

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Řízení fyzikální úlohy polohy kuličky programem Scilab

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Autor:

Bc. Martin Šteberl

Praha 2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Šteberl

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Řízení fyzikální úlohy polohy kuličky programem Scilab

Název anglicky

Physical position control of ball positioning by Scilab

Cíle práce

Cílem práce je realizace funkčního modelu regulačního obvodu fyzikální úlohy řízení kuličky na ploše. Regulátor bude řešen v programu Scilab.

Metodika

Tvorba zařízení fyzikálního modelu a provedení analýzy polohy kuličky pro realizaci různé dynamiky regulačního obvodu. Provedení realizace akčního členu pro ovládání táhla pohybu nakloněné plochy bludiště. Vytvoření a optimalizace regulačního obvodu, stanovení postupu konstant regulátoru. Definice požadované veličiny na celý rozsah možné polohy kuličky.

Doporučený rozsah práce

50stran, bez příloh

Klíčová slova

regulace, regulační obvod, měření polohy, Scilab, model

Doporučené zdroje informací

KREIDL, M. – ĎAĎO, S. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-01-02057-6.
LÁNÍČEK, R. *Elektronika: obvody, součástky, děje*. Praha: BEN – technická literatura, 1998. ISBN

80-86056-25-2.

ŠVARC, I. – VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. *Automatizace: automatické řízení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2943-7.

ZABLER, E. *Snímače v motorových vozidlech*. Praha: Robert Bosch odbytová s.r.o. – Automobilová technika [distributor], 2003. ISBN 80-903132-5-6.

ZEHNULA, K. *Snímače neelektrických veličin*. PRAHA: SNTL, 1983.

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 31. 1. 2019

Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Řízení fyzikální úlohy polohy kuličky programem Scilab vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom/a, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom/a, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

.....

Martin Šteberl

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat svému vedoucímu práce panu Ing. Miloslav Linda, Ph.D., za vedení a podporu v průběhu celého inženýrského studia, při zpracování diplomové práce a za cenné rady a věcné připomínky, které mi za dobu studia poskytnul. Dále děkuji celé katedře elektrotechniky a automatizace a také celé mé rodině a přátelům za psychickou podporu a věcné rady.

Abstrakt

Cílem práce je provedení rozboru možností řízení kuličky pomocí programu Scilab, výběr vhodného typu motoru a plochy pro řízení a realizace laboratorního přípravku pro výuku v laboratořích katedry elektrotechniky a automatizace.

V teoretické části jsem provedl rozbor automatizační techniky a možnosti řízení. Důraz byl kladen převážně na regulaci, typy automatických řízení a kritéria stability.

Praktická část je zaměřena na výrobu přípravku, aby splňoval kritéria zadání. Pro laboratorní přípravek je vybráno řízení pomocí stejnosměrných motorů, které budou ovládány H-můstkem. Ovládání přípravku je realizováno pomocí platformy Arduino, a programu Scilab. Platforma Arduino zajišťuje převážně hardwarovou část a program Scilab zajišťuje softwarovou část. Funkce přípravku byla otestována a byly vytvořeny návrhy cvičných úloh. Výsledkem této práce je funkční přípravek pro řízení polohy kuličky použitelný v laboratořích katedry elektrotechniky a automatizace.

Klíčová slova: regulace, regulační obvod, měření polohy, Scilab, model

Abstrakt

The aim of the work is to analyze the possibilities of ball control using the Scilab program, to select a suitable type of motor and area for control and realization of laboratory fixture for teaching in laboratories of the Department of Electrical Engineering and Automation.

In the theoretical part I made an analysis of automation technology and control options. Emphasis was placed mainly on regulation, types of automatic controls and stability criteria.

The practical part is focused on the production of the product to meet the criteria of the assignment. Control for DC is controlled by H-bridge. The preparation is controlled using the Arduino platform and the Scilab program. The Arduino platform provides mostly the hardware part and Scilab provides the software part. The function of the fixture was tested and suggestions of exercises were created. The result of this work is a functional tool for ball position control usable in the laboratories of the Department of Electrical Engineering and Automation.

Keywords: regulation, control circuit, position measurement, Scilab, model

Obsah

1. Uvod	1
2. Cíl práce.....	3
3. Metodika práce	4
4. Teoretická východiska	5
4.1. Regulace	6
4.2. Logické řízení	7
4.2.1. Logické funkce	7
4.3. Lineární řízení	8
4.4. Nelineární řízení	10
4.5. Diskrétní řízení.....	11
4.6. Mechanické řízení	13
4.7. Elektrické řízení	14
4.8. Servomechanismy	15
4.9. Regulační obvod	16
4.10. Stabilita regulačního obvodu	18
4.10.1. Kritéria stability	19
4.10.2. Hurwitzovo kritérium stability.....	20
4.10.3. Nyquistovo kritérium stability.....	20
4.11. Frekvenční přenos	21
5. Praktická část práce.....	23
5.1. Řízení motorů	23
5.1.1. Řízení stejnosměrných motorů	23
5.2. Realizace řízení motoru.....	26
5.2.1. Arduino	26
5.2.2. Scilab	28
5.3. Návrh zapojení	31
5.3.1. Návrh pracovní desky pro pohyb kuličky	32
5.3.2. Pomocné materiály pro motory	33
5.3.2.1. Program Ansys.....	34
5.3.2.2. Program Autodesk Inventor	36
5.3.3. Sestava bludiště.....	38
5.4. Programování	39
5.4.1. Program Arduino	39
5.4.2. Program Scilab.....	40
6. Zhodnocení výsledků.....	43

7.	Závěr.....	51
8.	Použitá literatura.....	52
9.	Seznam Obrázků.....	54
10.	Seznam Grafů.....	55
11.	Seznam tabulek.....	56
12.	Seznam příloh.....	57

1. Uvod

Automatické řízení patří do vědního oboru kybernetika. Za počátek vzniku kybernetiky je považován rok 1948, kdy vyšla kniha od amerického matematika Norberta Wienera „Cybernetics or control and communication in the animal and the Machines“. Zde autor definuje kybernetiku jako vědu zabývající se analogiemi mezi procesy řízení a sdělování v živých organismech a strojích. Slovo kybernetika ze starověké řečtiny, kde Kybernétés znamená kormidelník nebo také lodivod. V uvedené knize se Wiener zaměřil na využití zpětné vazby v řídicí technice a na analogie procesů, které probíhají v technologických zařízeních a přírodě. Dnes je kybernetika používána šířeji, jako věda o obecných principech vzniku přenosu, zpracování a uchování informace v živých a neživých systémech a o zákonitostech těchto systémů.[1]

Kybernetika se zajímá o typy vztahů mezi prvky systémů a vztahů mezi systémy a okolím, které jsou informačního obsahu. V případě hmotných kybernetických systémů jsou podněty neboli vstupy, reakce neboli výstupy a vztahy mezi těmito prvky vždy signálního charakteru a tvoří tak takzvané signální cesty. V teorii řízení největší význam mají informační vazby, které prvkům předávají informace ve směru orientace dané strukturou.[2]

U studia složitých jevů v technice a ve vědě se využívá modelu jevů. Model má na starosti vyjadřování těch stránek daného jevu, které jsou z hlediska zkoumání a studia pro daný jev důležité. Využívá se tady při tom vzájemné analogie. Vytvoří-li se umělý systém, u kterého bude chování podobné chování původního systému potom lze říct, že umělý systém je shodný s modelem původního systému. Tvorba takového modelu se nazývá modelování. Během tvorby vybraného modelu dochází z hlediska přesnosti k takzvané redukci vzhledem k původnímu systému. U teorie automatického řízení hraje roli s největším významem redukce systému na vlastní matematický model, který lze označit jako identifikace. [2]

Pro interpretaci výsledků se využívá zpětné podobnosti z matematického modelu na systém. Tyto činnosti se nazývají simulace. Znalost přesného matematického modelu může být ve většině reálných případech nemožný a také zbytečný. Matematický model zkoumaného systému musí však umožňovat kvantitativní, ale i kvalitativní analýzu chování. To znamená

analýzu jeho statických i dynamických vlastností. Zkoumaný systém lze poté identifikovat analyticky nebo empiricky. [2]

2. Cíl práce

- Realizovat rozbor dané problematiky.
- Rozebrat problém automatizace a automatizovaného řízení.
- Návrh plochy, po které se bude kulička pohybovat.
- Vybrat správné komponenty na řízení kuličky.
- Sestavit funkční model plochy na odladění.
- Sestavit vhodný program na odladění.
- Řídit pohyb kuličky po nakloněné rovině
- Rozbor výsledků.

3. Metodika práce

Tvorba zařízení fyzikálního modelu a provedení analýzy měření polohy vodivé kuličky pro realizaci různé dynamiky regulačního obvodu. Provedení realizace akčního členu pro ovládání táhla pohybu nakloněné desky. Vytvoření a optimalizace regulačního obvodu, stanovení postupu konstant regulátoru. Definice požadované veličiny na celý rozsah možné polohy kuličky.

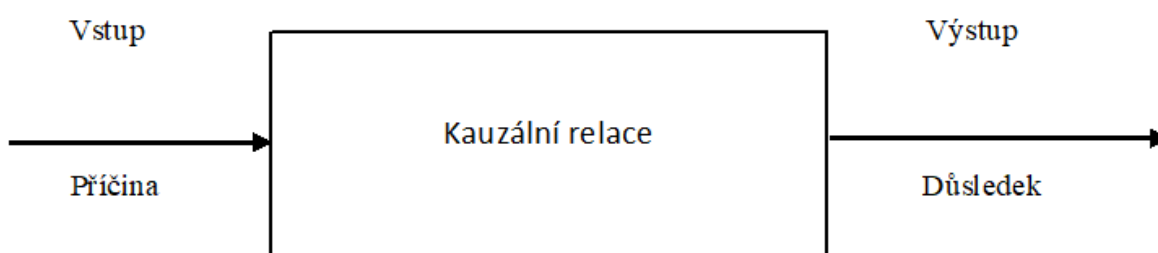
4. Teoretická východiska

Řízení je takové působení na objekt, s cílem přinutit objekt k určité činnosti od něj požadované. Je to tedy proces, u kterého je řízené zařízení ovlivňováno vybranými řídicími signály. Řízení lze charakterizovat jednosměrnými řídicími signály, které jsou nekorigované stavem řízeného procesu. Řídicí signály poté působí na stroj nebo zařízení řídicí jednotky, ale nejsou průběžně korigovány dle stavu řízeného procesu. Například při řízení posuvu je stroj posouván pomocí pohonu. Zde se nastavuje napětí $U_M [V]$ na motoru posuvu. Motor dále tvoří spolu s pohybem stroje řízený systém. Vzdálenost, kterou řízený stroj urazí je zde řízená veličina. Pojem řízení se dá použít v několika významech. U mnohastupňového nepřímého řízení lze aby pojem řízení zahrnoval jen jeho nejvyšší úroveň. To může být například komunikace člověka s řídicím počítačem neboli příslušným řídicím program. [3]

Použitý pojem objekt značí subjektem (člověkem) vyčleněnou část okolního světa, např. stroj, technologické zařízení apod. Chce-li se zdůraznit, že řízení se děje bez hlavní účasti člověka, pak se používá pojem automatické řízení. Pro proces náhrady fyzické práce člověka technickými prostředky se používá pojem mechanizace. Proces náhrady fyzické i řídicí práce člověka technickými prostředky se nazývá automatizace. [1]

Řízení se pak dále dá dělit podle typu řídicích signálů. Tyto signály se rozdělují na analogové, binární a číslicové řízení. Pro řízení analogovým signálem se používají spojitě působící signály. Ty jsou svým časovým průběhem analogovým obrazem neboli vzorem řízené veličiny. K jedním z nejdůležitějších prvků u analogových řídicích systémů patří převody, kotoučové vačky, analogové a operační zesilovače, ventily, motory. Řízení binárních systémů lze uskutečnit pomocí binárních neboli dvouhodnotových signálů. Binárními signály se rozumí takové signály, které jsou časovým sledem dvou různých hodnot nebo stavů. Mezi takové vztahy patří například hodnoty ZAPNUTO a VYPNUTO, VODIVÝ a NEVODIVÝ (např. tranzistor), NABITÝ a VYBITÝ (např. kondenzátor paměti) nebo symbolicky 1 a 0. V praxi většina řídicích systémů pracuje se spínacími signály. Tyto řídicí systémy se tedy považují za binární řídicí systémy. U číslicového řízení lze řídicí signály nastavovat pomocí čísel, jako jsou například zapínání a vypínání spotřebičů (např. motory), přepínání směru otáčení motoru (pomocí změny polarit napájecího napětí) nebo řízení směru pohybu obráběcího stroje pomocí krokového motoru. Tato dráha je analogová (spojitá) veličina, může být tedy řízena číslicovým signálem. [3]

Aby se objekt mohl úspěšně řídit, musí se dobře odhadnout jeho chování pro různé strategie řízení neboli poznat kauzální relace. Ty popisují podstatné vazby mezi příčinami a důsledky. Hledání podstatných kauzálních relací modelu pro daný účel se nazývá identifikace. Nejčastěji se jedná o hledání matematického modelu pro účel syntézy řízení. Kauzální relace lze znázornit pomocí bloku s vyznačeným vstupem (příčina) a výstupem (důsledek), viz obr. 1. Vždy musí být splněn axiom kauzality, tj. následky nemohou předbíhat své příčiny. [1]



Obr. 1 Kauzální reakce [1]

4.1. Regulace

Regulace je takový typ procesu, který udržuje určité fyzikální veličiny na požadovaných hodnotách nebo v požadovaných mezích, (stabilizuje tuto veličinu). Regulace se provádí takzvanými regulátory. Regulaci lze spatřit v nejrůznějších systémech. V těchto systémech dochází k interakci s okolím (např. v řídicí technice, přírodě, ve společnosti). Automatickým řízením a regulací se v technice zabývá kybernetika. Kybernetika je interdisciplinární obor vzniklý ve 40. letech 20. století. Za zakladatele kybernetiky je považován Norbert Wiener. [2]

Základním principem regulace je, že se hodnoty regulovaných veličiny měří a porovnávají s požadovanou referenční hodnotou, a jejich rozdíl (zvaný jako regulační odchylka) se používá pro ovlivňování soustavy. Cílem pak je, aby se regulační odchylka zmenšovala. Protože regulace působí proti odchylce od požadované hodnoty, jedná se o zápornou zpětnou vazbu. [1]

Regulace se provádí takzvanými regulátory. Regulátor je zařízení pro ovlivňování regulovaného systému, automatizovanou regulaci a k dosažení a následnému udržení jeho požadovaného stavu. Vstupem regulátoru nebývá obvykle přímo sledovaná veličina, ale jen odchylka od požadované hodnoty. Regulátor pak reguluje systém s cílem úplné eliminace odchylky nebo jeho regulační zásahy odchylku udržet alespoň v předepsaných mezích.

Regulátor umí číst stavy daného systému přímo, anebo jsou-li nedosažitelné, si je umí rekonstruovat vlastním modelem. Teorie řízení se zabývá modelováním systémů a jejich regulátorů. Regulátor je na systém připojen přes vstupní a výstupní převodníky. Regulace se provádí při čtení systému v čase, je tedy spojitá, nebo diskrétně vzorkovaná. Zásahy do systému mohou být taky analogové, nebo digitální, stupňovité. [1]

4.2. Logické řízení

Logické řízení je činnost, při níž se logickým obvodem zpracovávají informace o řízeném procesu a podle nich ovládají příslušná zařízení tak, aby se dosáhlo předepsaného cíle. Logický obvod je fyzikální systém, který lze charakterizovat logickými prvky propojenými mezi sebou logickými veličinami.[4]

Logická proměnná je veličina, která může nabývat pouze dvou hodnot označovaných 0 a 1, kde tyto hodnoty mohou vyjadřovat stavy systému, např. vypnuto/zapnuto. Logická funkce je závislost výstupní logické proměnné na kombinaci nebo sekvenci kombinací vstupních logických proměnných. Logická funkce se dá rozdělit na kombinační logickou funkci a sekvenční logickou funkci.[1]

4.2.1. Logické funkce

Logické veličiny nebo také logické proměnné mohou nabývat konečného počtu hodnot. Na nich je založena logická algebra, tj. soustava pravidel, určených k popisu vztahů mezi logickými proměnnými. Tato pravidla popisují nejčastěji logické operace – vlastní úkony logické algebry. Nejčastěji vyskytující se logické veličiny v technice jsou dvouhodnotové proměnné, které nabývají pouze dvou hodnot (0 nebo 1). Logická algebra založená na dvouhodnotových veličinách se nazývá také Booleova algebra.[4]

Nejjednodušší případ jsou logické funkce o jedné proměnné, viz. tab 1. První je pro libovolné x rovna 0 a nazývá se falsum. Druhá má vždy opačnou hodnotu x než y a nazývá se negace. Třetí má pro x stejnou hodnotu jako y a nazývá se aserce. Čtvrtá má pro všechna y rovna 1 a nazývá se verum.[4]

Tab. 1 Logické funkce jedné proměnné [4]

Falsum		Negace		Aserce		Verum	
Y	X	Y	X	Y	X	Y	x
0	0	0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	1	1	0

Logický funkcí o dvou proměnných je celkem 16, ovšem všech 16 se běžně nepoužívá a proto budou vysvětleny pouze čtyři nejčastější funkce. Jsou to funkce AND jde o logický součin, OR jde o logický součet, NAND jde o negaci logického součinu a NOR jde o negaci logického součtu, viz tab. 2.[4]

Tab. 2 Logické funkce o dvou proměnných [4]

AND			OR			NAND			NOR		
X1	X2	Y	X1	X2	Y	X1	X2	Y	X1	X2	Y
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0

4.3. Lineární řízení

Reálné systémy jsou ve skutečnosti z většiny nelineární. Řízení se ale zabývá rozborem, zda lze nelinearitu odstranit, tj. zda se nelineární systém může popsat lineárním matematickým

modelem a pro dané řešení použít vhodných metod teorie lineárních regulačních obvodů. Je-li nelinearita neodstranitelná poté je nutné pro řešení použití metod teorie nelineárních regulačních obvodů. Jelikož se s nelineárními modely se pracuje výrazně obtížněji než s lineárními, je snahou tyto nelineární modely nahradit lineárními modely, tj. nelineární modely linearizovat za použití totálního diferenciálu. Můžou se linearizovat jak statické, tak i dynamické vlastnosti vybraného systému. Musí se však zavést a potom i dodržet dané předpoklady, nejčastěji sem patří vymezen pracovní oblasti v blízkosti okolí pracovního bodu systému.[2]

Úkolem spojitého řízení neboli regulace je nastavení technických veličin (teplota, výška apod.) na požadovanou hodnotu a udržovat je na této hodnotě i při působení poruch. Regulace se uskutečňuje v regulačním systému zvaném regulační obvod. [4]

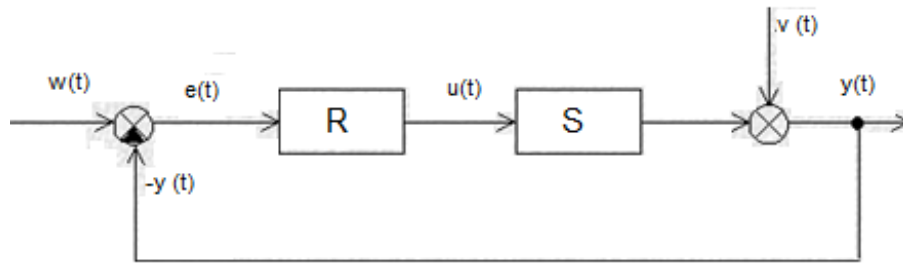
Podle závislosti regulované veličiny rozeznáváme několik druhů regulace.

V praxi je nejčastějším způsobem regulace na konstantní hodnotu. Regulovaná veličina je tady držena na jedné konstantní hodnotě, v praxi se používá např. pro teplotu v místnosti, otáčky strojů apod. viz. Obr 2.[4]

Dalším ze způsobů regulace je programová regulace. Je to taková regulace, kde požadujeme, aby se regulovaná veličina měnila v předepsaných velikostech v předepsané časové závislosti. Příkladem je regulovaná teplota v pecích. [4]

Poslední případem regulace je regulace vlečná. Je to regulace, při níž se regulovaná veličina mění v závislosti na jiné vnější fyzikální veličině. Hodnota regulované veličiny má změny této vnější veličiny rychle a přesně sledovat. Příkladem může být dávkování chemikálie do vody. [4]

Vlečná regulace se může dále oddělit na servomechanismy, což jsou zvláštní typy vlečné regulace. U ní se řídicí veličina nemění v závislosti na jiné fyzikální veličině, ale je měněna ručně nebo nějakým zařízením. Regulovaná veličina jí pak věrně a přesně sleduje. Příkladem takového servomechanismu je posilovač řízení v automobilech. U servomechanismů ovšem není rozdělení na regulátor a regulovanou soustavu. [4]



Obr. 2 Blokové schéma zpětnovazebného lineárního regulačního obvodu

w – žádaná veličina;

e – regulační odchylka;

y – regulovaná veličina;

v – poruchová veličina;

u – akční veličina;

S – regulovaná soustava;

R – analogový regulátor;

4.4. Nelineární řízení

Obecně se dá říct, že řízené systémy neboli regulované soustavy, se kterými se v praxi dá setkat, mají vlastnosti nelineárního dynamického systému. V lineárním řízení se předpokládá, že statické charakteristiky nelineárních dynamických systémů se dají linearizovat, a tím se dynamické vlastnosti členů a jejich obvodů dají vyjádřit za pomoci lineárních diferenciálních rovnic s konstantními koeficienty. U takových to případů se hovoří o nelineárních dynamických systémech s odstranitelnou nelinearitou. To znamená, že se okolí pracovního bodu v nelineární statické charakteristice řízeného systému může nahradit příslušnou lineární funkcí. Tento předpoklad umožňuje použití lineární teorie regulace, což je podrobně propracována teorie a tím podstatně zjednodušuje analýzu i syntézu nelineárních regulačních obvodů. [4]

Často lze v regulačních obvodech spatřit jevy, které se znalostmi lineární teorie nedají vysvětlit. Například v regulačním obvodu se objevují trvalé kmity o stálém kmitočtu a amplitudě, které lze udržet v obvodě i bez působení vnějšího budícího periodického signálu. Amplituda a kmitočet těchto kmitů je dána pouze parametry obvodu, a tedy nezávisí zde na

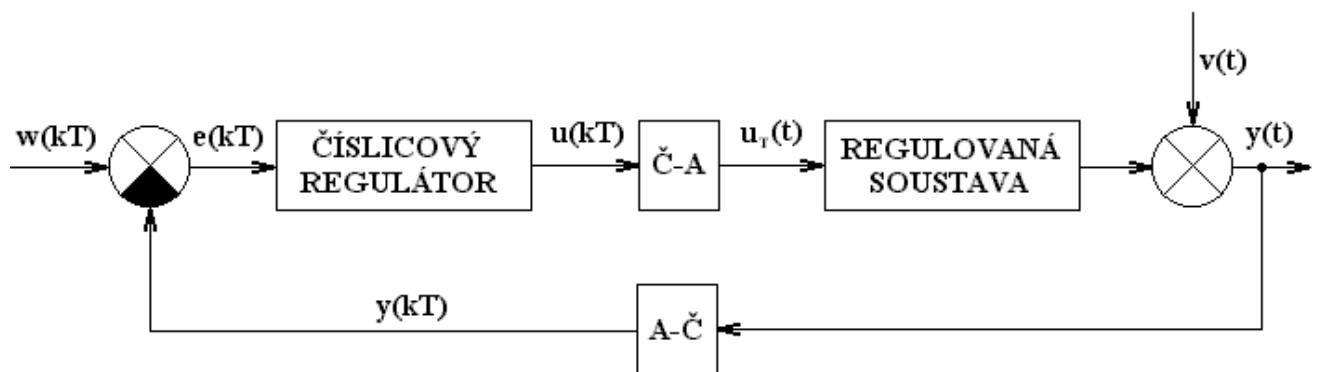
počátečních podmínkách. Hovoří se tady o zvláštním případě, neboť u nelineárních regulačních obvodů během řešení stability, se obecně musejí respektovat nejen dané parametry regulačního obvodu, ale také počáteční podmínky vlastního přechodového děje. Dalším z jevů vyskytujících se v nelineárních řízených systémech je tzv. ferorezonance neboli skoková rezonance. Tu lze spatřiv v elektrických rezonančních obvodech s nelineární indukčností. Takový to jev lze pozorovat například u mechanické soustavy s nelineární charakteristikou pružiny. [5]

Jelikož u nelineárních obvodů neplatí princip superpozice, není tedy možné k řešení těchto obvodů použít Fourierovu ani Laplaceovu transformaci. Důsledkem toho, se pro řešení nelineárních obvodů nedají použít ani kmitočtové metody. Je možné se však setkat s metodou ekvivalentních přenosů, která vychází z metody harmonické rovnováhy. Tato metoda má empirický charakter a je tedy založena na intuitivním pojetí vlivu nelinearit na dynamické vlastnosti regulačního obvodu. [4]

4.5. Diskrétní řízení

Jako diskrétní regulační obvod lze brát takový obvod, ve kterém je alespoň jedna z veličin, která má tvar posloupnosti diskrétních hodnot, a které se vytvářejí v určitých pravidelně se opakujících intervalech vzorkování a okamžicích $T[s]$. Obvykle diskrétní regulační obvod využívá k výpočtu akční veličiny a číslicový počítač. Existují ale i takové typy regulačních obvodů, které ke svojí činnosti číslicový počítač nevyužívají, ale i přesto je podle uvedené definice lze považovat za obvody diskrétní. Těmto obvodům se říká impulzní regulační obvody. [4]

Diskrétní regulační obvod (Obr. 2) lze znázornit blokovým schématem, které se skládá ze spojitě pracující regulované soustavy, nespojitě pracujícího číslicového regulátoru, číslicově-analogového převodníku (Č-A) a analogově-číslicového převodníku (A-Č) viz. Obr. 3. [13]



Obr. 3 Obecné blokové schéma lineárního diskrétního regulačního obvodu [13]

w – vstupní veličina (kT);

e – regulační odchylka (kT);

u – akční veličina (kT);

u_r - tvarovaná akční veličina (t);

v – poruchová veličina (t);

y – výstupní veličina (t, kT);

T - vzorkovací perioda;

k - diskrétní čas ($k = 0, 1, 2, \dots$);

Č-A – číslicově analogový převodník;

A-Č - analogově číslicový převodník;

Regulovaná soustava je vždy spojitá. Při řešení diskrétních regulačních obvodů se dají použít dva postupy:

- **předsunutí A-Č** – Tyto převodníky lze uvažovat jako součást regulátoru, pak se pracuje s regulátorem, který se může považovat za kvazianalogový. Tento postup je možný využít při malé vzorkovací periodě. Až 80% všech číslicových regulačních obvodů se dá převést na spojitě regulační obvody.

- **podsunutí A-Č** – Tyto převodníky se přidávají k regulované soustavě, která se považuje jako diskretní. Jestliže se dá A-Č za regulovanou soustavu, považuje se obvod za diskretní. Tento postup lze hlavně využít u velkých vzorkovacích period. Zde se používá Z-transformace, kterou lze považovat za dosti složitá. Nedochozí ke zkreslení informace.

V současné době se stále více projevuje nutnost řídit rozsáhlé soustavy. Nutností dálkových přenosů velkých množství informací, následné jejich ukládání, zpracování a opětné obnovení používáním impulzních systémů. K tomu by měly být využívány právě číslicové počítače. Nasazení číslicových počítačů pro řízení představuje dnes trend v rozvoji automatického řízení. [4]

4.6. Mechanické řízení

Mechanické zařízení je složeno z pák, převodů, spojek, kotoučových vaček a dalších mechanických prvků určené pro mechanické řízení. Charakteristiky mechanického řízení lze shrnout následovně: pohonná energie je dodána např. elektromotorem do přestavitelných převodů, u kterých je možné při ovládání hydraulickými, mechanickými, pneumatickými nebo elektrickými signály měnit otáčky, směr otáčení a dobu otáčení hnané soustavy. [6]

Během stupňovaných převodů jsou řídicí signály převedeny pomocí spojek a v stupňovitě přestavitelných převodech jsou převedeny přes zvláštní nastavovací prvky. Na hnané ose neboli výstupní hřídeli ve vícestupňové převodovce je poté k dispozici předávaný výkon pro řízení otáček. Bude-li nutnost převodu otáčivého pohybu na lineární, je zde možné použití několika převodů. Mezi tyto převody patří hřebenový převod nebo přesný šnekový převod pomocí kuličkového šroubu, který se využívá převážně u pohonu posuvů NC obráběcích strojů. K přesnému převodu rotačního pohybu na rovnoměrný lineární pohyb s malým třením lze použít kuličkový šroub. Kuličkový šroub je typ dlouhého šroubu, který se otáčí v posunované matici s kuličkami, ta je pak kuličkovým ložiskem se šroubovitou drážkou. Jestliže je třeba aby lineární pohyb probíhal nerovnoměrně neboli proměnou rychlostí, (například pro rychlý přesun stroje do výchozí polohy, který je následovaný pomalým pracovním pohybem u obráběcích

nástrojů), je zde možné použití vačkových nebo pákových mechanismů. Vačkový mechanismus se používá i pro několik signálů (např. mechanický program automatické pračky). [6]

Pomocí přestavitelných mechanických převodů neboli převodovek je možné měnit a tím i řídit směr otáčení, otáčky (frekvenci otáčení) a točivý (rotační) moment pohybu. Během konstantního výkonu se tady mění točivý moment v opačném poměru než otáčky. Tento stav lze vyjádřit vztahem: $M \approx \frac{1}{n} [\text{Nm}]$. Vztahy mezi točivým momentem a otáčkami umožňuje graficky znázornit křivka nepřímé úměrnosti neboli rovnoosá hyperbola. Stupňové převodovky lze dělit na řemenové převodovky nebo ozubené převodovky. K přenosu síly využívají stupňové řemenové převodovky řemenů a řemenic. K přenosu sil ve stupňových ozubených převodovkách se využívají síly přímo mezi ozubenými koly. Směry otáčení a otáčky se v automatických převodovkách mění pomocí spojek a brzd. [6]

4.7. Elektrické řízení

Elektrické řídicí systémy se skládají z elektrického nastavovacího členu (např. servomotoru) a z elektrické řídicí jednotky. Nejjednodušším elektrickým řízením je např. spínačem ovládaný elektromotor, který pracuje jako pohon posuvu u obráběcího stroje. Tento typ motoru se spínačem řídí průběh nejjednodušším způsobem, a lze ho vypnout nebo zapnout. K elektrické řídicí jednotce patří navíc bezpečnostní a zobrazovací zařízení, jako může být například hlídání teploty a signalizace žárovkami. Je-li řízení uskutečňováno spínáním elektrických kontaktů, mluví se o kontaktním řízení. V opačném případě se mluví o bezkontaktním řízení nebo také o elektronickém řízení. [3]

Mezi nejdůležitější prvky elektrického kontaktního řízení patří spínací přístroj, ukazatele, spojovací vodiče a zástrčky. Pro přehledné zobrazení řídicího systému se využívá schéma zapojení. Ve schématech se nacházejí konstrukční prvky, které se zobrazují normovanými funkčními symboly, značky pro elektrická schémata nebo také schematické značky. Schematické značky pro spínací přístroje se zobrazují v klidovém stavu kontaktů. Tyto kontakty lze z klidového stavu (sepnutého nebo rozepnutého) uvést do aktivního stavu několika způsoby.

Může to být například: prstem (tlačítko), vačkou nebo narážkou (koncový spínač) nebo elektromagnetem (stykač, relé, krokový spínač) nebo při dálkovém ovládní. [3]

Pro spínací přístroje se rozlišují spínací kontakty, které jsou sepnuty a vedou proud v aktivním stavu a v klidovém stavu jsou rozpojeny a tím přerušují proudový obvod a dále rozpínací kontakty, které jsou v aktivním stavu rozpojeny a přerušují proudový obvod a v klidovém stavu jsou sepnuty a vedou proud. Podle druhu návrhu spínacího přístroje do výchozího stavu se rozlišuje tlačítkový spínač, zámkový vypínač nebo volicí spínač. Spínač však dokáže současně spínat, rozpínat i přepínat vícero kontaktů jako je tomu například u relé. Tlačítkový spínač je ale v aktivním stavu jen během doby trvání aktivačního signálu, jako například u tlaku prstu na tlačítko nebo procházejícího proudu v cívice relé. Změna tohoto stavu (pro sepnutí, rozpojení nebo přepnutí) se dá uskutečnit změnou vybrané polohy pohyblivého kontaktu, např. tlakem na tlačítko nebo klávesu. Jedno tlačítko může ovládat i vícero kontaktů, např. 3 spínací a 3 rozpínací. [3]

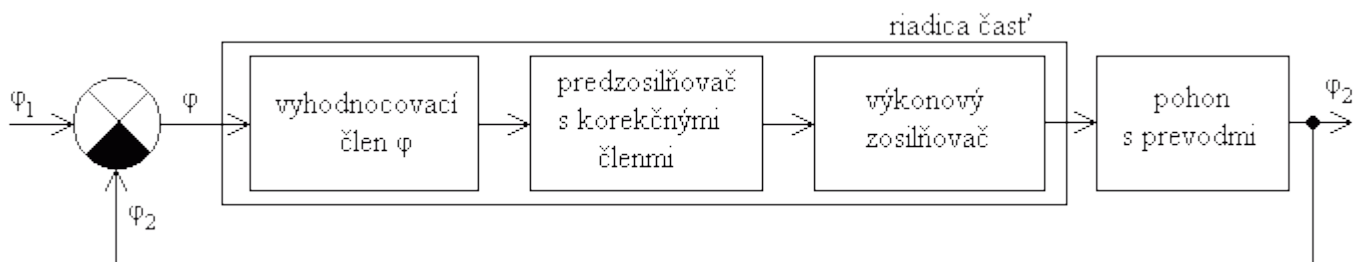
4.8. Servomechanismy

Servomechanismy jsou zvláštním typem regulačních obvodů, sloužící pro řízení rychlosti a polohy. Jsou to zařízení, kterými je možné změnit polohu vstupní veličiny (např. natočení hřídele nebo mechanické posunutí), pro kterou je třeba vynaložení nepatrné síly a převedení této síly na odpovídající změnu polohy výstupní veličiny, která může představovat velkou zátěž. Cílem činnosti servomechanismů je rychlé a přesné sledování změn vstupních veličin veličinami výstupními. Proto se hodnoty výstupních veličin neustále srovnávají s hodnotami veličin vstupních a jejich rozdílem je poté ovládána činnost servomechanismů tak, aby byl tento rozdíl minimální. Servomechanismus lze charakterizovat přítomností říditelného zdroje energie a přítomností zpětné vazby. Lze si všimnout, že má všechny znaky regulačního obvodu.

Servomechanismy využívají ke své činnosti pneumatických, hydraulických a elektrických zařízení které jim umožňují zesilovat jednoduché prostředky malé řídicí síly. Základní části servomechanismů jsou:

- řídicí část (páka, sledovací dotyk, regulátor otáček atd.);
- pracovní část – pohon;
- zesilovací systém;
- zpětná vazba – porovnává pohyb řídicí a pracovní části a v požadované poloze zastavuje, viz. Obr 4.; [7]

Všechny typy servomechanismů začínají působit až při určitém rozdílu polohy řídicí a řízené části. Snahou u servomechanismů tedy je, aby se tento rozdíl co nejvíce zmenšil, a tím bude servomechanismus nejcitlivější. Jejich úkolem není jen snížení námahy obsluhy zařízení, ale i zvýšení produktivity práce, přesnosti výroby a spolehlivosti provozu. Servomechanismy lze nalézt v průmyslu, dopravě, ve vojenské technice a kosmonautice. [7]

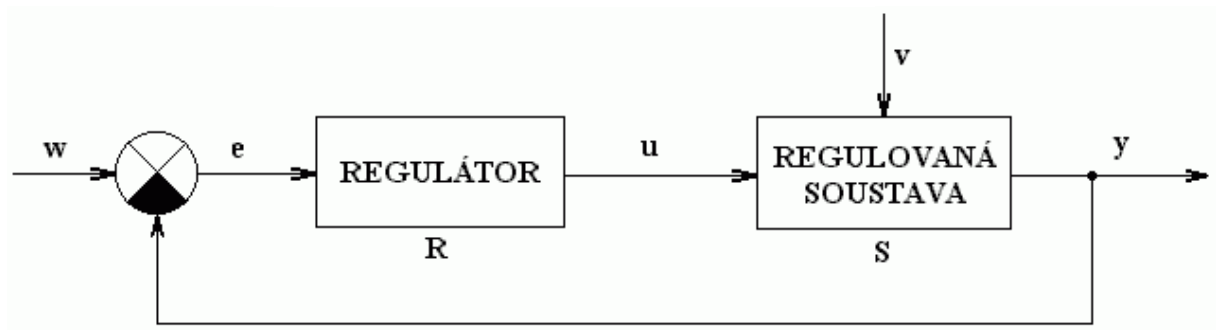


Obr. 4 Bloková schéma servomechanismu [16]

4.9. Regulační obvod

Regulační obvod vzniká připojením regulátoru k regulované soustavě. Výstupní veličinou regulačního obvodu je požadovaná regulovaná veličina $y(t)$. Vstupní veličinou je pak řídicí veličina $w(t)$ a také poruchové veličiny, např. $v_1(t)$, která působí na vstupu regulované soustavy a $v_2(t)$, která vstupuje do regulované soustavy v průběhu řízeného technologického procesu. Obecně mohou být tyto poruchové veličiny kladné nebo záporné. To závisí podle toho, jak se při jejich působení mění regulovaná veličina. Rozdíl mezi $w(t)$ a regulovanou veličinou vytváří regulační odchylku $e(t)$ jako vstupní signál regulátoru: $e(t) = w(t) - y(t)$ viz. Obr. 4. [8]

Z fyzikálního hlediska regulátor pracuje tak, aby co nejvíce zmenšoval, popřípadě a úplně nejlépe odstranil regulační odchylku tak, že by měl mít signál výstupní veličiny opačné znaménko než signál vstupní veličiny (akční zásah jde proti regulačnímu zásahu). Regulátor se ve všech rovnicích i přenosech považuje jako člen s kladným výstupem, protože mění smysl signálu. Je to typ dohody, kdy se změna znaménka přesune do jiného místa regulačního obvodu. Dále se musí respektovat nepsaná dohoda, že všechny přenosy otevřených regulačních obvodů mají mít rovněž kladný smysl (znaménko), jako jsou v sérii řazené dva kladné členy – regulátor a regulovaná soustava viz. Obr 5. [8]



Obr. 5 Regulační obvod [9]

w – řídicí veličina;

e – regulační odchylka;

u – akční veličina;

v – poruchová veličina;

y – regulovaná veličina;

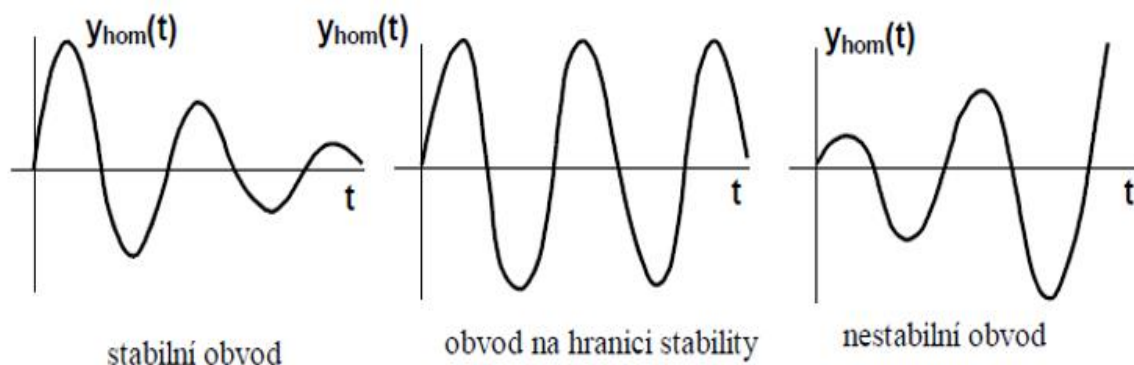
R – regulátor;

S – regulovaná soustava; [9]

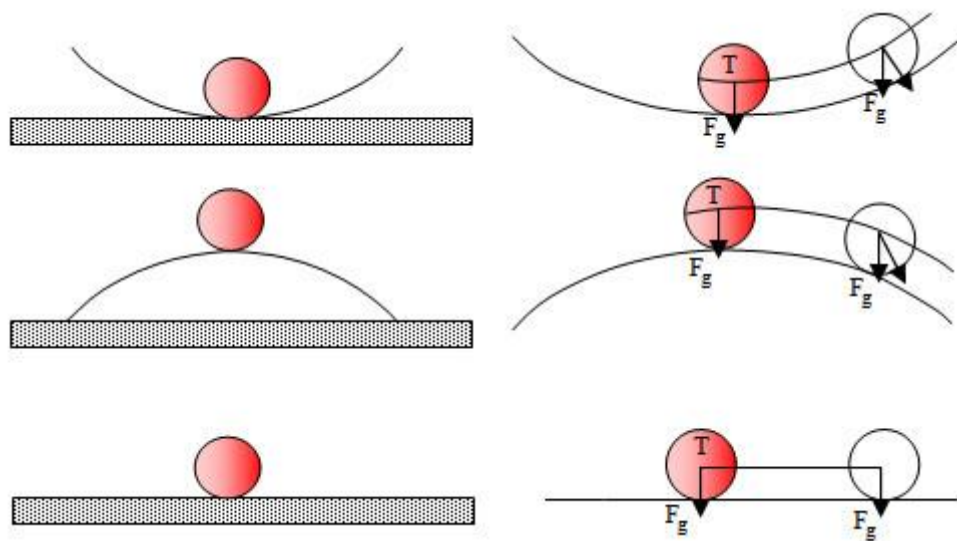
4.10. Stabilita regulačního obvodu

Stabilita je jednou za základních a nevyhnutelných podmínek pro to, aby regulační obvod fungoval správně. Regulační obvod je stabilní, jestli že se po vychýlení z rovnovážného stavu a odstranění vzruch (který vychýlení z působil), je schopen se ustálit v rovnovážném stavu viz. Obr. 6, 7. [4]

Při řízení je snaha udržet regulační obvod v rovnovážném stavu, který je optimální z hlediska technologického, ekonomického ale i z hlediska životního prostředí. Působení vlivů poruch a změn na žádané hodnoty dochází k vychýlení systému z rovnovážného stavu. Cílem řízení tedy je udržet regulované veličiny v původním stavu, případně v novém stavu. Původní stav nemusí být stejný jako nový stav. [1]



Obr. 6 Stabilita regulačního obvodu [10]



Obr. 7 Stabilita regulačního obvodu pomocí kuličky [11]

A = stabilní stav;

B = nestabilní stav;

C = mez stability;

F_g = Síla v těžišti;

4.10.1. Kritéria stability

Pro posouzení stability lineárních dynamických systémů bez hledání kořenů charakteristické rovnice se používají algebraická a křivková kritéria stability. Proto byla sestavena matematická kritéria, která umožňují z charakteristické rovnice určit, zda jsou její kořeny se zápornou reálnou částí či nikoliv. Tím lze stabilitu obvodu řešit bez řešení charakteristické rovnice. [2]

Mezi algebraická kritéria stability patří Hurwitzovo kritérium stability, pracujícím na kladnosti determinantů a mezi křivková kritéria stability patří Nyquistovo kritérium stability, pracujícím na frekvenční charakteristice rozpojeného obvodu. Kritérií stability je mnohem více, ovšem tyhle dvě patří mezi nejpoužívanější z nich. [4]

4.10.2. Hurwitzovo kritérium stability

Jedná se o algebraické kritérium stability vycházející z charakteristického polynomu uzavřeného regulačního obvodu. Máme-li charakteristickou rovnici u níž je splněna nutná ale nepostačující podmínka stability, tj. existence a kladnost všech koeficientů (Stodolova podmínka), utvoříme z těchto koeficientů matici n -tého stupně ze které dostaneme determinant viz. Obr. 8, který se nazývá Hurwitzův determinant. [4]

$$D_H = \begin{vmatrix} a_1 & a_0 & 0 & 0 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & a_0 & 0 \\ a_5 & a_4 & a_3 & a_2 & a_1 \\ 0 & 0 & a_5 & a_4 & a_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_5 \end{vmatrix}$$

Obr. 8 Hurwitzova matice [14]

Z výše uvedeného determinantu se musejí pro každý řád vypočítat subdeterminanty:

$$\Delta_1 = a_1$$

$$\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3$$

Hurwitzovo kritérium: obvod je stabilní, když determinant H_n a všechny subdeterminanty H_{n-1} až H_1 jsou kladné. Je-li některý z determinantů nulový, obvod je na mezi stability. [4]

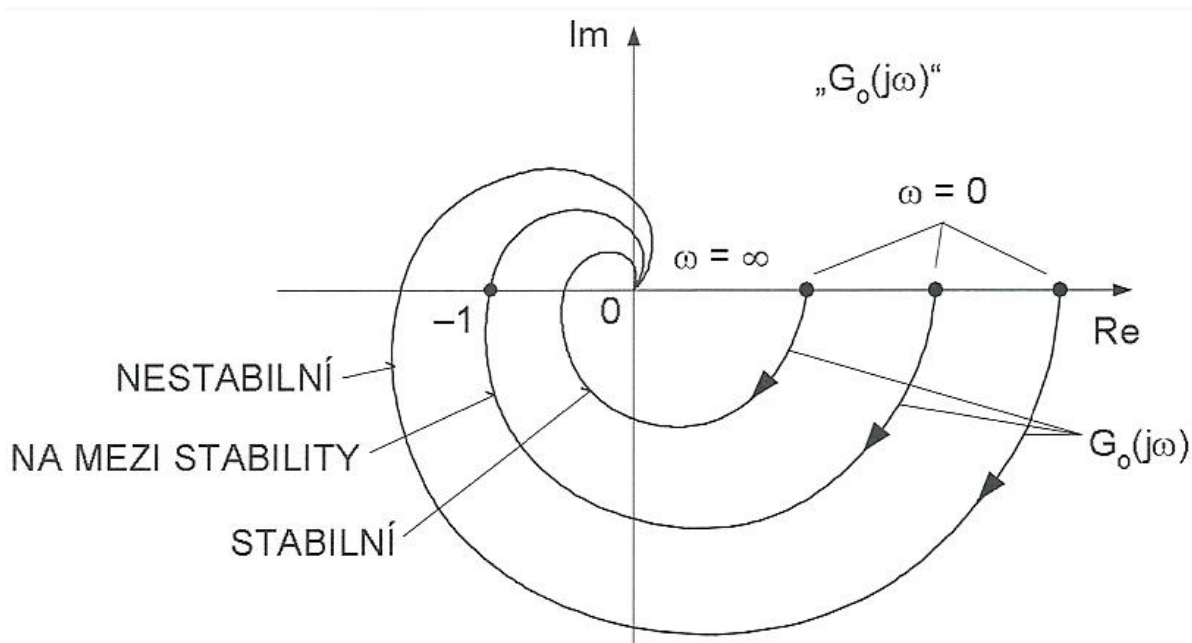
4.10.3. Nyquistovo kritérium stability

Jedná se o křivkové kritérium stability. Je to frekvenční kritérium, které je založeno na znalosti průběhu frekvenční charakteristiky rozpojeného obvodu. Může být použito i pro regulační obvody s dopravním zpožděním, kde nelze použít algebraických kritérií. Výhodou

tady je, že nemusíme znát ani analytický tvar přenosu rozpojeného obvodu, stačí zde experimentálně získaná frekvenční charakteristika. A proti algebraickým kritériím má přednost v tom, že stabilitu zkoumáme nejen z hlediska kvantitativního ale i z hlediska kvalitativního, což znamená, jak dalece je obvod stabilní. [4]

Kritérium vychází z přenosu rozpojeného regulačního obvodu, který si můžeme vyjádřit ve tvaru podílů polynomů. $G_0(s) = G_r(s)G_s(s) = \frac{M(s)}{N(s)}$ [4]

Při posouzení stability se uvažuje pouze s $G_0(s)$. Uzavřený obvod je stabilní, jestliže frekvenční charakteristika otevřeného obvodu $G_0(j\omega)$ v komplexní rovině při nárůstu frekvence ω od 0 do ∞ prochází vpravo od bodu $[-1; j0]$. Prochází-li frekvenční charakteristika rozpojeného obvodu kritickým bodem -1 , je obvod na mezi stability. Regulační obvod není stabilní, jestliže se frekvenční charakteristika nachází až za kritickým bodem -1 , viz. Obr. 9. [4]

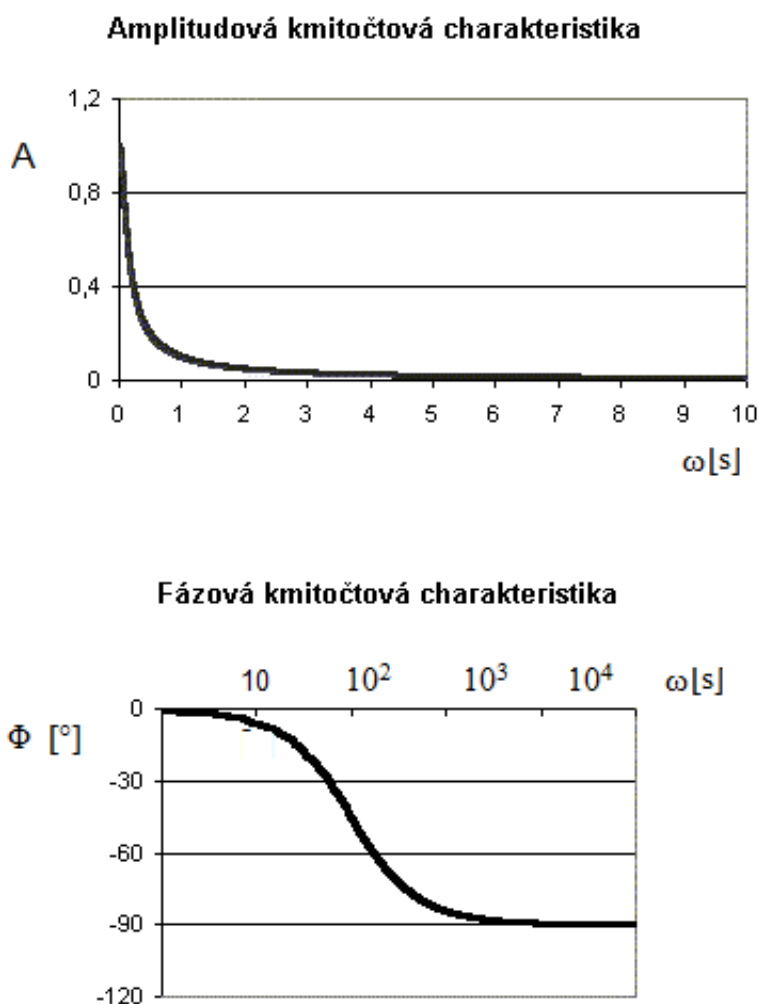


Obr. 9 Niquistovo kritérium stability [12]

4.11. Frekvenční přenos

Přenos je jednou z významných charakteristik regulačního systému a definuje se jako podíl výstupní veličiny ku vstupní veličině. Pokud do daného poměru vstupují jako první časové

derivace výstupních a vstupních veličin, pak hovoříme o frekvenčním přenosu. Grafickým vyjádřením frekvenčního přenosu v komplexní rovině je amplitudová ($A(\omega) = f(\omega)$) a fázová frekvenční charakteristika ($\Phi(\omega) = f(\omega)$), viz. Obr. 10. [13]



Obr. 10 amplitudová a fázová charakteristika [13]

Význam přenosu vyjádřeného dynamickými vlastnostmi systému obecně spočívá v tom, že umožňuje experimentální stanovení frekvenčních charakteristik bez znalosti struktury systému a umožňuje také snadno sestavit výsledný frekvenční přenos složených systémů. Lze odvodit, že pro tento výsledný frekvenční přenos složeným systémem platí vztahy uvedené na Obr. 11. [13]

5. Praktická část práce

Realizace praktické části je založeno na řízení polohy kuličky. Tato část je rozdělena na HW s SW součásti.

Za hardware součásti se považují 2x stejnosměrné motory: Motor DC 12V 14RPM S30K s převodovkou, jejíž pomocí se bude realizovat naklánění desky s kuličkou, programovací zařízení eses klon Arduino UNO R3 CH340, Arduino H můstek L298N, který slouží k připojení motorů, Potenciometr 1k Ω lineární a 12V zdroj napájení. Dále je za potřebí realizovat desku, na které se bude realizovat ovládání kuličky a převody z rotačního pohybu na posuvný. V tomto případě jde o dřevěnou desku, která je upravena pro potřeby zadání.

Za software je pak napsání samotného kódu pro realizaci otáčení motorů v námi požadovaném směru a rychlosti s možnou regulací potenciometrů. Tento kód bude napsán pro Arduino UNO, který bude dále spárován s programem Scilab, který umožní realizaci ovládání kuličky.

5.1. Řízení motorů

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1. pro realizaci pohybu jsou využity motory DC 12V 14RPM S30K s převodovkou. Jedná se o stejnosměrný motor s kovovou hřídelí a vysokým točivým momentem. Parametry motoru viz příloha 1.

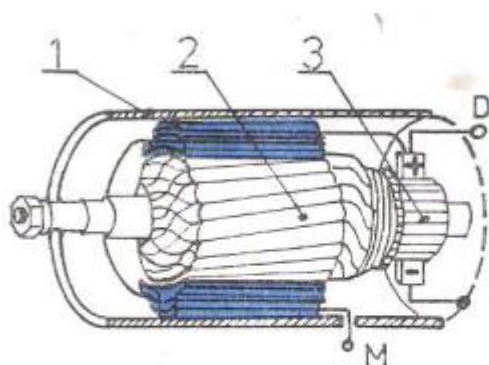
5.1.1. Řízení stejnosměrných motorů

Stejnoseměrný elektromotor je typ točivého stroje, který je napájen stejnosměrným proudem. Jeho princip objevil v roce 1873 Zénobe Gramme. To ze stejnosměrného motoru dělá nejstarší typ motoru. [18]

Stejnosemřné motory jsou tořivé stroje, které se řipojujř na stejnosemřné elektrickř napřtř, třm mřnř elektrickou energii na mechanickou prřci. Stejnosemřnř motor se sklřdř ze dvou řastř, tj. stator a rotor. [19]

Stator, uvnitř jsou dva magnety neboli přly s budřcřm vnutřm nebo permanentnř magnety. Cřvky budřcřho vnutř jsou zapojeny do sřrie, a tak vytvřřj střřidavř severnř a jřznř přl. Vytvořenř statoru se sklřdř z ocelolitinu nebo z elektrotechnickřch plechř, třm se zmenřj ztrřty vřřivřmř proudy. [19]

Rotor se sklřdř z elektrotechnickřch plechř. Na obvodu rotoru jsou drřžky, ve kterřch je uloženo vnutř. Začatek a konec vnutř cřvek je vyveden na komutřtor. Komutřtor je pak vřlcovř a je vyroben z vodivřch mřdřnřch lamel, které musř břt vřci sobř a kostře rotoru odizolovřny. Jednotlivř lamely jsou pak oddřleny drřžkami. Dřle na komutřtor dosedajř grafitovř kartřče neboli uhlřky, které zprostředkujř prřchod proudu mezi pevnřm prřvodem a otřřejřcř se řastř vnutř rotoru. Mezi statorem a rotorem je vzduchovř mezera která je velkř zhruba 1 ař 1,5 mm. Stejnosemřnř elektromotor mř tedy řplnř stejnou konstrukci jako dynamo, viz. Obr. 11.[19]

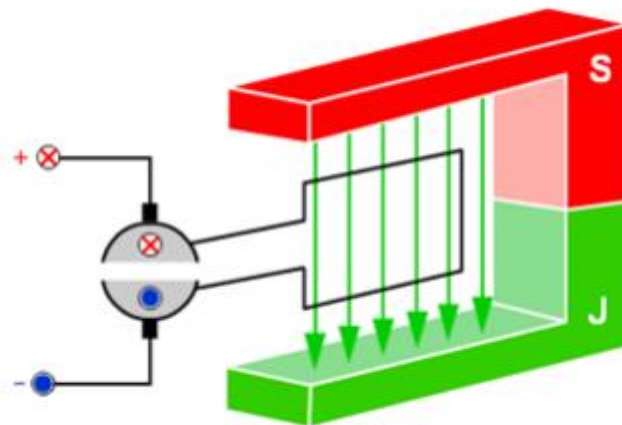


1 – stator, 2 – kotva, rotor s pracovnřm vnutřm, 3 – komutřtor s kartřčř

Obr. 11 Konstrukce motoru [19]

Funkčnost stejnosemřnřch motorř se zaklřdř na silovřm přsobenř, řcřnkř magnetickřho pole na vodič, kterřm protřkř proud. Prřvede-li se do vnutř elektromotoru proud, proud vytvořj

současně magnetické pole ve statoru i v rotoru, čímž vzniknou dvě magnetická pole, která vytvoří výsledné magnetické pole. Vzájemné silové účinky pole pak uvedou kotvu do pohybu. Když se magnetické póly rotoru dostanou do zákrytu s pólovými nástavci statoru, tzn. že kotva je v neutrální poloze, měl by její počáteční pohyb ustát. Kotva se však svojí setrvačností potáčí dále, až v určitém okamžiku komutátor přivede do vinutí kotvy znovu proud a kotva se pak nuceně pohybuje dál, ale její pohyb je nerovnoměrný. Aby se vždy stejnosměrný elektromotor rozběhl v každé poloze kotvy, dává se na rotor více cívek, nejméně tři. Jestliže má rotor větší počet cívek rovnoměrně rozložených po obvodu kotvy, získává tím větší točivý (záběrný) moment a rovnoměrný otáčivý pohyb, viz. Obr 12. [19]



Obr. 12 Princip funkce motoru [19]

výhody

- snadné řízení změnou budícího napětí na rotoru
- lineární charakteristika závislosti otáček na budícím napětí na rotoru

nevýhody

- komutátor - nutná údržba kluzných kontaktů (uhlíkových kartáčů). Vzniká zde také jiskření, které v kombinaci s průmyslovým prachem může způsobit výbuch

- konstrukčně náročné [18]

5.2. Realizace řízení motoru

Motory lze ovládat na různých mikropočítačích. Primárně byl navržen a testován na platformě Arduino Uno se zapojením do H-můstku což bude obsluhovat součást Arduino L289N. Na této platformě bude kód k rozběhu motorů a změny směru otáčení motorů. Další bod bude spárování programu od Arduino s programem Scilab, ve kterém bude možné dál realizovat zadání pro ovládání motorů. Ovládání motorů tedy bude možné dvěma styly. Jako první je z programu Arduino, ve kterém bude možné počítačově řídit směr otáčení motorů a dále bude zde možné regulovat rychlost otáčení motorů pomocí mechanických potenciometrů, které budou přidány do obvodu. Druhý způsob je pak programem Scilab, který má v sobě spárované všechny prvky z Arduino. Zde je možné opět libovolně nastavovat směr a rychlost otáčení motorů pomocí programu.

5.2.1. Arduino

Arduino je otevřená platforma založená na snadno použitelném hardwaru a softwaru. Desky Arduino jsou schopny číst vstupy jako jsou světlo na senzoru, nebo zprávu Twitter a proměnit ji ve výstup, což může být aktivování motoru, rozsvícení LED, publikování online. Realizování funkcí těchto vstupů a výstupů se realizuje posláním sady pokynů mikrokontroléru na desce. K tomu použijte programovací jazyk Arduino (založený na zapojení) a Arduino Software (IDE), založený na zpracování. [20]

Arduino je možné programovat jak v jazyce C, tak v C++. Také je možné použití speciálního programovacího jazyka založeného na jazyku Wiring, blízkému jazyku C s vlastním vývojovým prostředím viz. Obr. 13.

Mezi hlavní výhody Arduina patří:

- **Cena** – Desky Arduino jsou relativně levné ve srovnání s jinými platformami mikrokontrolérů. Nejlevnější verzi modulu Arduino lze sestavit ručně a dokonce i předem sestavené moduly Arduino stojí méně než 50 \$
 - **Cross-platform** - Arduino Software (IDE) běží na operačních systémech Windows, Macintosh OSX a Linux. Většina systémů mikrokontroléru je omezena na Windows.
 - **Jednoduché a jasné programovací prostředí** – Arduino Software (IDE) je snadno použitelný pro začátečníky, ale dostatečně flexibilní, aby jej mohli využívat i pokročilí uživatelé. Pro učitele je to pohodlně založeno na programovacím prostředí.
 - **Open source a rozšiřitelný software** – Arduino software je publikován jako open source nástroj, dostupný pro rozšíření zkušenými programátory. Jazyk lze rozšířit prostřednictvím knihoven C ++ a lidé, kteří chtějí porozumět technickým detailům, mohou přejít z Arduina do programovacího jazyka AVR C, na kterém je založen. Podobně se může přidat kód AVR-C přímo do programů Arduino.
 - **Open source a rozšiřitelný hardware** – Plány desek Arduino jsou publikovány na základě licence Creative Commons, takže zkušení návrháři obvodů si mohou vytvořit vlastní verzi modulu, rozšířit jej a vylepšit. Dokonce i relativně nezkušené uživatele mohou sestavit verzi modulu na prkénku, aby pochopili, jak to funguje, a ušetřili peníze;
- [20]



Obr. 13 Vývojové prostředí

Arduino UNO je založeno na procesoru ATmega 328, deska obsahuje 14 digitálních vstupních / výstupních pinů z toho je možné jich šest využít pro generování PWM, šest analogových vstupů, 16 MHz krystal, připojení pomocí USB, napájecí konektor, ICSP rozhraní (In Circuit Serial Programming - programování součástky přímo v obvodě) a resetovací tlačítko. Vše potřebné je obsaženo na desce, stačí jen připojit k počítači pomocí USB kabelu viz. Obr. 14. [21]



Obr. 14 Arduino deska

5.2.2. Scilab

Scilab je open source software pro vývojáře. Je hlavně vyvíjen týmem Scilab v rámci ESI Group.

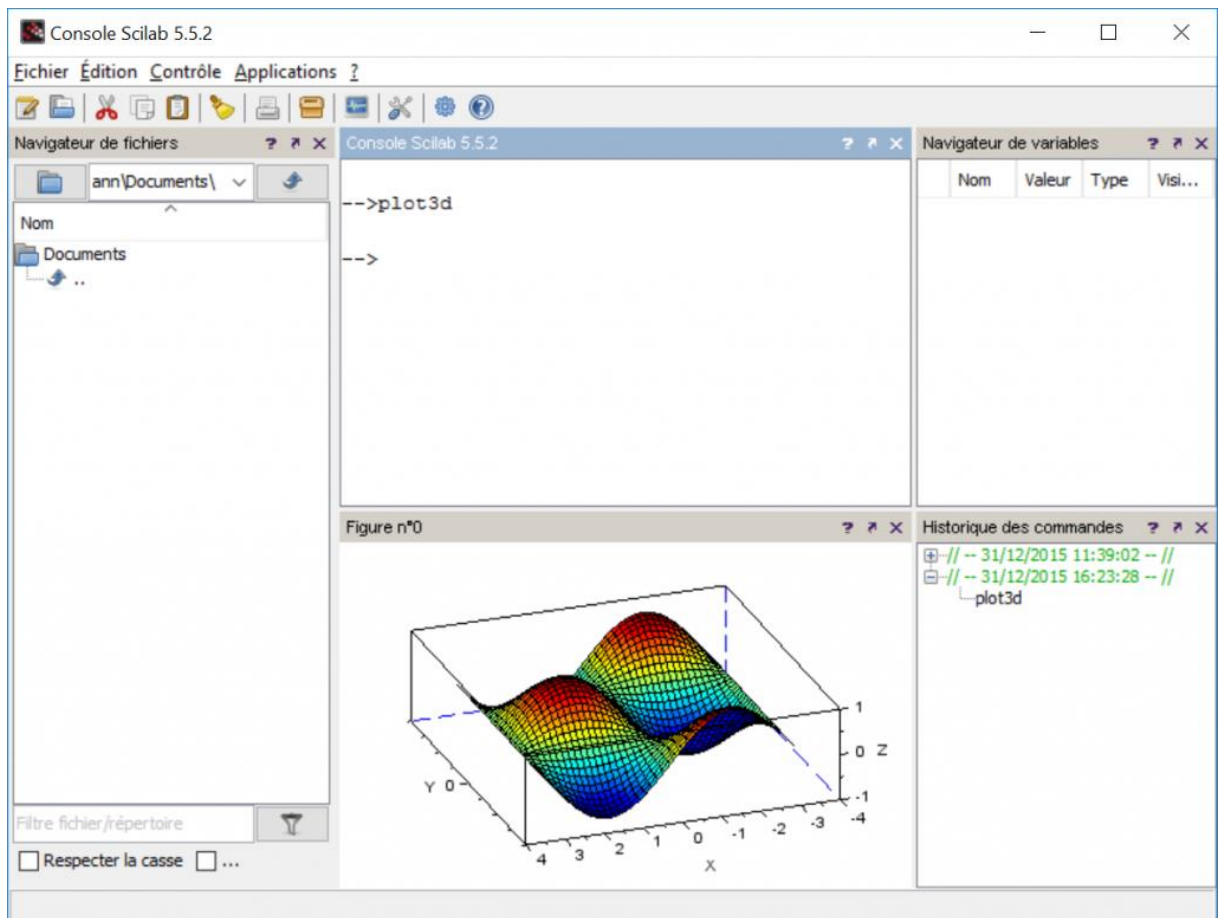
Proces kvality je také založen na kvalitě kódu. Styl kódování je definován pro všechny jazyky používané v Scilab (C, C ++, Java, XML, Scilab, Makefiles,...). Kód musí být zdokumentován (komentáře pomocí Javadoc, Doygen,...). Stejně jako v případě implementace nové funkce je každá změna v kódu Scilab zkontrolována a přijata jiným vývojářem. [22]

Scilab je univerzální software který při jeho spuštění otevře konzolovou aplikaci (viz. Obr 16). další kroky se pak dají rozdělit do tří částí:

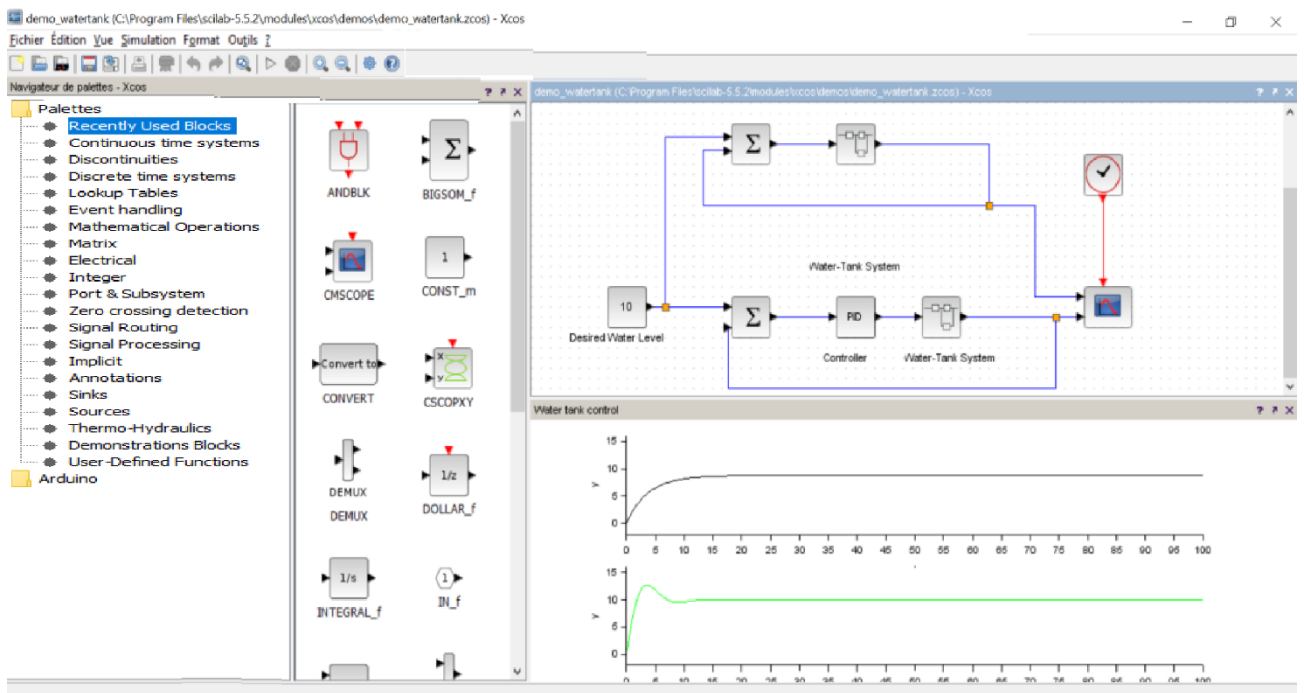
- Výpočetní modul Scilab: tento model se dále rozděluje do čtyř fází:

- a) Numerická analýza (Numerická analýza nebo vědecké výpočty je studium aproximačních technik pro numerické řešení matematických problémů.);
 - b) Vizualizace dat (Scilab poskytuje grafické funkce pro vizualizaci, anotaci a export dat a nabízí mnoho způsobů, jak vytvářet a přizpůsobovat různé typy grafů.) viz. Obr 15;
 - c) Vývoj algoritmů (Scilab je programovací jazyk na vysoké úrovni pro vědecké programování. Umožňuje rychlé prototypování algoritmů, aniž by bylo nutné zabývat se složitostí jiného programovacího jazyka s nižší úrovní. Využívá k tomu prostředí Scinotes a Variables editor.) viz. Obr. 17.;
 - d) Aplikační vývojář (Spojuje správu dat, vývoj algoritmů, grafické prostředí a aplikační příklady);
- Xcos (Xcos je grafický editor pro návrh modelů hybridních dynamických systémů. Modely lze navrhovat, načítat, ukládat, kompilovat a simulovat.) viz. Obr. 16;
 - Správa nástrojů ATOMS, viz. Obr 18;

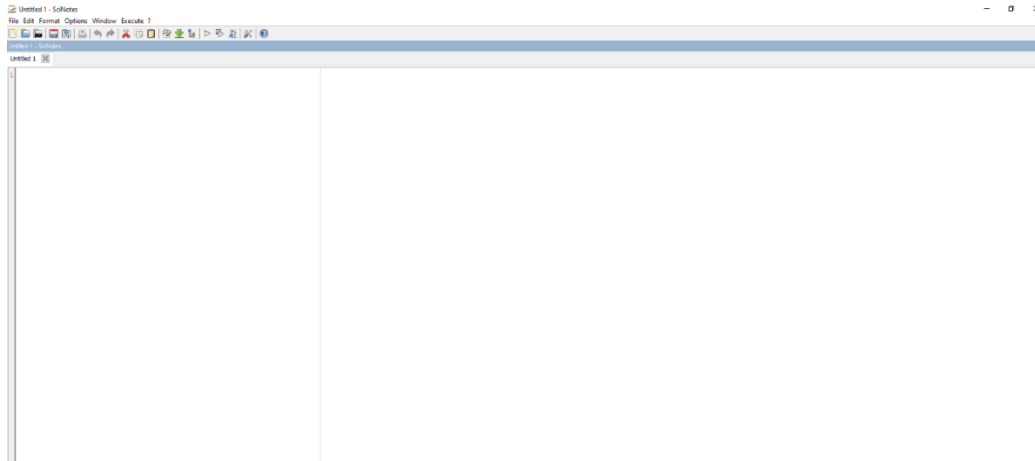
Výhoda tohoto programu je, že všechny části spolu dokážou navzájem komunikovat. [22]



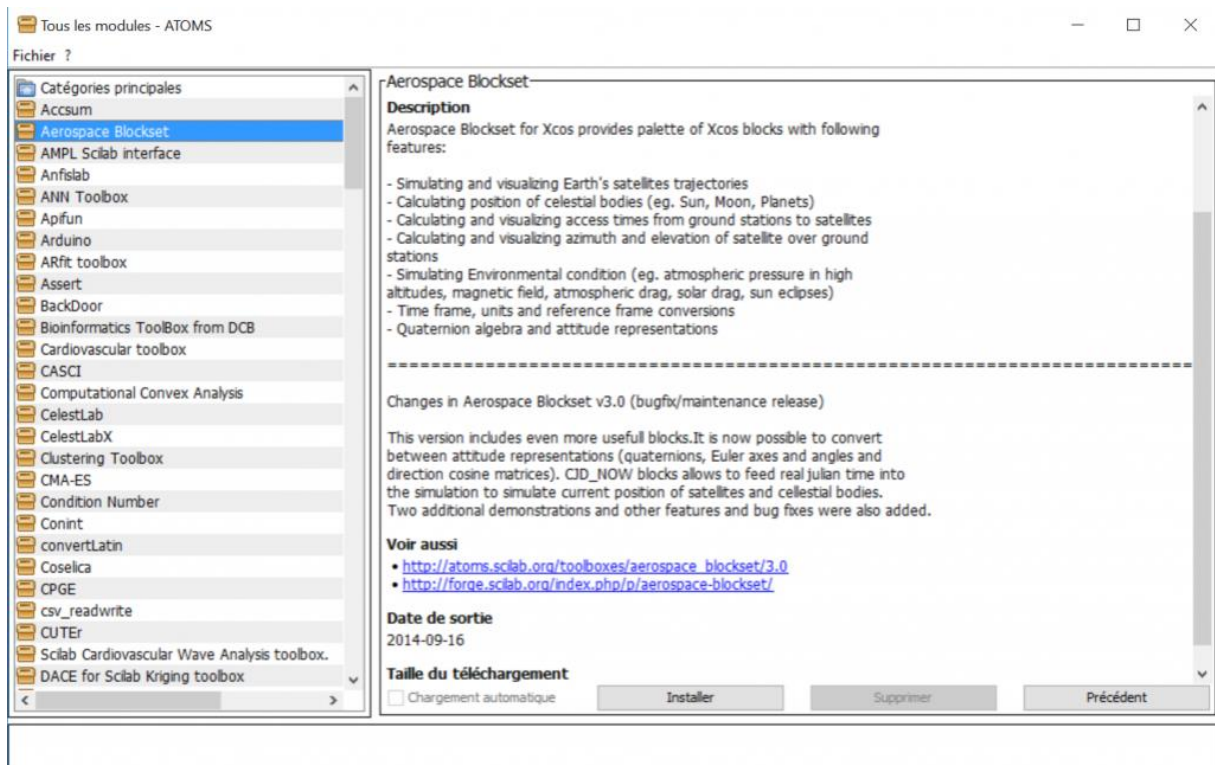
Obr. 15 Konzolová aplikace [23]



Obr. 16 Xcos [23]



Obr. 17 SciNote



Obr. 18 Správa nástrojů ATOMS [23]

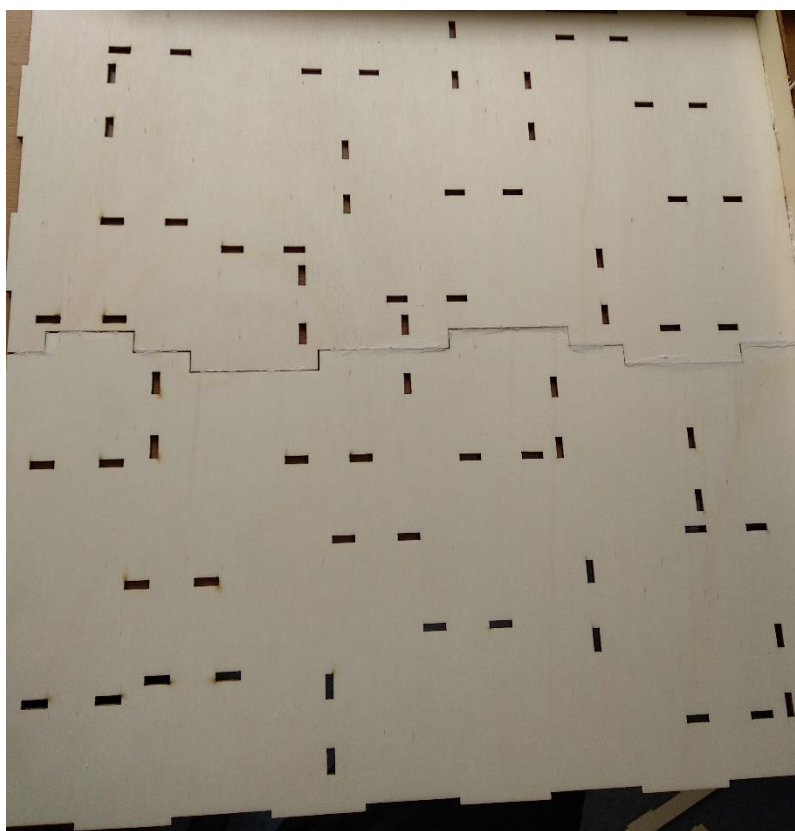
5.3. Návrh zapojení

Přípravek je navrhován tak, aby bylo vše snadno pochopitelné a zároveň bylo možné jej použít pro široké spektrum úloh a možností řízení.

Po provedení teoretických východisek a důkladném seznámení s problematikou, bylo navrhnuo, že pro konstrukci přípravku bude nejlepší vybrat stejnosměrný motor se zapojením do H-můstku. Zapojení umožňuje připojení všech druhů elektrických motorů. Tato vlastnost práci činí ideální pro použití jako laboratorní přípravek k studijním účelům v laboratořích katedry elektrotechniky a automatizace.

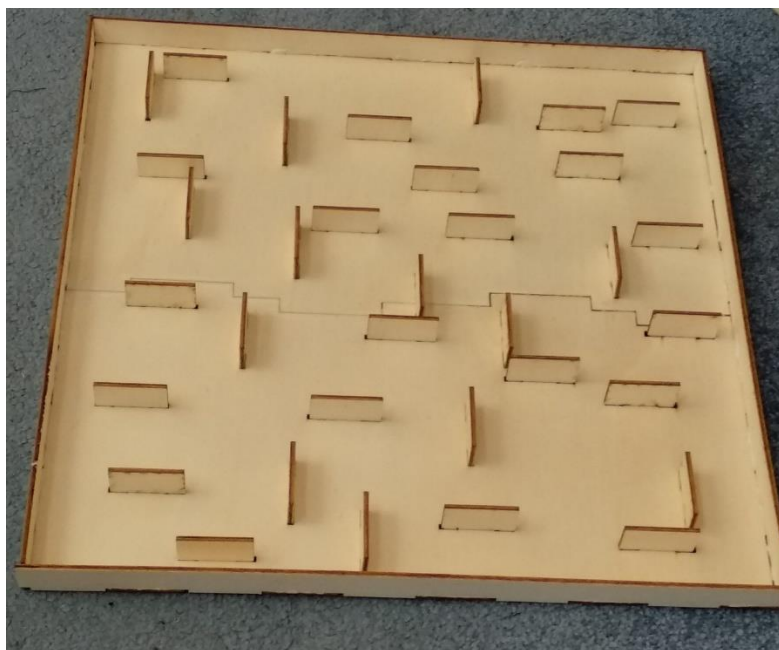
5.3.1.Návrh pracovní desky pro pohyb kuličky

Pro správnou realizaci zapojení bylo nejprve nutné vhodné navrhnutí pracovní plochy. Zde se nabízelo několik variant, ale vzhledem k univerzálnosti a praktičnosti byla navržena jako pracovní plocha dřevěná deska dále už jen jako bludiště o výšce a délce 400mm a tloušťce 3mm. Do této desky pak následně bylo vyřezáno celkem 34 párů děr o rozměrech 10x3x3mm, do kterých budou následně vsazené zářezky. Navíc k tomu byly po stranách desky vytvořeny zářezky pro přidání bočních stěn, aby se kulička nemohla dostat ven z bludiště. viz Obr. 19.



Obr. 19 Bludiště nekompletní

Veškeré tyto díly byly vytvořeny ze dřevěného materiálu a byly opracovány v dílnách Technické fakulty na ČZU v Praze pomocí CO2 laseru. Po vytvoření desky a potřebných komponent vzniklo bludiště pro pohyb kuličky viz. Obr. 20. Jednotlivé komponenty pak jsou zobrazeny v příloze 2.



Obr. 20 Bludiště kompletní

5.3.2. Pomocné materiály pro motory

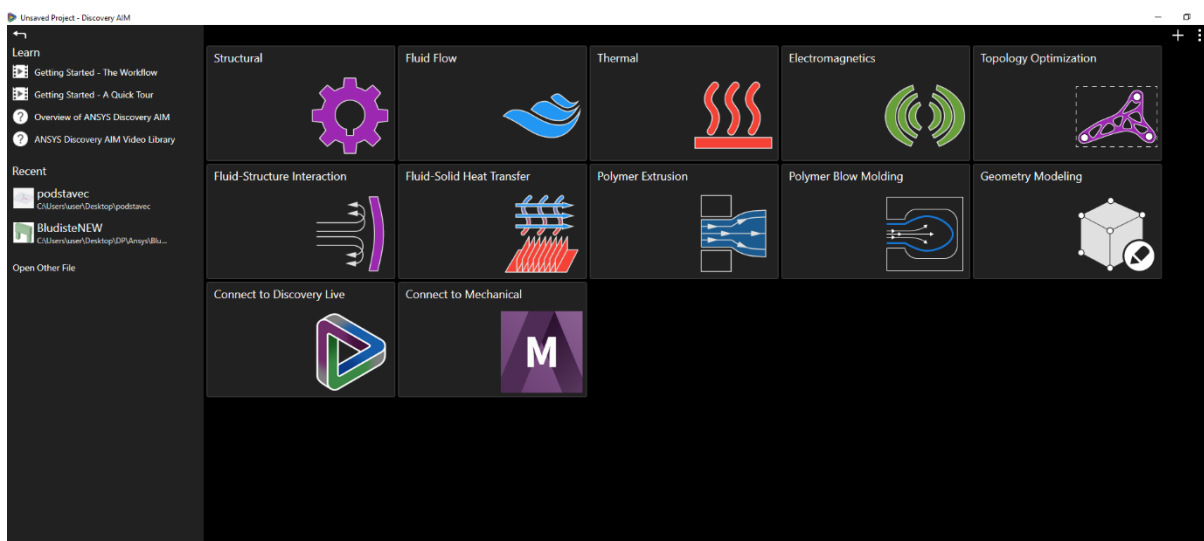
Cílem této části je vytvořit mechanický materiál, který následně poslouží k řízení motorů. Jedním z cílů je vytvořit návrh, jak přeměnit rotační pohyb na přímočarý a také uložení pro motory, aby byly ve stálé statistické poloze dle potřeby. K těmto účelům byly využity dva modelovací programy a sice program Ansys, který pomohl při vytváření podstavce pro motory viz. Obr 24. A program Autodesk Inventor, který pomohl pro převod rotačního pohybu na přímočarý viz. Obr26. Po vymodelování správných komponent byly návrhy modelů připraveny pro 3D tiskárny, kde byly vytištěny a můžou pomáhat při realizaci úlohy.

5.3.2.1. Program Ansys

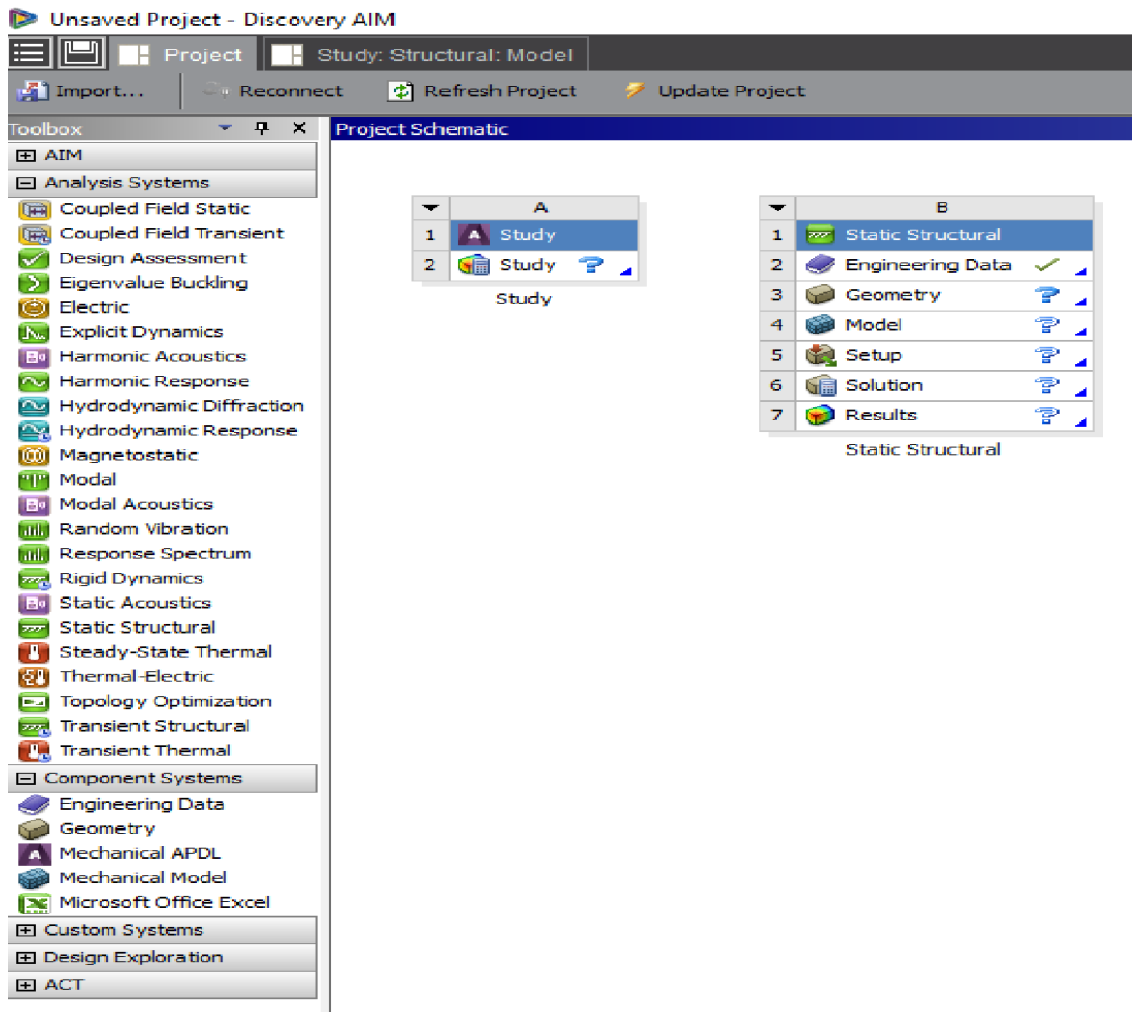
Společnost Ansys vyvíjí, uvádí na trh a podporuje software technické simulace používané k předpovídání toho, jak se budou návrhy produktů chovat v reálných prostředích. Již více než 45 let vyvíjejí tuto technologii, aby vyhověli vyvíjejícím se potřebám zákazníků. Firma neustále pokračuje v simulačních řešeních pomocí:

- Vývoj nebo získávání těch nejlepších technologií;
- Jejich integrace do jednotné simulační platformy schopné komplexních více fyzikálních řešení;
- Poskytování systémových služeb, včetně vysoce výkonných výpočetních systémů (HPC) a cloudových řešení, pro správu simulačních procesů a dat; [23]

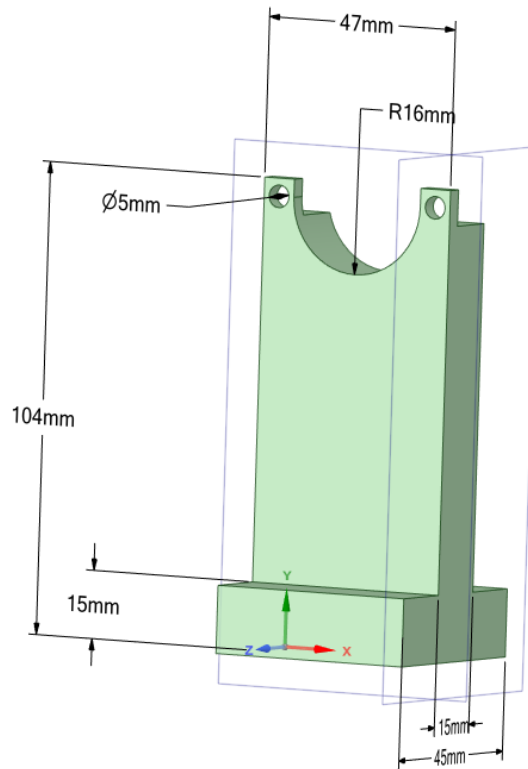
Pro práci byl zvolený konkrétně program Ansys Discovery, který při spuštění nabízí několik možností podle toho, co se bude vytvářet za součástku. Pro účely projektu byla vybrána záložka Structural viz. Obr. 21. Objeví se okno, kde je opět mnoho možností ale pro účely projektu byla zvolena možnost Static structural viz. Obr. 22, ve které se pak dá vytvořit požadovaný materiál. Nákres materiálu se provádí v záložce Geometry, nazývané jako Space Claim viz. Obr. 24. Dále je s ním pak možno pracovat v simulačních režimech, jenž zastupují záložky Model až Parameters, nazývané jako Mechanical. V tomto programu (jak již bylo zmíněno) byl vyvíjen návrh na podstavec, na kterém bude motor držet viz. Obr. 23.



Obr. 21 Ansys Discovery



Obr. 22 projekt Structural

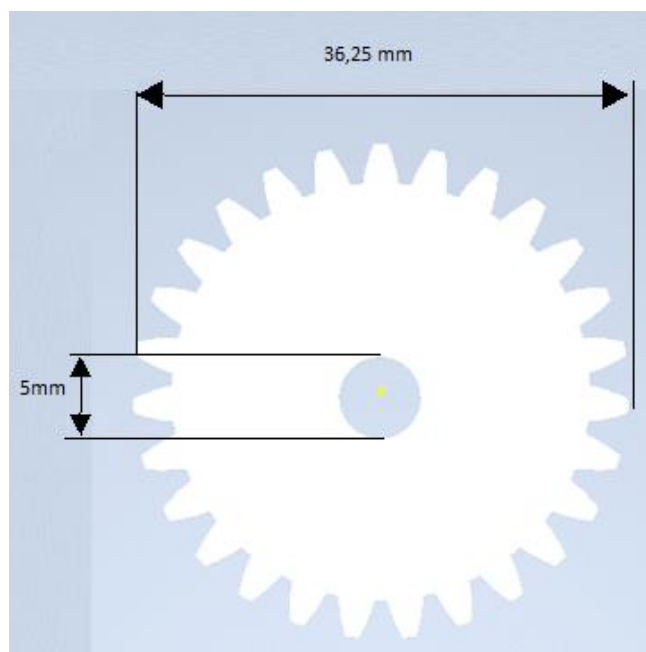


Obr. 23 Náskres podstavce v programu Ansys

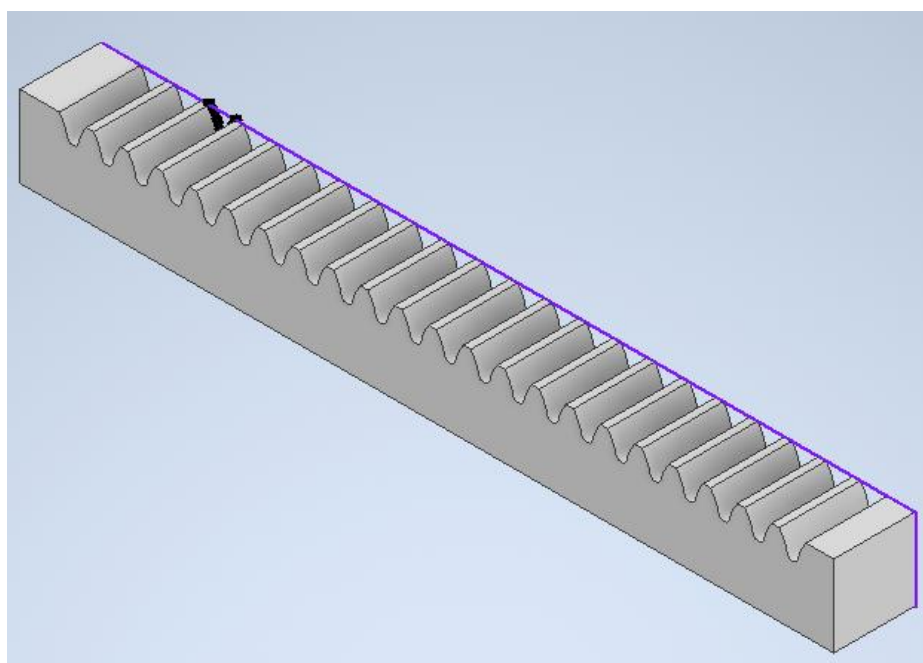
5.3.2.2. Program Autodesk Inventor

Autodesk Inventor je počítačově podporovaná návrhová aplikace pro 3D mechanické navrhování, simulaci, vizualizaci a dokumentaci vyvinutou společností Autodesk. Inventor umožňuje integraci 2D a 3D dat do jediného prostředí a vytváří virtuální reprezentaci finálního produktu, která uživatelům umožňuje ověřit formu, fit a funkci produktu ještě před tím, než bude kdykoli postaven. Autodesk Inventor obsahuje výkonné parametrické nástroje pro přímé úpravy a modelování volných tvarů, jakož i možnosti překlady v několika CAD a ve svých standardních výkresech DWG. Inventor používá ShapeManager, proprietární jádro geometrického modelování společnosti Autodesk. Autodesk Inventor soutěží přímo se SolidWorks, Solid Edge a Creo. [24]

V tomto programu byl řešen problém převodu rotačního pohybu na přímočarý. Tento problém byl vyřešen sestrojením ozubeného kola a racku, který bude převádět pohyby viz obr. 24 a 25.



Obr. 24 Ozubené kolo v Autodesk Inventor

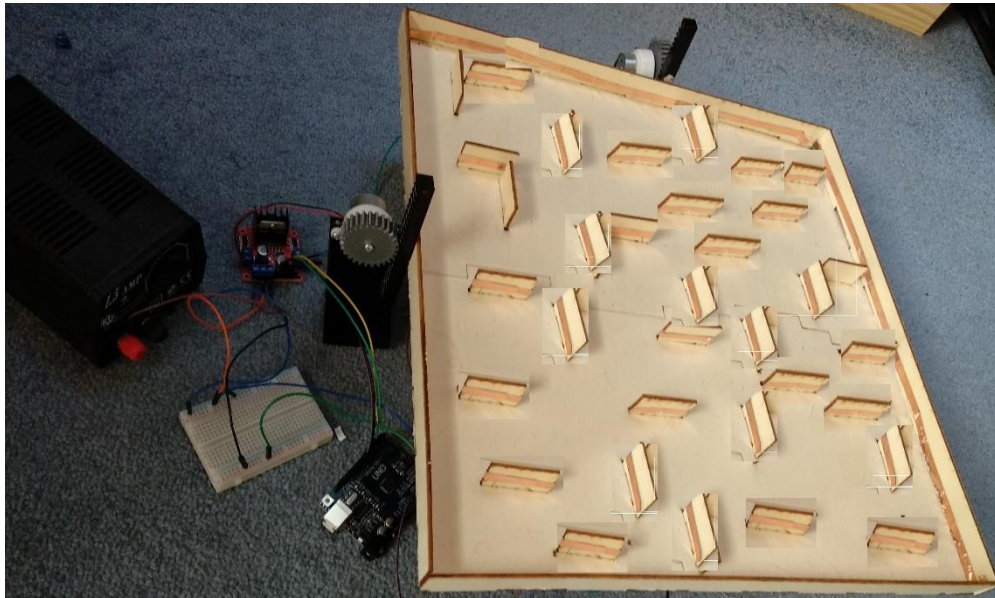


Obr. 25 Rack v Autodesk Inventor

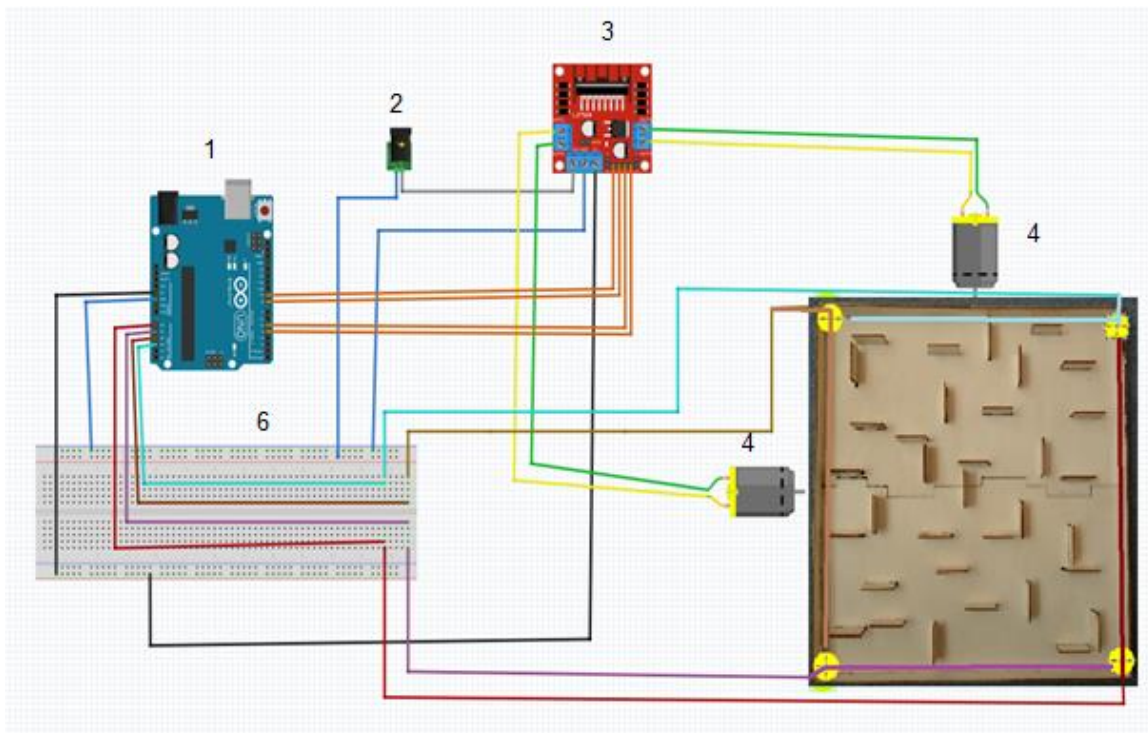
5.3.3. Sestava bludiště

Pro dosažení správné regulace dle zadání je nutné do bludiště zakomponovat prvky, pomocí kterých se bude řídit později sestavený program a tím provádět správně nastavování motorů. Tento problém je v úloze vyřešen přidáním odporového drátu a vodivého samolepícího pásku Cu.

Po mechanickém vytvoření všech potřebných dílů a komponent, se mohla dát celá sestava dohromady pro potřeby projektu viz. Obr. 26. Na obrázku 27 je pak vidět schéma zapojení i s připojením analogových vstupů.



Obr. 26 Sestava



Obr. 27 Schéma zapojení

Popis komponent:

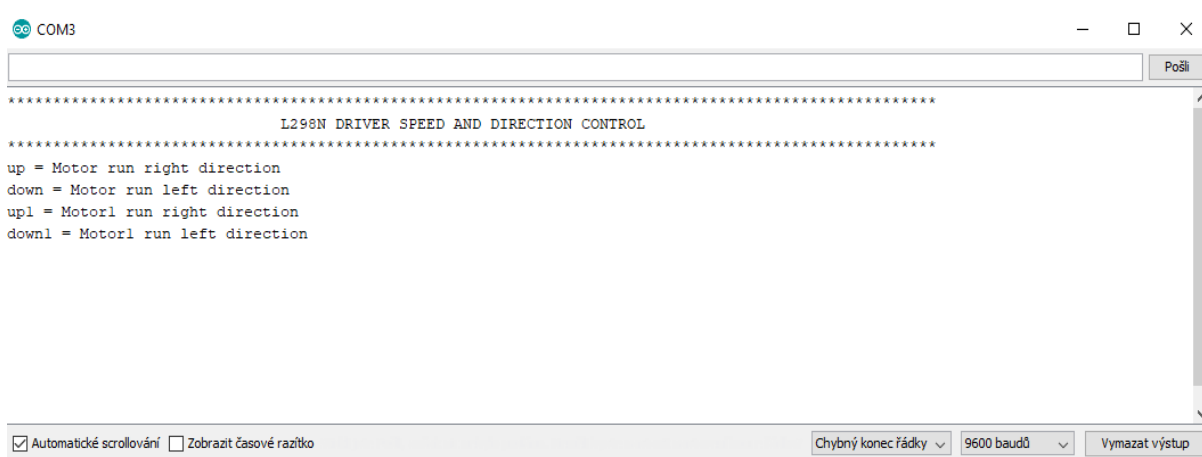
- 1 vývojová deska Arduino UNO;
- 2 Napájecí zdroj 12V;
- 3 H můstek L298N pro motory;
- 4 motory DC 12V 14RPM S30K s převodovkou;
- 5 Bludiště;
- 6 Nepájivé pole;

5.4. Programování

Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.2. programování je vytvořeno a vývojové platformě Arduino a také programem Scilab, který dokáže s platformou Arduino spolupracovat.

5.4.1. Program Arduino

Pro správné fungování motorů bylo zapotřebí správně zkompileovat vývojovou desku od Arduino s počítačem a vývojovým prostředím od Arduino. Dále bylo zapotřebí pro správné fungování motorů stáhnout potřebné knihovny viz. příloha 3. Dále už jenom stačilo vytvořit program pro správné otáčení motorů v námi požadovaný směr. Výsledkem programu je, že na pokyn “up“ v sekci sériový monitor se bude motor otáčet směrem, aby deska na příslušné straně šla nahoru. Pro otáčení motoru, aby deska šla dolů je pokyn “down“. To stejné platí i dále pro další motor s rozdílem že druhý motor je ovládán pokynem “up1“ a “down1“ viz. obr. 28. Program je dále nastaven tak, aby pro otáčení mechanickým potenciometrem se motor otáčel rychleji nebo naopak pomaleji a může být i zastaven. Celý program je v příloze 4.



```
*****
L298N DRIVER SPEED AND DIRECTION CONTROL
*****
up = Motor run right direction
down = Motor run left direction
up1 = Motor1 run right direction
down1 = Motor1 run left direction
```

Obr. 28 Směr otáčení motorů pomocí Arduino

5.4.2. Program Scilab

Pro správné ovládání motorů pomocí programu Scilab je, aby se vývojová deska Arduino spárovala s programem Scilab. Toho je dosaženo pomocí programu v prostředí Arduino viz. příloha 5 a v programu Scilab je zapotřebí pomocí správy nástrojů Atmos stáhnout a nainstalovat knihovnu “Arduino“ viz. příloha 6. Po spárování obou programů, je možné nyní vytvářet programy pro realizaci této úlohy v programu Scilab.

K vytvoření programu pro tento projekt poslouží nástroj Xcos, což je grafický nástroj pro realizaci úloh. K nástroji Xcos je přidružený nástroj Palette browser, ve kterém se nacházejí

objekty, které slouží k realizaci úloh. Přetažením těchto objektů z Palette browser do Xcos se z objektů stávají objekty obsažené v projektu.

Pro řízení motorů v tomto projektu, je důležité, aby se z Palette browser vybral objekt "ARDUINO_SETUP", který slouží pro propojení programu Scilab s vývojovou deskou Arduino. Tento objekt je obsažený v Arduino knihovně, kterou jak již bylo zmíněno nezbytné stáhnout. Dále bylo nutné z této knihovny vybrat objekty "DCMOTOR_SB" což je objekt, který znázorňuje vybraný motor, se kterým následně program komunikuje. Jako poslední důležitou položkou z knihovny Arduino je objekt TIME_SAMPLE, který nám drží obvod zapnutý do doby, dokud se ručně nevypne nebo do uplynutí vybrané časové doby.

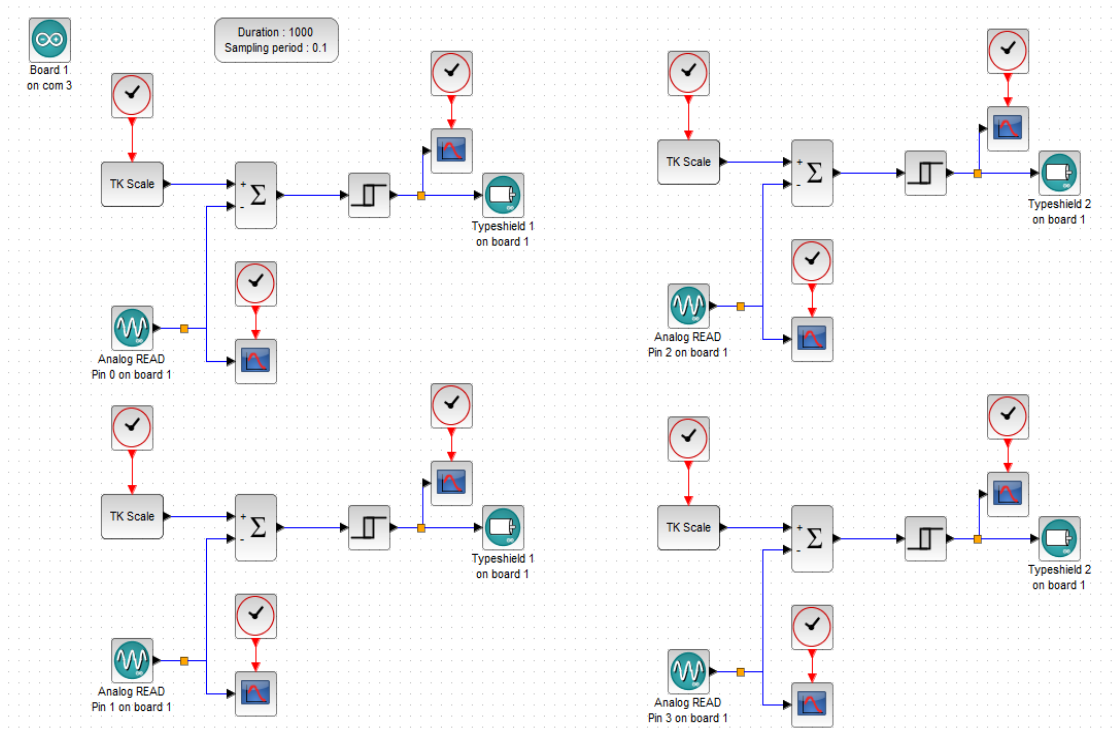
Po vybrání těchto důležitých objektů zbývá jenom vytvořit vhodnou kombinaci objektů už ze základní knihovny Scilabu. Pro tuto práci se jako nejvhodnější a nejjednodušší způsob hodilo použití objektů "TKSCALE", což je objekt, který po spuštění programu zobrazí posuvnou lištu, pomocí které je možné uvést motor do pohybu a následně ho také vypnout. Kde kladné hodnoty znamenají chod motoru a záporné hodnoty včetně nuly znamenají zastavení motoru. viz. Obr. 29. K objektu TCSCALE se váže objekt CLOCK, který určuje periodu a počáteční stav.

Pro vytvoření regulace bylo nutné znovu ze záložky pro Arduino vybrat analogový vstup, na tomto vstupu bude zapojený odporový drát, který při změně odporu (njetí kuličky) začne vysílat analogový signál do programu a tím se budou spouštět motory dle potřeby.

Samotná regulace je prováděna objektem Hystereze, který po dosažení určité hodnoty překlopí obvod a tím spustí rozběh motoru. Nastavení Hystereze je uvedeno v příloze 7.

Propojení objektů TKSCALE a analogového vstupu z Ardino zajišťuje rozdílový člen.

Po správném zapojení a nastavení všech parametrů nám vyjde výsledný obvod, pomocí kterého lze realizovat ovládání kuličky pomocí programu Scilab viz. Obr. 29.



Obr. 29 Výsledný obvod v programu Scilab

6. Zhodnocení výsledků

Výsledkem je dostat kuličku do předem požadované pozice. Vzhledem k ploše, která byla vyrobena pro kuličku viz. kapitola 5.3.1. se nabízelo několik možností, jak kuličku řídit. Výsledky jsou tedy rozděleny na tři části.

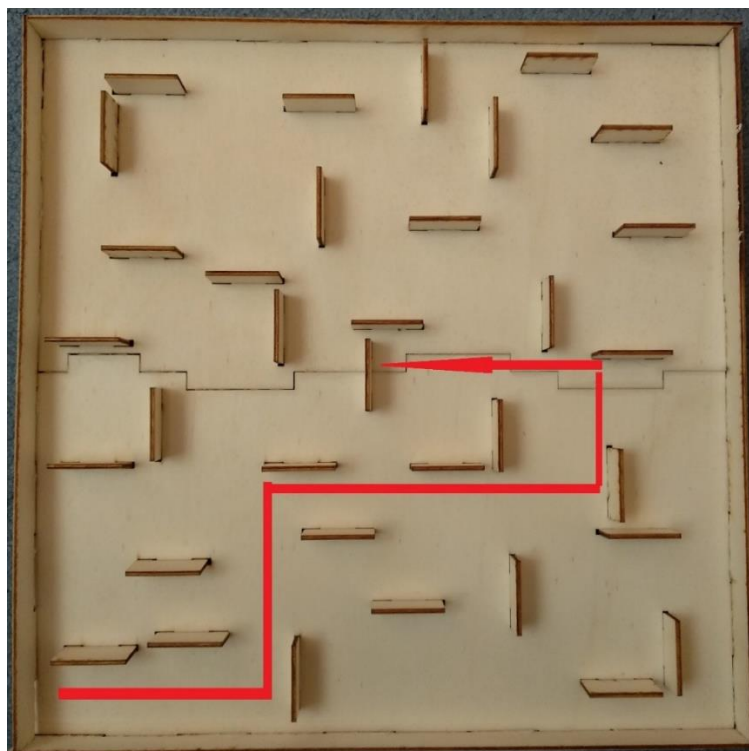
Jako první část je otáčet plošinou tak aby se kulička dostala zhruba do středu desky, přitom kulička by se měla držet požadované cesty viz. Obr. 30.

Celkem z deseti měření se do požadovaného místa kuličku podařilo dostat v sedmi případech. V šesti případech se kulička odchýlila od požadované cesty. Z těchto šesti případů se dvakrát odchýlila nepatrně a čtyřikrát více.

Na přiložených grafech 1 až 6 je možné spatřit hodnoty které byli výsledkem přívodu analogových vstupů. Tyto hodnoty se vytvářeli kontaktem vodivé kuličky a odporového drátu a dle toho bylo následné spuštění motoru ve správném směru. Na grafu 1. lze spatřit přívod analogového vstupu pro pin 0, tento vstup je spojen s motorem a má za úkol přenést signál tak aby se motor začal otáčet směrem, tak aby se deska naklonila doprava. Na grafu 2. lze poté spatřit výsledný signál přívodem analogového vstupu a dané konstanty, který má být posílán do motoru a tím motor spouštět dle požadavků.

Grafy 3 a 5 znázorňují stejné hodnoty jako graf 1 a grafy 4 a 6 stejné hodnoty jako graf 2. S rozdílem, že grafy 3 a 4 jsou pro analogový vstup 1, který zajišťuje naklánění dřevěné desky nahoru a grafy 5 a 6 jsou pro analogový vstup 2, který zajišťuje naklánění dřevěné desky doleva viz. Obr. 30.

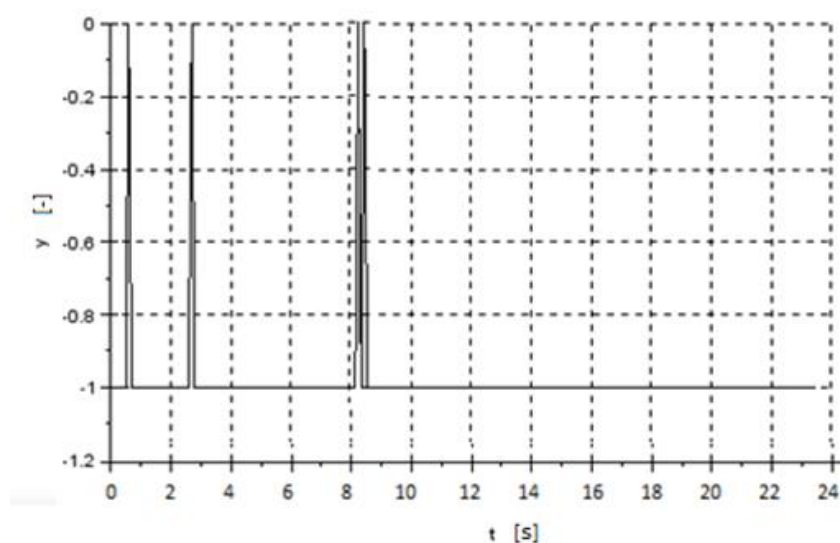
Z grafů 2 a 4 je patrné, že hodnoty se pohybují v rozmezí od 0 do 1000. Ale když se objeví analogový vstup (hodnota 0), tak se hodnota na těchto grafech dostane na 1000 a tím se spustí chod motoru. Graf 6 pracuje na stejném principu jako grafy 2 a 4 ale jelikož směr otáčení motoru je na opačnou stranu (vůči grafu 2), tak tam se pro pohyb motoru musí křivka dostat na hodnotu 0.



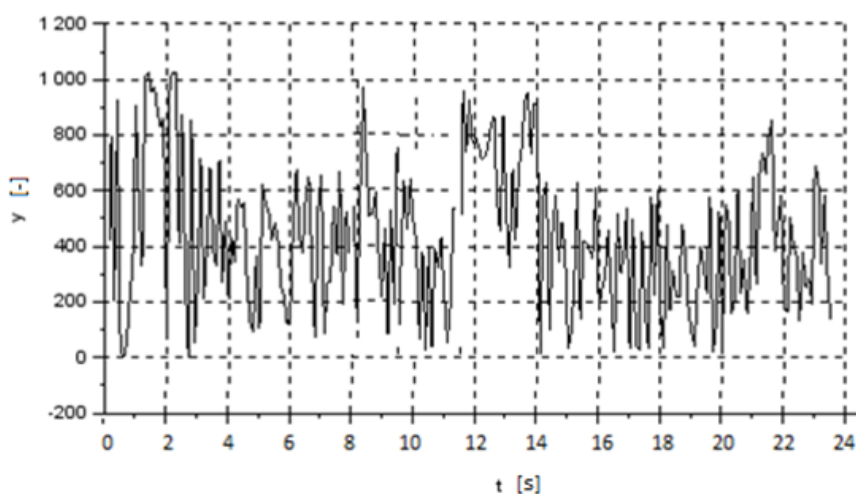
Obr. 30 Úloha 1

Z grafu 1, je patrné, že jakmile se kulička dotkne desky s odporovým drátem, tak se na přívodu analogového vstupu vytvoří signál. Je patrné že klidový stav se udržuje v hodnotě -1 a jakmile přijde vstupní signál, tak se hodnota dostane na hodnotu 0. Do aktivního stavu se analogový vstup dostal v časech 0,5; 2,5 a 8,25 sekund.

Z grafu 2 je patrné, že hodnoty se pohybují v rozmezí od 0 do 1000. Ale když se objeví analogový vstup (hodnota 0), tak se hodnota na těchto grafech dostane na 1000 a tím se spustí chod motoru. Tato hodnota nastala v časech 1; 2,5 a 8,25 sekund. Jak je možné vidět, tak v jednom případě došlo ke 0,5s zpoždění. Došlo tak v případě přivedení analogového vstupu v čase 0,5s ale výstup nastal až v čase 1s.



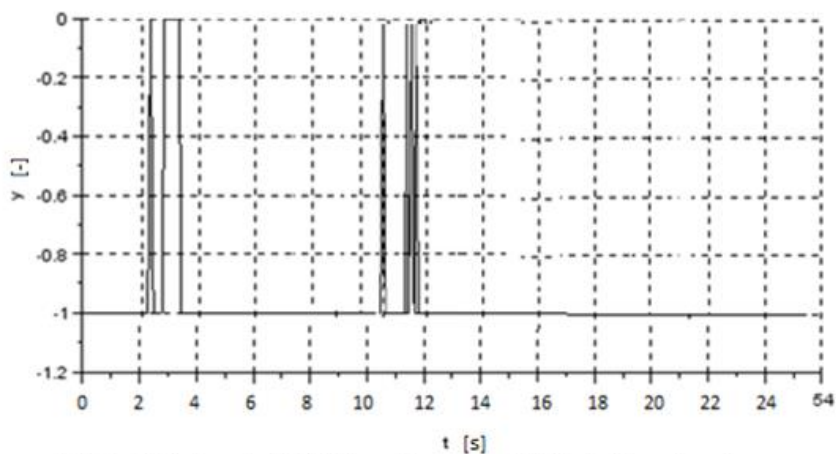
Graf 1 Přívod analogového signálu pin 0, první úloha



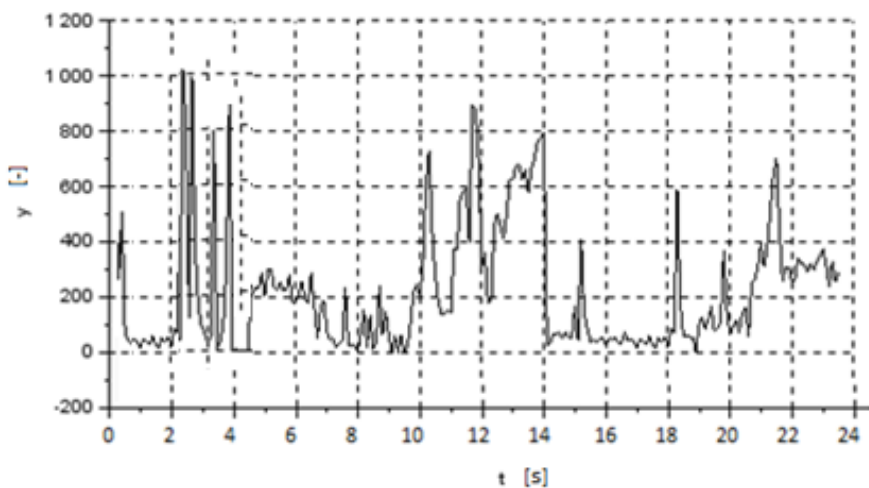
Graf 2 Výstup z hystereze, pin 0, první úloha

Graf 3 pracuje na stejném principu jako graf 1. Tady se aktivní stav analogového vstupu dostal v časech 2,5; 3 a 11,5 sekund.

Graf 4 pracuje na stejném principu jako graf 2. Tady akční hodnoty nastaly v časech 2,5; 3,5 a 11,5 sekund. Jak je možné vidět, tak v jednom případě došlo ke 0,5s zpoždění. Došlo tak v případě přivedení analogového vstupu v čase 3 ale výstup nastal až v čase 3,5s



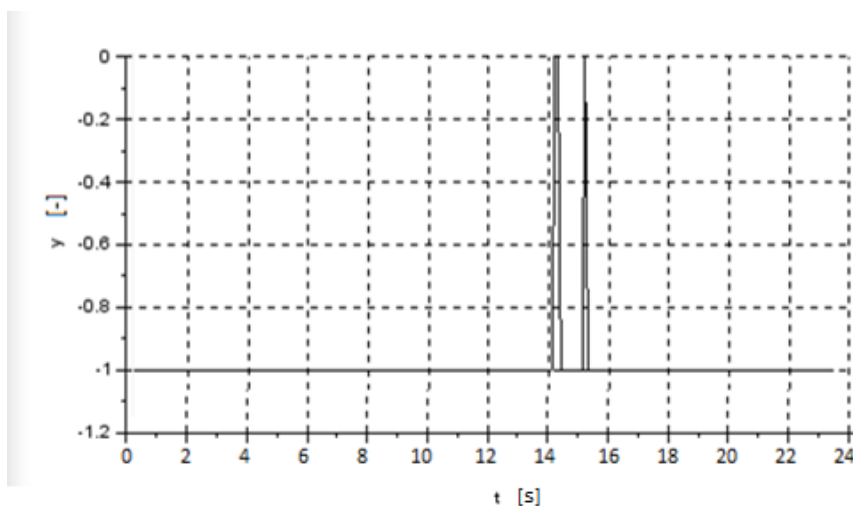
Graf 3 Přívod analogového signálu pin 1, první úloha



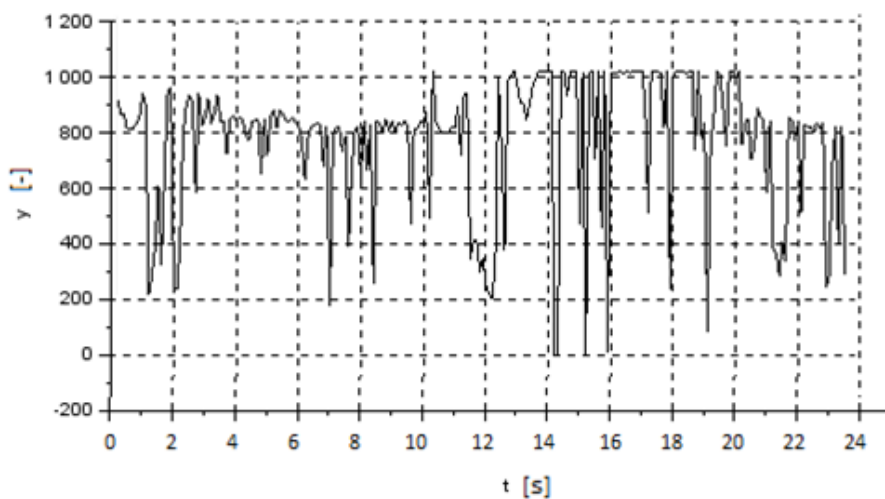
Graf 4 Výstup z hystereze, pin 1, první úloha

Graf 5 pracuje na stejném principu jako graf 1 a 2. Tady se aktivní stav analogového vstupu dostal v časech 14,25 a 15 sekund.

Graf 6 pracuje na podobném principu jako grafy 2 a 4., ale jelikož směr otáčení motoru je na opačnou stranu (vůči grafu 2), tak tady se pro pohyb motoru musí křivka dostat na hodnotu 0. Tady akční hodnoty nastaly v časech 14,25 a 15 sekund. Zde nedošlo k výraznému zpoždění.



Graf 5 Prívod analogového signálu pin 3, první úloha



Graf 6 Výstup z hystereze, pin 3, první úloha

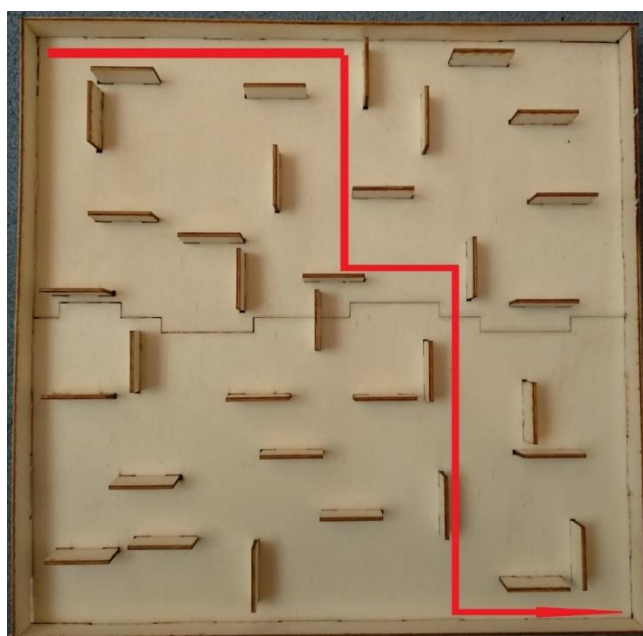
Druhá část je otáčet plošinou tak aby se kulička dostala z jednoho rohu do protějšího rohu tak, aby se kulička držela požadované cesty viz. Obr. 31.

Celkem z deseti měření se do požadovaného místa kuličku podařilo dostat v devíti případech. V sedmi případech se kulička odchýlila od požadované cesty. Z těchto sedmi případů se třikrát odchýlila nepatrně a čtyřikrát více.

Grafy 7 a 9 znázorňují stejné hodnoty jako graf 1 a grafy 8 a 10 stejné hodnoty jako graf 2. Jsou ale uzpůsobeny pro úlohu číslo 2. Tudiž grafy 7 a 8 znázorňují přívod analogového signálu na analogový vstup 0, který zajišťuje naklápění dřevěné desky doprava a grafy 8 a 9 jsou pro analogový vstup 1 a zajišťují naklápění desky směrem dolů, viz. Obr. 31.

Z grafů 7 a 9 je patrné, že jakmile se kulička dotkne desky s odporovým drátem, tak se na přívodu analogového vstupu vytvoří signál. Je patrné že klidový stav se udržuje v hodnotě 1 a jakmile přijde vstupní signál, tak se hodnota dostane na hodnotu 0.

Z grafů 8 a 10 je patrné, že hodnoty se pohybují v rozmezí od 0 do 1000. Ale když se objeví analogový vstup (hodnota 0), tak se hodnota na těchto grafech dostane na 1000 a tím se spustí chod motoru.

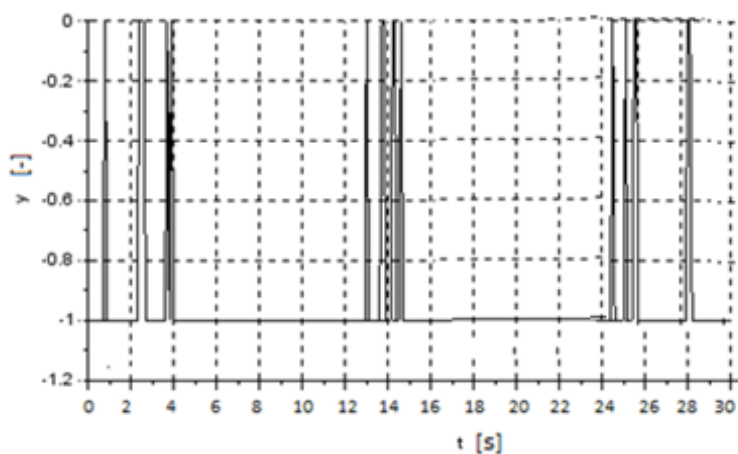


Obr. 31 Úloha 2

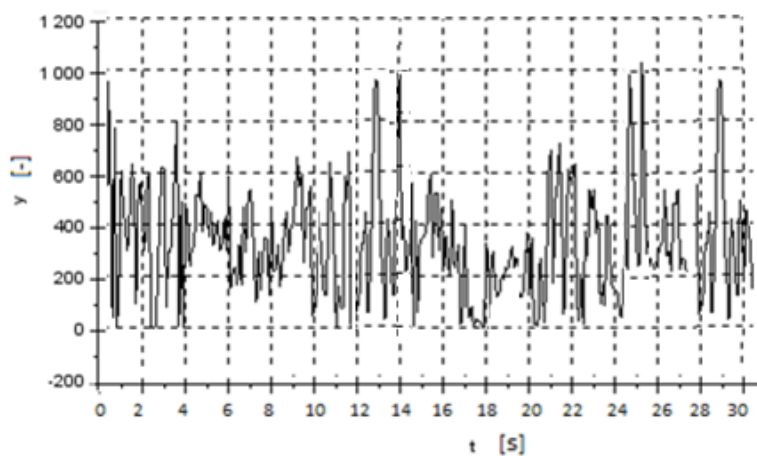
Z grafu 7 je patrné, že jakmile se kulička dotkne desky s odporovým drátem, tak se na přívodu analogového vstupu vytvoří signál. Je patrné že klidový stav se udržuje v hodnotě

-1 a jakmile přijde vstupní signál, tak se hodnota dostane na hodnotu 0, jako je tomu u předchozí úlohy. Tady se aktivní stav analogového vstupu dostal v časech 0,5; 2,5; 3,5; 13 až 14,5; 24,5 až 26 a 28,25 sekund.

Z grafu 8 je patrné, že hodnoty se pohybují v rozmezí od 0 do 1000. Ale když se objeví analogový vstup (hodnota 0), tak se hodnota na těchto grafech dostane na 1000 a tím se spustí chod motoru. Tato hodnota nastala v časech 0,5; 3,5; 13; 14; 24,5 až 26 a 29 sekund. Jak je možné vidět, tak rozdílů mezi analogovými vstupy a výstupu k motoru je zde několik. V čase 2,5 analogového vstupu se výstup dostal jen něco málo přes hodnotu 600, čím motor nebyl rozběhnut. V čase 3,5 se výstup dostal k hodnotě 800 ale i přesto se motor rozběhnul. Dále se výstup dostal jenom do času 14s místo 14,5s. A zpoždění nastalo v čase 29s kde analogový vstup byl už v čase 28,25s



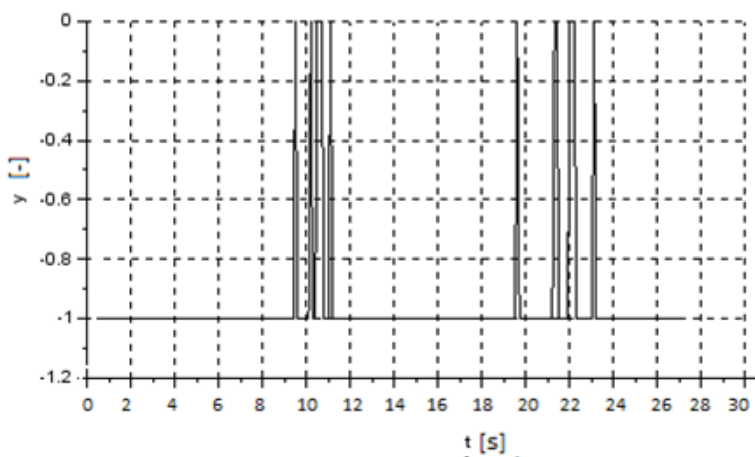
Graf 7 Přívod analogového signálu pin 0, druhá úloha



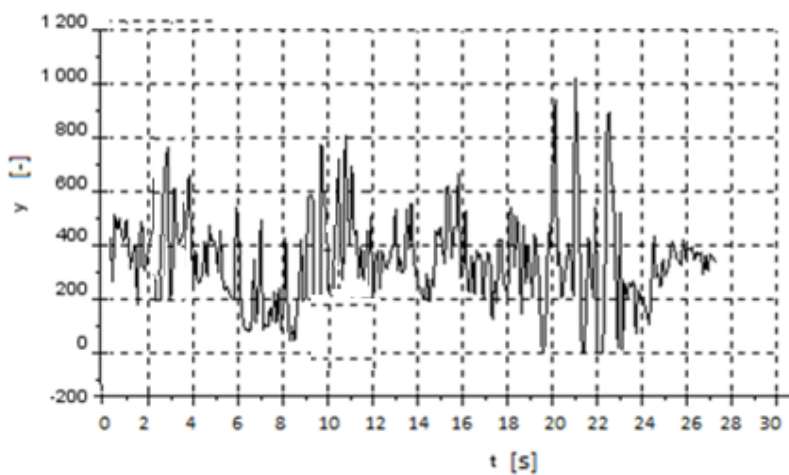
Graf 8 Výstup z hystereze, pin 0, druhá úloha

Graf 9 pracuje na stejném principu jako graf 8. Tady se aktivní stav analogového vstupu dostal v časech 9,5; 10; 11; 19,75; 21; 22 a 23 sekund.

Graf 10 pracuje na stejném principu jako graf 8. Tady akční hodnoty nastaly v časech 9,5; 10; 11; 20; 21 a 22 sekund. Jak je možné vidět, tak zpoždění nastalo u hodnot kde analogový vstup by 19,75s ale výstup až 20s a výstup 23s se téměř neprojevil.



Graf 9 Přívod analogového signálu pin 1, druhá úloha



Graf 10 Výstup z hystereze, pin 1, druhá úloha

7. Závěr

Cílem této diplomové práce byl návrh a následná realizace laboratorního přípravku pro řízení kuličky programem Scilab, včetně rozboru možností řízení. Tento přípravek je určen pro výuku v laboratořích elektrotechniky a automatizace.

První část práce se skládá z teoretického rozboru automatizace, zaměřenou převážně na regulaci a možnosti řízení. Na základě zjištěných informací byl proveden výběr vhodného typu řízení, jeho konstrukce a následná realizace. Pro řízení kuličky byl vybrán vhodný stejnosměrný motor se zapojením do H-můstků. Přípravek byl dále doplněn o obvody pro lepší odladění programů a ovládací prvky. Cílem také bylo vytvořit vhodnou plochu, po které se bude kulička pohybovat. Zapojení bylo následně sestaveno a odladěno. Takto sestavený modul byl již připraven k otestování na vzorových příkladech. Vzorové příklady byly navrženy pro platformu Arduino a také byly vytvořeny příklad pro program Scilab. Následně byly vypracovány programy ke vzorovým příkladům.

Z laboratorního testování vzorových příkladů se ověřilo, že tento laboratorní přípravek lze považovat za funkční a může se využít pro všechny typy navrhovaných úloh podobných laboratorních zapojení pro řízení a ovládání motorů a jejich měření. Tento typ úlohy může sloužit pro ověřování funkčností podobných navržených programů ve výuce. Vzorové příklady jsou sestaveny tak, aby obsáhly co možná nejširší spektrum možností řízení. Tyto programy je možné vzájemně kombinovat a rozšiřovat, čímž lze umožnit studentům jejich další rozvoj.

Uplatnění nalezne při vývoji softwaru zejména pro mikroprocesory, PLD obvody, program Scilab a případně jiných. Uplatnění lze jej využít zejména v úlohách pro práci s řízením motorů. Přípravek je využitelný i pro řízení ostatních typů motorů jejich reverzací a ovládání pomocí PWM.

8. Použitá literatura

- [1] Hofreiter Milan. Základy automatického řízení. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012. 166s.
- [2] Balátě Jaroslav. Automatické řízení. 1. vydání. BEN-technická literatura 2004, 664s.
- [3] Docplayer, 1.1 Řízení a řídicí systémy [online], Vystaveno 2017, [citace 2019-03-10]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/16280851-1-1-rizeni-a-ridici-systemy.html>
- [4] Švarc Ivan. Automatizace-automatické řízení. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 262s.
- [5] Kubík, S., Kotek, Z. a Šalamon, M. Teorie regulace. I - nelineární regulace, SNTL, ALFA, Praha, 1969.
- [6] Anonym, Řízení, regulace, automatizace [online], vystaveno 2008, citace [2019-03-11]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/docu/texty/0001/000102_at1.pdf
- [7] Spspb, Hydraulické a pneumatické systém [online], vystaveno – neuvedeno, citace [2019-03-11]. Dostupné z:
http://www.spspb.cz/wp-content/uploads/dumy/str/VY_32_INOVACE_BE_STR_10.pdf
- [8] Technická univerzita v Liberci, Automatické řízení [online], vystaveno 2011, citace [2019-03-12], Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:3256>
- [9] Sylaby, elektronické učebnice, Regulační obvody [online], vystaveno – neuvedeno, citace [2019-10-07], Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/SyntezaReg/text02.htm>
- [10] Slideplayer, Stabilita diskrétního regulačního obvodu [online], vystaveno – neuvedeno, citace [2019-04-03], Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3630370/>
- [11] Bakalářská fyzika pro HGF VŠB-TUO, 17. Rovnováha tělesa, rovnováha sil [online], vystaveno – neuvedeno, citace [2019-04-09], Dostupné z: <http://if.vsb.cz/bf/17.html>
- [12] ELUC, Nyquistovo kritérium [online], vystaveno – neuvedeno, citace [2019-03-27], Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/955>

- [13] Sylaby, elektronické učebnice, Diskrétní regulační obvody [online], vystaveno – neuvedeno, citace [2019-10-07], Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/SyntezaReg/text0202.htm#obr03>
- [14] Michael Šebek, Automatické řízení 2015, Vlastnosti systému: Stabilita, převrácená odezva, říditelnost a pozorovatelnost [online], vystaveno – 2015, citace [2019-03-27], Dostupné z: <https://docplayer.cz/85005-4-vlastnosti-systemu-stabilita-prevracena-odezva-riditelnost-a-pozorovatelnost.html>
- [15] E. Nováková, M. Hyánková a L. Průchá, Laplaceova transformace - studijní text pro cvičení v předmětu „Matematika - 2. [online], vystaveno – neuvedeno, citace [2019-10-15], Dostupné z: <https://math.feld.cvut.cz/prucha/m2c/ltru.pdf>
- [16] SPŠ Levice, Servomechanismy [online], vystaveno – neuvedeno, citace [2019-10-15], Dostupné z: <http://www.spslevice.sk/ucebnice/SOC/SOC%20-%20PRI/61-Servomechanizmy.htm#Typy%20servomechanizmov>
- [17] Ruider, Pavel, Pohorský, Jan a J.Kypar. Krokové motory. 1985
- [18] Wikipedia, Stejnoseměrný motor [online], vystaveno – neuvedeno, citace [2020-03-02] https://cs.wikipedia.org/wiki/Stejnosem%C4%9Brn%C3%BD_motor
- [19] Ing. Zdeněk Vala, Stejnoseměrné elektromotory [online] vystaveno – neuvedeno. [Citace: 2020-03-02.] http://www.sossoukyjov.cz/data/File/VY_32_INOVACE_6a13.pdf
- [20] Arduino, Introduction. [online] 2014. [Citace: 2020-02-24.] <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>
- [21] GM electronic. Vývojový kit Arduino Uno Rev3. gme.cz. [Online] 2018. [Citace:2020-02-24.] <https://www.gme.cz/vyvojovy-kit-arduino-uno-rev3>.
- [22] Scilab. About Scilab. [online] 2018. [Citace:2020-02-27.] <https://www.scilab.org/about/scilab-open-source-software>
- [23] Ansys, About Ansys. [online] 2018. [Citace:2020-02-27.] <https://www.ansys.com/about-ansys>
- [24] Wikipedia, Autodesk Inventor [online] 2018. [Citace:2020-02-27.] https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor

9. Seznam Obrázků

Obr. 1 Kauzální reakce [1]	6
Obr. 2 Blokové schéma zpětnovazebného lineárního regulačního obvodu	10
Obr. 3 Obecné blokové schéma lineárního diskrétního regulačního obvodu [13]	12
Obr. 4 Blokové schéma servomechanismu [16]	16
Obr. 5 Regulační obvod [9]	17
Obr. 6 Stabilita regulačního obvodu [10]	18
Obr. 7 Stabilita regulačního obvodu pomocí kuličky [11]	19
Obr. 8 Hurwitzova matice [14]	20
Obr. 9 Niquistovo kritérium stability [12]	21
Obr. 10 amplitudová a fázová charakteristika [13]	22
Obr. 11 Konstrukce motoru [19]	24
Obr. 12 Princip funkce motoru [19]	25
Obr. 13 Vývojové prostředí	27
Obr. 14 Arduino deska	28
Obr. 15 Konzolová aplikace [23]	30
Obr. 16 Xcos [23]	30
Obr. 17 SciNote	31
Obr. 18 Správa nástrojů ATOMS [23]	31
Obr. 19 Bludiště nekompletní	32
Obr. 20 Bludiště kompletní	33
Obr. 21 Ansys Discovery	34
Obr. 22 projekt Structural	35
Obr. 23 Nákres podstavce v programu Ansys	36
Obr. 24 Ozubené kolo v Autodesk Inventor	37
Obr. 25 Rack v Autodesk Inventor	37
Obr. 26 Sestava	38
Obr. 27 Schéma zapojení	39
Obr. 28 Směr otáčení motorů pomocí Arduino	40
Obr. 29 Výsledný obvod v programu Scilab	42
Obr. 30 Úloha 1	44
Obr. 31 Úloha 2	48

10. Seznam Grafů

Graf 1	Přívod analogového signálu pin 0, první úloha	45
Graf 2	Výstup z hystereze, pin 0, první úloha	45
Graf 3	Přívod analogového signálu pin 1, první úloha	46
Graf 4	Výstup z hystereze, pin 1, první úloha	46
Graf 5	Přívod analogového signálu pin 3, první úloha	47
Graf 6	Výstup z hystereze, pin 3, první úloha	47
Graf 7	Přívod analogového signálu pin 0, druhá úloha	49
Graf 8	Výstup z hystereze, pin 0, druhá úloha	49
Graf 9	Přívod analogového signálu pin 1, druhá úloha	50
Graf 10	Výstup z hystereze, pin 1, druhá úloha	50

11. Seznam tabulek

Tab. 2 Logické funkce jedné proměnné [4]	6
Tab. 2 Logické funkce o dvou proměnných [4]	7

12. Seznam příloh

Příloha 1: Parametry 12V DC motoru	1
Příloha 2: Komponenty pracovní desky	2
Příloha 3: Knihovna Arduino	3
Příloha 4: Ovládání motoru v Arduino	4
Příloha 5: Program v Arduino pro spárování s programem Scilab	5
Příloha 6: knihovna Arduino pro spárování programu Scilab s platformou Arduino	7
Příloha 7: Nastavení hystereze	9