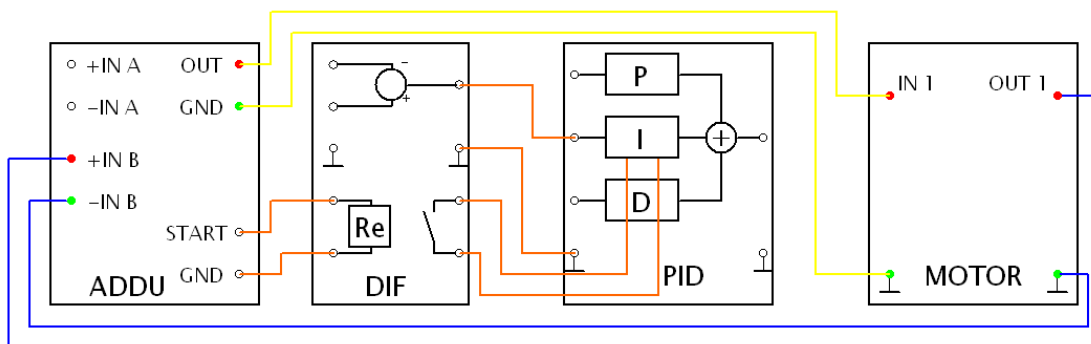
2.13I regulátor soustava motor-generátor

Úkol: Porovnejte zapojení soustavy motor-generátor s integračním regulátorem a bez regulátoru.

Připravte si bloky DIF, PID, MOTOR, R DEC

Tabulka 16: Hodnoty I regulátor - motor

I regulátor
$C_i=100\text{nF}$
$R_i=20\text{k}\Omega$ (R DEC)



Obrázek 38 : Měřící obvod motor-generátor bez I regulátoru

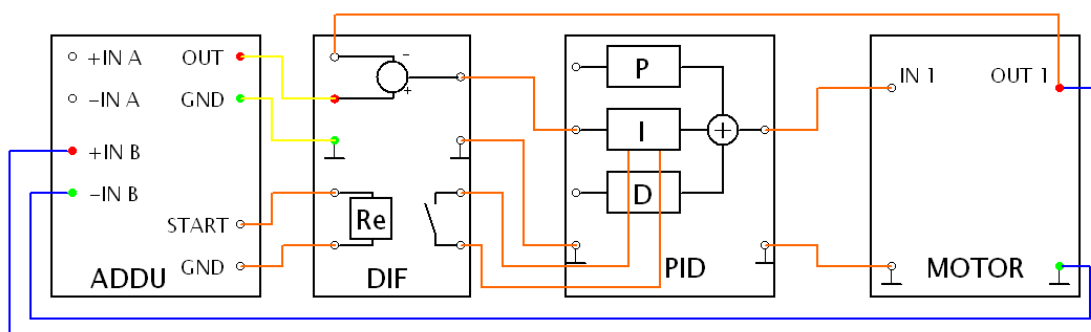
Postup: Spusťte rc 2000 – Oscilloskope+Gen.

V panelu output naleznete skokovou funkci *skok3.aio*.

Postupujte podle následující tabulky.

Tabulka 17 : Hodnoty I regulátoru a jeho zapojení

Zapojení	I regulator
Motor-Generátor bez I regulátoru	
Motor-Generátor s I regulátorem	$C_i=100\text{nF}$, $R_i=20\text{k}\Omega$
Motor-Generátor s I regulátorem	$C_i=100\text{nF}$, $R_i=90\text{k}\Omega$
Motor-Generátor s I regulátorem	$C_i=100\text{nF}$, $R_i=190\text{k}\Omega$



Obrázek 39 : Měřící obvod motor generátor s I regulátorem

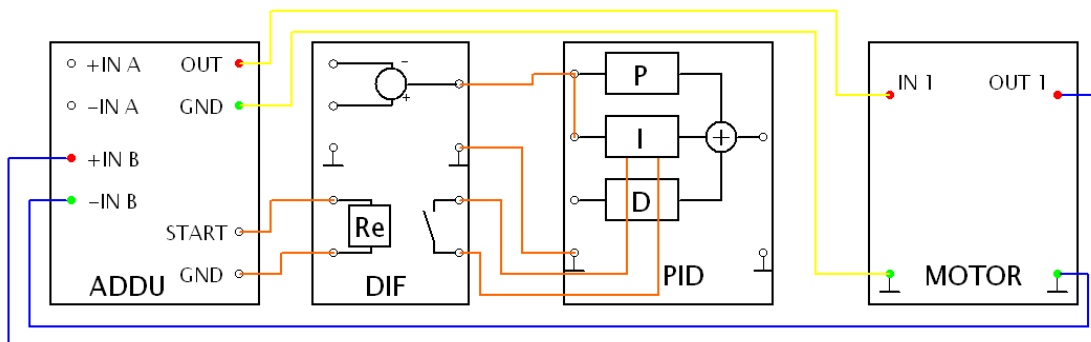
2.14 PI regulátor soustava motor-generátor

Úkol: Porovnejte zapojení soustavy motor-generátor s proporcionálně-integračním regulátorem a bez regulátoru.

Připravte si bloky DIF, PID, MOTOR, R DEC

Tabulka 18 : Hodnoty PI regulátor - motor

P regulátor	I regulátor
$R_1=10k\Omega$	$C_i=100nF$
$R_2=50k\Omega$	$R_i=90k\Omega$ (R DEC)



Obrázek 40 : Měřící obvod motor bez PI regulátoru

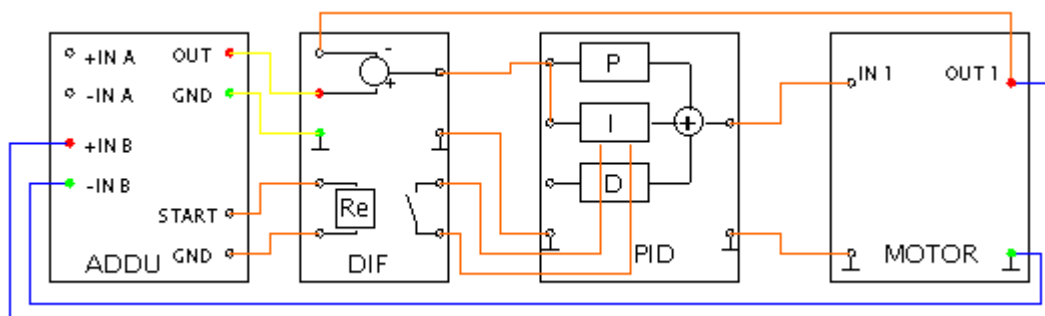
Postup: Spusťte rc 2000 – Oscilloskope+Gen.

V panelu output naleznete skokovou funkci *skok3.aio*.

Postupujte podle následující tabulky.

Tabulka 19 : Hodnoty motor-generátor PI regulátor

Zapojení	P regulator	I regulator
MG bez PI regulátoru		
MG s PI regulátorem	$R_1=10k\Omega$, $R_2=50k\Omega$	$C_i=100nF$, $R_i=90k\Omega$
MG s PI regulátorem	$R_1=10k\Omega$, $R_2=50k\Omega$	$C_i=100nF$, $R_i=20k\Omega$



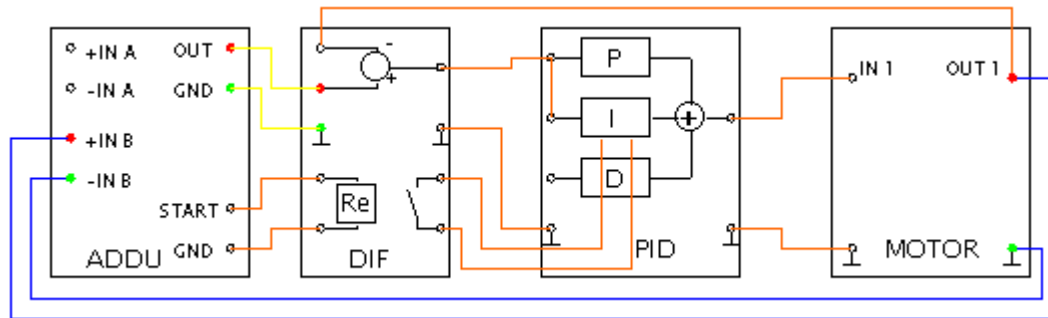
Obrázek 41 : Měřící obvod motor generátor s PI regulátorem

2.15 Porovnání regulace soustavy Motor-Generátor a modelové soustavy členu T1

Pokud jsme dobře identifikovali, soustavu motor-generátor, musí být regulace modelové soustavy a regulace identifikované soustavy obdobná.

Úkol: Porovnejte zapojení soustavy motor-generátor s integračním regulátorem a bez regulátoru.

Připravte si bloky DIF, PID, DELAY, MOTOR, R DEC, C DEC



Obrázek 42 : měřící obvod motor s PI regulátorem-porovnání

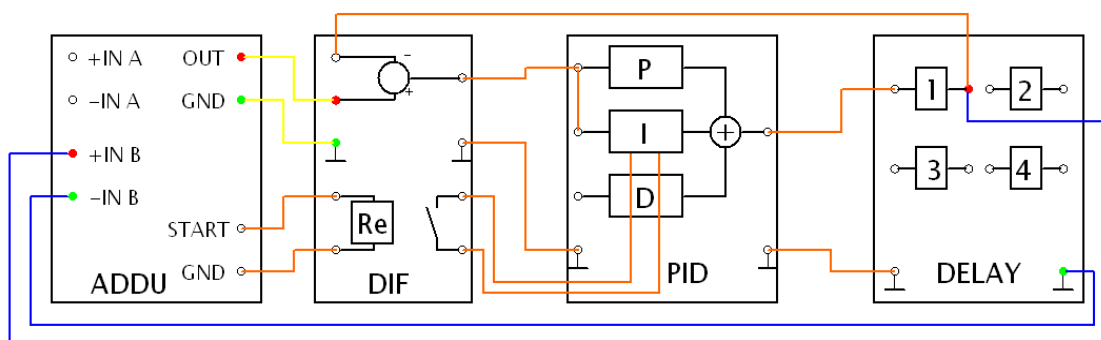
Postup: Spusťte rc 2000 – Oscilloskope+Gen.

V panelu output naleznete skokovou funkci *skok3.aio*.

Postupujte podle následující tabulky.

Tabulka 20 : Hodnoty motor-generátor porovnání

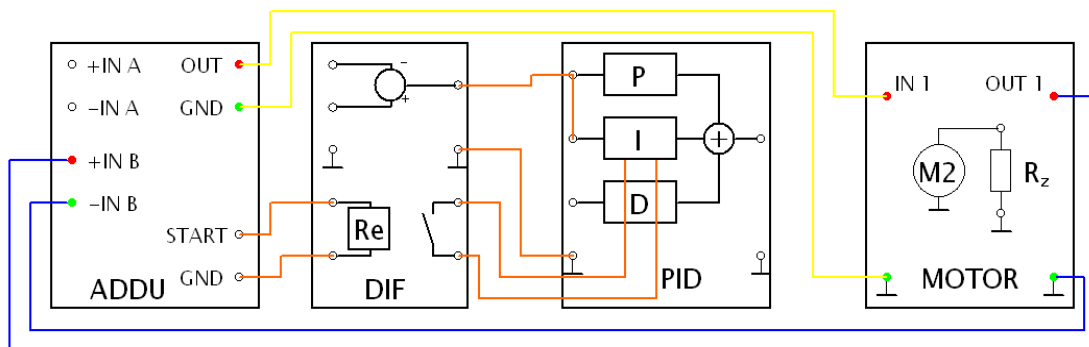
Zapojení	P regulator	I regulator
MG s PI regulátorem	$R_1=10\text{k}\Omega$, $R_2=50\text{k}\Omega$	$C_i=100\text{nF}$, $R_i=90\text{k}\Omega$
T1 s PI regulátorem	$R_1=10\text{k}\Omega$, $R_2=50\text{k}\Omega$	$C_i=100\text{nF}$, $R_i=20\text{k}\Omega$
T1	$R_1=1\text{M}\Omega$, $C_1=40\text{nF}$ (C DEC)	



Obrázek 43 : Měřící obvod T1 s PI regulátorem-porovnání

2.16 Měření 1 - Zatížená soustava Motor-generátor s PI regulátorem

Otáčky motoru bez regulátoru (při konstantním budícím napětí) jsou závislé na zatížení motoru. Úkolem regulátoru je udržet otáčky motoru konstantní při změnách zatížení. Pro soustavu Motor-generátor bez PI regulátoru použijte měřící obvod podle 44 pro soustavu Motor-generátor a PI regulátorem použijte 45. Zátěž soustavy Motor-generátor realizujte zatížením výstupu M2 rezistorem $R=10\Omega$



Obrázek 44 : Měřící obvod motor bez PI regulátoru-zatížení

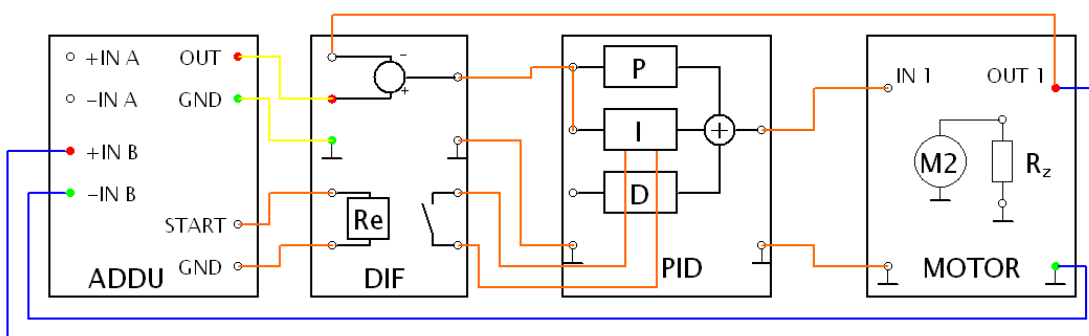
Postup: Spusťte rc 2000 – Oscilloskope+Gen.

V panelu output naleznete skokovou funkci *skok3.aio*.

Postupujte podle následující tabulky.

Tabulka 21 : Hodnoty nastavení měření 1

Zapojení	P regulator	I regulator
MG bez PI regulátoru		
MG bez PI regulátoru se zátěží $R_z=10\Omega$		
MG s PI regulátorem	$R_1=10k\Omega$, $R_2=50k\Omega$	$C_i=100nF$, $R_i=90k\Omega$
MG s PI regulátorem se zátěží	$R_1=10k\Omega$, $R_2=50k\Omega$	$C_i=100nF$, $R_i=90k\Omega$

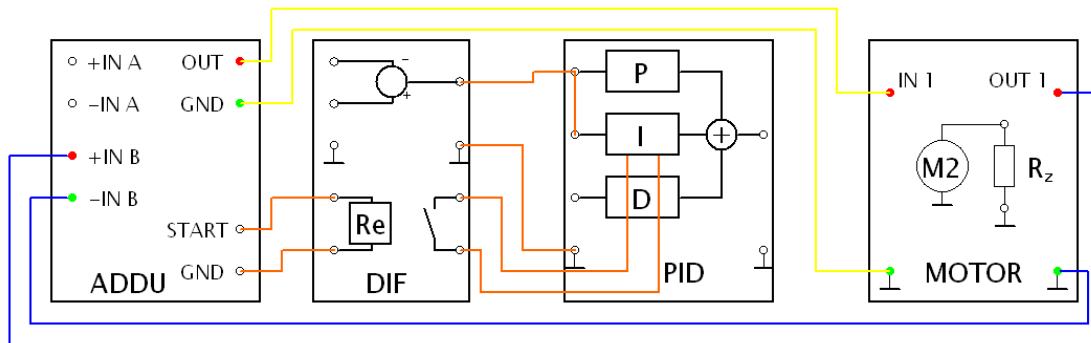


Obrázek 45 : Měřící obvod motor-generátor s PI regulátorem-zatížení

2.17 Měření 2 - Zatížená soustava Motor-generátor s PI regulátorem

Úkol: Porovnejte zapojení soustavy motor-generátor s PI regulátorem a bez regulátoru při nahodilém zatěžování rezistorem $R=10\Omega$.

Připravte si bloky DIF, PID, DELAY, MOTOR, R DEC, C DEC

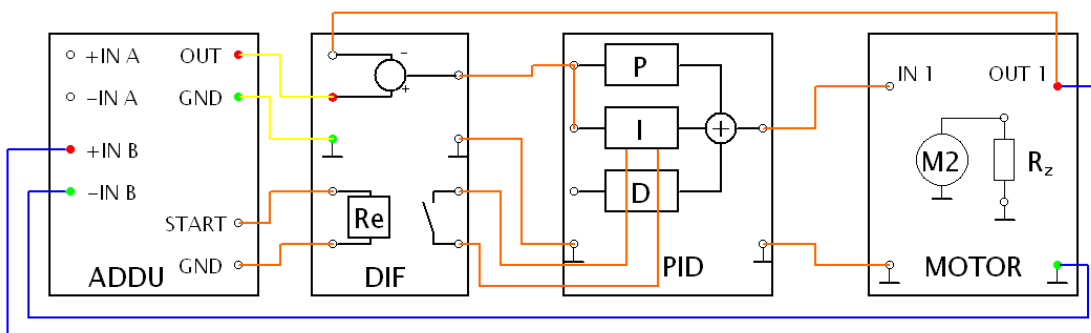


Obrázek 46 : Měřící obvod motor bez PI regulátoru - měření 2

Zapojte obvod dle obrázku 46. Spusťte program rc2000, nastavte časovou osu TIME na 2s/dílek(asi 10s měření) nahodile zatěžujte rezistorem $R_z=10\Omega$. Měření zaznamenejte. Změňte zapojení dle obrázku 47 a hodnot z tabulky 22. Spusťte měření a nahodile zatěžujte stejným rezistorem. Měření vzájemně porovnejte.

Tabulka 22 : Hodnoty nastavení měření 2

Zapojení	P regulator	I regulator
MG bez PI regulátoru nahodilé zatěžování $R_z=10\Omega$		
MG s PI regulátoru nahodilé zatěžování $R_z=10\Omega$		
	$R_1=10k\Omega$, $R_2=50k\Omega$	$C_i=100nF$, $R_i=90k\Omega$



Obrázek 47 : Měřící obvod motor-generátor s PI regulátorem - měření 2

Závěr

V rámci své diplomové práce jsem se snažil o přiblížení problematiky regulace zajímavým způsobem. Věřím, že úlohy budou následně využívány, k účelům pro který byly tvořeny. Doufám, že moje práce bude přínosem jak ve směru teoretickém, tak praktickém.

Cesta ke zpracování úloh nebyla vždy bez překážek, ale nakonec jsem, ve spolupráci se svým vedoucím práce, všechny nejasnosti vyřešil do konečné stávající podoby. Která podle mého mínění plní požadavky ze zadání práce. Úlohy jsou navrženy, tak aby práce na nich byla zajímavá, poučná a zároveň časově naplňovala studijní čas, který je na fyzikální praktika v třetím ročníku vyhrazen.

Úlohy jsem se ve spolupráci s vedoucím práce snažil navrhnout tak, aby obsáhly tu část automatického řízení, která by měla být známa studentům fyziky ve třetím ročníku. Každá úloha byla též naměřená a to s pomůckami, které mají všichni studenti k dispozici. Stavebnicový systém, nebo lépe modulový systém RC 2000 micro Lab, se mi osvědčil a myslím, že práce na něm ověří, často i přinese, spousty hodnotných informací, které za dobu studia posluchači fyziky získali. Systém pomáhá rozvoji studenta, ověřením teoretických předpokladů v praktickém řešení. Dále pak zlepšuje představu studenta o práci v laboratoři

Při přípravě těchto měření jsem si prohloubil a ověřil své znalosti v dotčených oblastech, tedy v regulaci a automatizaci. Potvrdil jsem si předpoklady z úvodní části, že užitná hodnota tohoto stavebnicového systému je obrovská a obsáhne široké spektrum měření.

Věřím, že měření se stavebnicovým systémem RC 2000 micro Lab, bude pro všechny posluchače zajímavé a že si tímto způsobem obohatí své znalosti.

Seznam použité literatury

- [1] *RC Didactic systems* [online]. [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.rcdidactic.cz/cz/system-lab.html>
- [2] *TEORIE AUTOMATIZACE: Specifikace* [online]. [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: http://www.sse-najizdarne.cz/dokumenty/studijni_materialy/automatizace.pdf
- [3] SUDEK, Martin. *Základní měření pasivních a aktivních součástek*. Hradec Králové, 2013. Bakalářská práce. UHK.
- [4] BÍLEK, Jan a Jiří BAYER. *Základy automatizace pro učební a studijní obory středních odborných učilišť. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 169 s. ISBN 80-03-00570-1.*
- [5] TROCHTA, Ondřej. *Počítačová podpora automatického řízení CAAC* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.trochta.net/Download/Programovani/Synteza_Trochta_Bakalarika.pdf
- [6] VLČEK, Jiří. *Automatizace 4: SPŠE* [online]. 2008. [cit. 2015-06-02]. Dostupné z: http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=0CFIQFjAI&url=http%3A%2F%2Felektro.tzb-info.cz%2Fdownload.py%3Ffile%3Ddocu%2Ftexty%2F0001%2F000102_at4.pdf&ei=QH5sVZ6YDKfp7AaSziHYBw&usg=AFQjCNGEG6U8RFVowMEZn4ubKsrsOOEo8Q&sig2=CEL_N4gRxa2yloLEq_dfuA
- [7] BENEŠ, Pavel. *Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky* [online]. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014, 304 s. [cit. 2015-05-20]. ISBN 978-80-251-3747-5.
- [8] *Regulace* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Regul%C3%A1tor_%28automatizace%29
- [9] ŽALMAN, M. *PID regulátory* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://robotika.yweb.sk/skola/servopohony/prednasky/3%20pr.pdf>
- [10] JIČÍNSKÝ, Milan. *Realizace regulačních algoritmů na multifunkčním průmyslovém regulátoru KS 98 - 1*. Pardubice, 2013. Dostupné také z: http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/51647/2/JicinskyM_PrumyslovyRegulator_LK_2013.pdf. Bakalářská práce. UPCE. Vedoucí práce Ing. Libor Kupka, Ph.d.
- [11] *AUTOMATIZACE* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: http://www.nastavba-ne.unas.cz/Automatizace/ucebni_texty/Automatizace.pdf

- [12] GRITZ, Robert. *Využití elektrotechnické stavebnice MIKROLAB ve výuce*. Brno, 2010. Diplomová práce. MASARYKOVA UNIVERZITA [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z:
http://is.muni.cz/th/71377/pedf_m/Diplomova_prace_Robert_Gritz.txt
- [13] SCHLEGEL, M.: Nová metoda pro návrh PI(D) regulátoru –teorie pro praxi. *Automatizace* 41(1998), č. 9, s. 70-78.

Přílohy

Obsah:

2.1	Proporcionální člen	- 1 -
2.2	Integrační člen I.....	- 4 -
2.3	Derivační člen D-T1	- 7 -
2.4	PI člen	- 10 -
2.5	PID-T1 člen	- 12 -
2.6	Zpoždovací člen T1	- 15 -
2.7	Zpoždovací člen T2.....	- 16 -
2.8	Identifikace soustavy Motor-Generátor	- 17 -
2.9	P regulátor.....	- 19 -
2.10	I regulátor.....	- 21 -
2.11	PI regulátor.....	- 23 -
2.12	P regulátor soustava motor-generátor	- 25 -
2.13	I regulátor soustava motor-generátor	- 27 -
2.14	PI regulátor soustava motor-generátor	- 29 -
2.15	Porovnání regulace soustavy Motor-Generátor a modelové soustavy členu T1... -	31 -
2.16	Měření 1 - Zatížená soustava Motor-generátor s PI regulátorem	- 33 -
2.17	Měření 2 - Zatížená soustava Motor-generátor s PI regulátorem	- 35 -