

Závěrečný projekt
Kurz
BPC-UKB

Matyáš Peroutík
256371

6. dubna 2024

Obsah

1 Úkol 1	4
1.1 Ověření homogenity	4
1.2 Ověření aditivity	4
1.3 Ověření časové invarientnosti	5
1.4 Vyhodnocení	6
2 Úkol 2	6
2.1 Zjištění parametrů LTI systému	6
3 Úkol 3	7
3.1 Regulace pomocí složky P	8
3.2 Regulace pomocí složek PD	8
3.3 Regulace pomocí složek PI	9
4 Úkol 4	10
4.1 Nastavení PID pomocí předešlých hodnot	10
4.2 Nastavení PID podle experimentálně vyladěných hodnot	10
5 Úkol 5	12
5.1 Porovnání vlivu PID na nelineární a LTI systém	12
6 Úkol 6	13
6.1 Popis bloku Relay s hysterezí	13
6.2 Realizace ON/OFF regulace pomocí bloku Relay s hysterezí	13
6.3 Porovnání ON/OFF regulátoru s PID regulátorem	15
7 Závěr	16

Seznam tabulek

1	Veličiny regulační smyčky	7
2	Hodnoty konstant pro ideální PID	10
3	Odladěné hodnoty pro skutečný PID	11
4	Legenda k Relay s Hysterezí	13
5	Nastavení bloku Relay s hysterezí	13

Seznam obrázků

1	Závislost výšky hladiny regulovaného systému v závislosti na čase s průtokem vynásobeným konst. $k = 1$	4
2	Závislost výšky hladiny regulovaného systému v závislosti na čase s průtokem vynásobeným konst. $k = 0.5$	4
3	Graf vyvracející adivitu	5
4	Graf dokazující časovou invarientnost obvodu	5
5	Graf přechodové charakteristiky nelineární soustavy (žlutá) a jejího nenastaveného modelu (modrá) se zobrazenými hodnotami maxima a hodnotě za dobu τ	6
6	Graf přechodové charakteristiky nelineární soustavy (žlutá) a jejího nastaveného lineárního modelu (modrá) pomocí zjištěných hodnot z výpočtů (2) a (1)	7
7	Průběh akčního zásahu $u(t)$ ovládaným pouze P regulátorem s hodnotou $P = 0.005$	8
8	Průběh výšky hladiny systému $y(t)$ regulovaným pouze P regulátorem s hodnotou $P = 0.005$	8
9	Průběh akčního zásahu $u(t)$ ovládaným PD regulátorem s hodnotami $P = 0.005$ a $D = 0.00007$	8
10	Průběh výšky hladiny systému $y(t)$ regulovaným PD regulátorem s hodnotami $P = 0.005$ a $D = 0.00007$	8
11	Průběh akčního zásahu $u(t)$ ovládaným PI regulátorem s hodnotami $P = 0.005$ a $I = 0.00048$	9
12	Průběh výšky hladiny systému $y(t)$ regulovaným PI regulátorem s hodnotami $P = 0.005$ a $I = 0.00048$	9
13	Průběh akčního zásahu $u(t)$ ovládaným PID regulátorem s hodnotami $P = 0.005$, $I = 0.00048$ a $D = 0.00007$	9

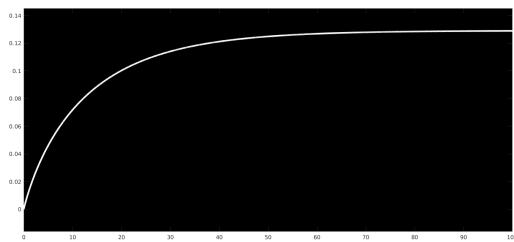
14	Průběh výšky hladiny systému $y(t)$ regulovaným PID regulátorem s hodnotami $P = 0.005$, $I = 0.00048$ a $D = 0.00007$	9
15	Průběh akčního zásahu $u(t)$ ovládaným reálným PID regulátorem s hodnotami $P = 0.005$, $I = 0.00048$ a $D = 0.00007$	10
16	Průběh výšky hladiny systému $y(t)$ regulovaným reálným PID regulátorem s hodnotami $P = 0.005$, $I = 0.00048$ a $D = 0.00007$	10
17	Průběh akčního zásahu $u(t)$ ovládaným reálným odladěným PID regulátorem s hodnotami $P = 0.35$, $I = 0.01$ a $D = 0.07$	11
18	Průběh výšky hladiny systému $y(t)$ regulovaným reálným odladěným PID regulátorem s hodnotami $P = 0.35$, $I = 0.01$ a $D = 0.07$	11
19	Porovnání regulace laděné na ideálním PID regulátoru (žlutá) a skutečném PID regulátoru (modrá)	11
20	Průběhy akčních zásahů nelineárního a LTI systému regulovaných PID regulací s upravou $w(t)$ v čase 50s na polovinu požadované hodnoty	12
21	Průběhy regulovaných veličin nelineárního a LTI systému regulovaných PID regulací s upravou $w(t)$ v čase 50s na polovinu požadované hodnoty	12
22	Průběhy akčních zásahů $u(t)$ nelineárního systému regulovaného pomocí PID regulátoru (žlutá) a ON/OFF regulátoru (modrá)	14
23	Průběhy regulované veličiny $y(t)$ nelineárního systému regulovaného pomocí PID regulátoru (žlutá) a ON/OFF regulátoru (modrá)	14
24	Průběhy regulované veličiny $y(t)$ nelineárního systému regulovaného pomocí PID regulátoru (žlutá) a ON/OFF regulátoru (modrá)	15
25	Průběhy regulované veličiny $y(t)$ nelineárního systému regulovaného pomocí PID regulátoru (žlutá) a ON/OFF regulátoru (modrá)	15

Úkol 1

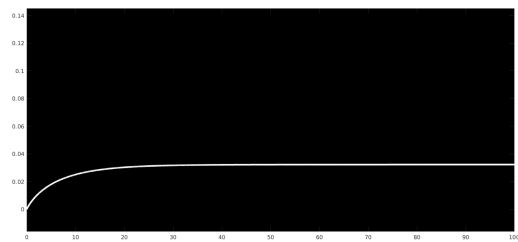
V této části zadání jsem měl ověřit, zda je systém, na který budeme sestavovat regulátor lineární, a zároveň časově invariantní (LTI). Pro to, aby byl systém lineární, musí být splněny podmínky homogenity a aditivity.

Ověření homogenity

Homogenitu ověříme tak, že původní signál vynásobíme libovolnou konstantou (v našem případě zvolíme $k=0.5$) a pokud je systém homogenní, tak všechny jeho hodnoty v čase t budou k -krát větší. Toto ověříme pomocí kurzorů v grafu funkce systému a funkce systému krát konstanta pomocí kurzorů.



Obrázek 1: Závislost výšky hladiny regulovaného systému v závislosti na čase s průtokem vynásobeným konst. $k = 1$

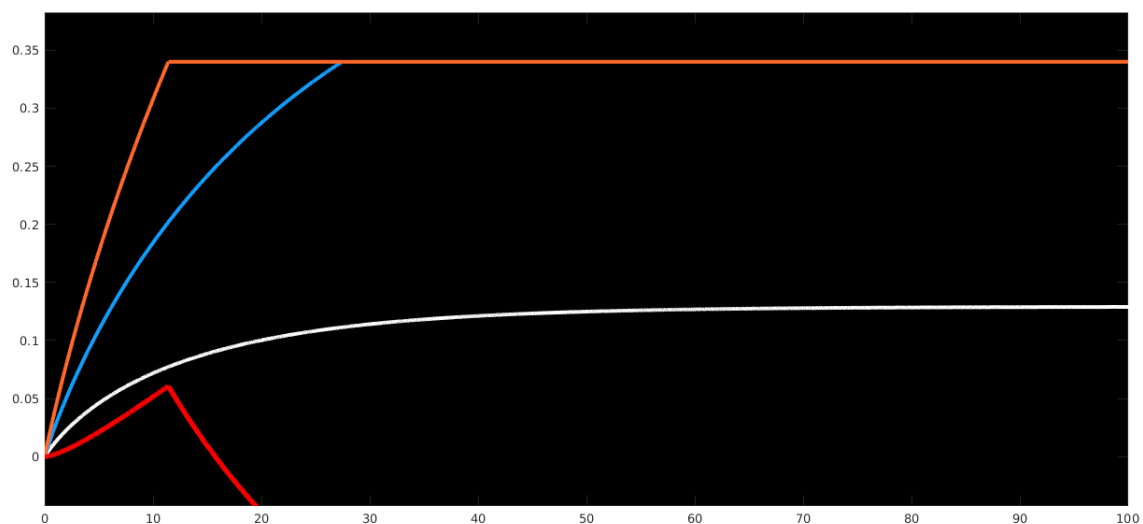


Obrázek 2: Závislost výšky hladiny regulovaného systému v závislosti na čase s průtokem vynásobeným konst. $k = 0.5$

Na těchto grafek se stejným měřítkem můžeme vidět, že pokud vstupní signál (průtok) změníme k -krát, tak výsledná hodnota se k -krát nezmění. Tudíž systém homogenní není.

Ověření aditivity

Aditiva znamená, že pokud budeme mít dva různé vstupní signály u_1 a u_2 , a dva různé výstupní signály y_1 a y_2 , tak výstupní signál y_{12} pro vstupní signál $u_{12} = u_1 + u_2$ bude roven součtu výstupních signálů odpovídajícím sečteným vstupním signálům, resp. $y_{12} = y_1 + y_2$. Toto si ověříme tím, že si vygrafujeme signály y_1 , y_2 , y_{12} , a rozdíl těchto signálů ($y_{12}-y_1-y_2$). Pokud bude rozdíl pořád roven 0, systém můžeme uvažovat za aditivní. Pro ověření jsem zvolil, že průběhy y_1 a y_2 budou oba začínat v časovém okamžiku 0. y_1 (bílá barva) bude mít velikost 0.0005, y_2 (modrá barva) bude mít velikost 0.001, a tím pádem velikost průběhu y_{12} (zelená barva) bude 0.0015.

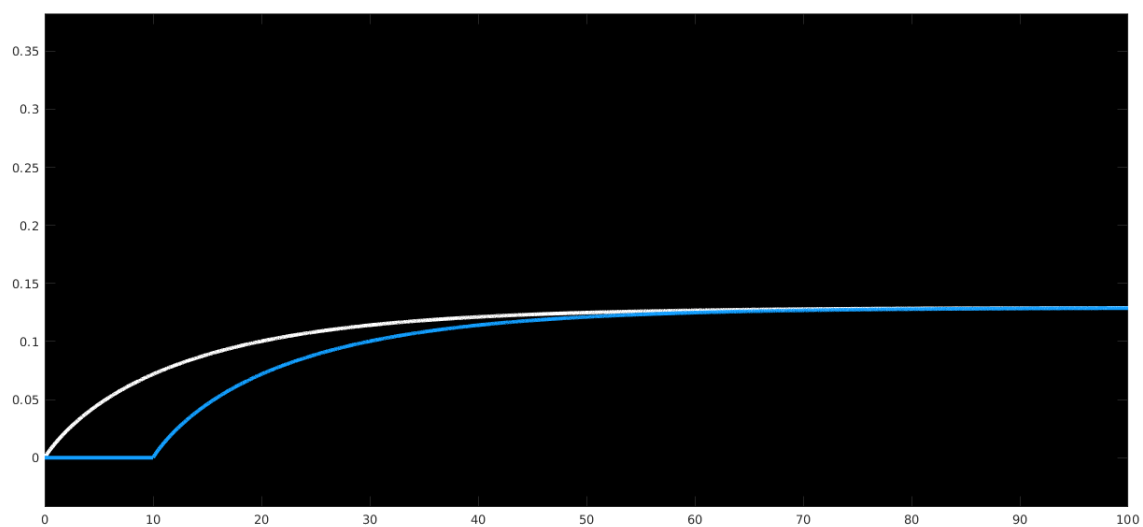


Obrázek 3: Graf vyvracející aditivitu

Z tohoto grafu lze vidět, že rozdíl hodnot (červená barva) není roven nule, a tím pádem systém není aditivní.

OVěření časové invarientnosti

Časově invariantní systém je takový, u kterého nezávisí na tom, v jakém časovém okamžiku na něj začneme působit vstupní veličinou. Toto lze ověřit tak, že budeme mít dva shodné signály y_1 a y_2 , a signál y_2 zpozdíme např. o 10s. Toto je zobrazené na následujícím grafu.



Obrázek 4: Graf dokazující časovou invarientnost obvodu

Na tomto grafu můžeme vidět, že pokud zpozdíme vstupní signál o 10s, tak nám to jeho tvar či velikost ustálené hodnoty nezmění. Systém je tedy časově invariantní.

Vyhodnocení

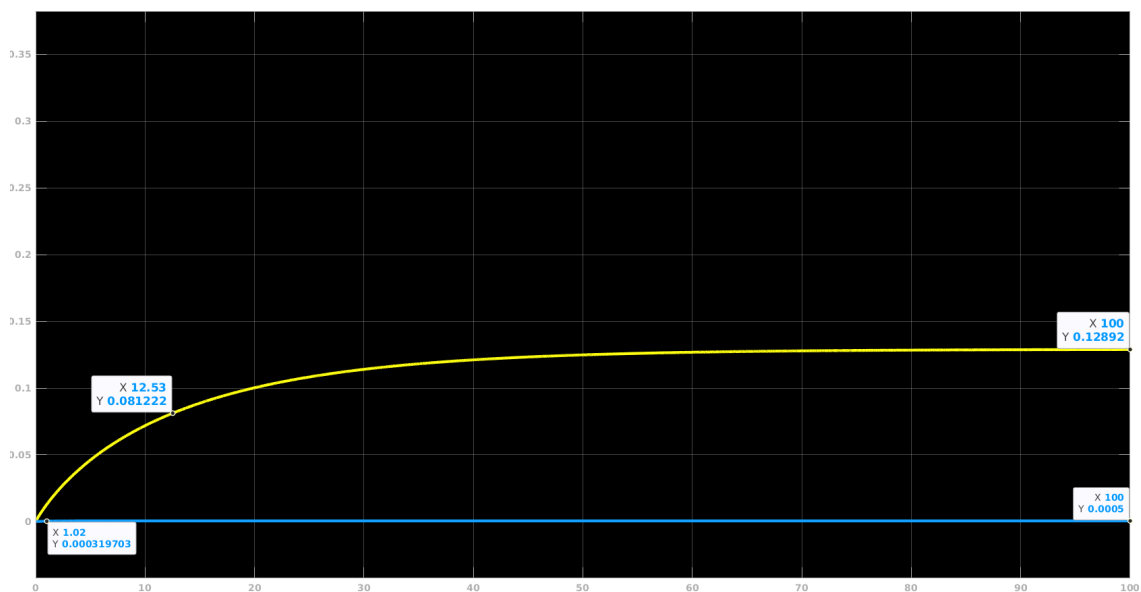
Z těchto zjištěných výsledků můžeme tvrdit, že se nejedná o LTI systém, protože ačkoliv je systém časově invariantní, tak systém není lineární, ale je nelineární, protože není splněna ani podmínka aditivity systému, ani homogenity.

Úkol 2

V tomto úkolu zjišťujeme parametry předchozího systému, při čemž tvrdíme, že předchozí systém je LTI při konstantním vstupu 0.5l/s. Na základě zjištěných parametrů poté určíme parametry náhradního lineárního modelu.

Zjištění parametrů LTI systému

V tomto úkolu je požadováno zobrazit přechodovou charakteristiku obou systémů.



Obrázek 5: Graf přechodové charakteristiky nelineární soustavy (žlutá) a jejího nenastaveného modelu (modrá) se zobrazenými hodnotami maxima a hodnotě za dobu τ

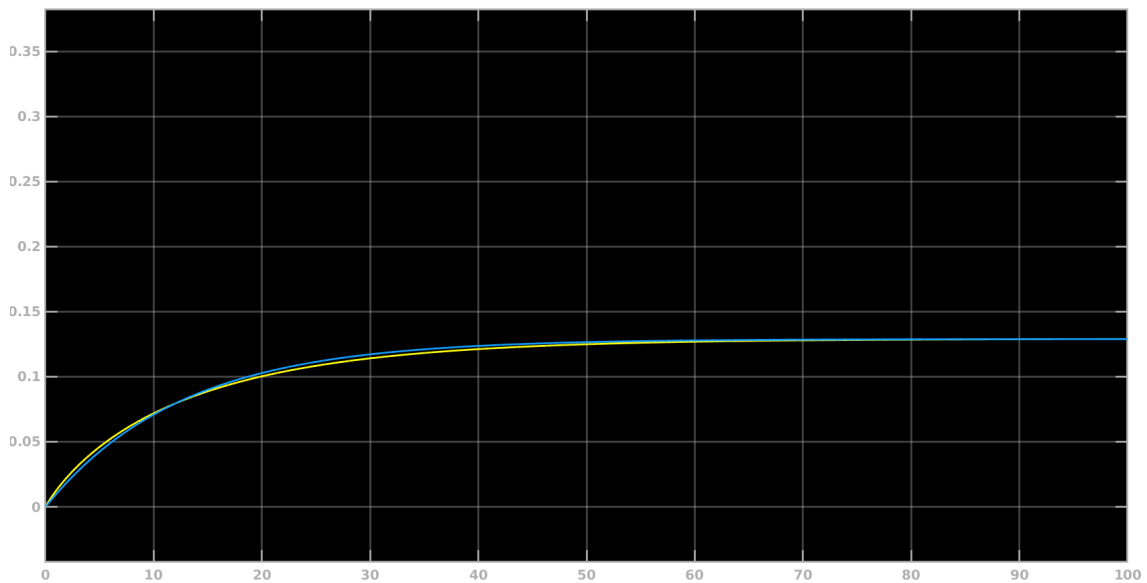
Z tohoto grafu lze vidět, že systém má jeden akumulátor energie, a má i disipativní prvek, který způsobuje autoregulaci. Tudíž se jedná o systém 1. řádu se ztrátami. Pro zjištění parametru zesílení K LTI (žlutého) průběhu je potřeba znát ustálenou hodnotu tohoto průběhu. To je zobrazeno v předešlém grafu. Zesílení K poté spočteme následovně:

$$K = \frac{y_{ust}}{u} = \frac{0.12892}{0.0005} = 257.84 \quad (1)$$

Pro zjištění časové konstanty τ jsem vypočetl jako $0.637y_{ust}$. Toto je možné, protože se jedná o systém 1. řádu

$$y(\tau) = 0.637 \cdot y_{ust} = 0.637 \cdot 0.12892 = 0.082122 \quad (2)$$

Tuto hodnotu výstupní veličiny jsem označil v grafu. Jelikož se do obvodu pustila vstupní veličina v časovém okamžiku nula, můžeme uvažovat časový okamžik ve chvíli, kdy dosáhne y vypočtené hodnoty. Potom je tedy časová konstanta $\tau = 12.53s$. Pokud dosadíme tedy za hodnoty K a T u lineárního modelu této soustavy dostaneme následující graf:



Obrázek 6: Graf přechodové charakteristiky nelineární soustavy (žlutá) a jejího nastaveného lineárního modelu (modrá) pomocí zjištěných hodnot z výpočtů (2) a (1)

Úkol 3

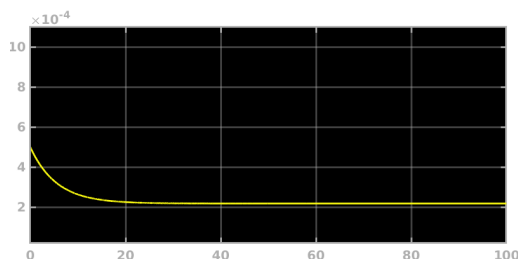
V tomto úkolu budeme regulovat model soustavy pomocí ideálního PID regulátoru. Pro realizaci této regulace je nutné stanovit si, které veličiny jsou které, a jaký mají rozměr.

Značka	Popis	Veličina	Jednotka
$w(t)$	Požadovaná hodnota výšky	výška	[m]
$e(t)$	Odchylka od požadované výšky	výška	[m]
$u(t)$	Akční zásah - vstup	průtok	[m ³ /s]
$y(t)$	Regulovaná veličina - výstup	výška	[m]

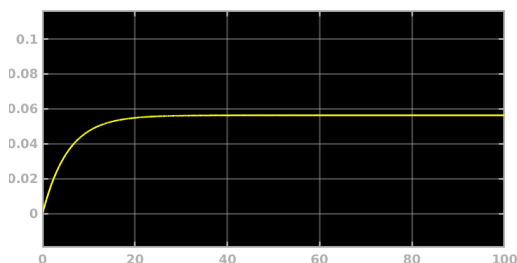
Tabulka 1: Veličiny regulační smyčky

Regulace pomocí složky P

Experimentálně jsem následně začal nastavovat jednotlivé složky regulátoru. Jako první jsem začal nastavovat pouze složku P. Tu jsem nastavil na hodnotu 0.005, protože je to nejvyšší hodnota, u kterého je maximální průtok, který uvažuji (resp. $0.0005 \text{ m}^3/\text{s}$).



Obrázek 7: Průběh akčního zásahu $u(t)$ ovládaným pouze P regulátorem s hodnotou $P = 0.005$

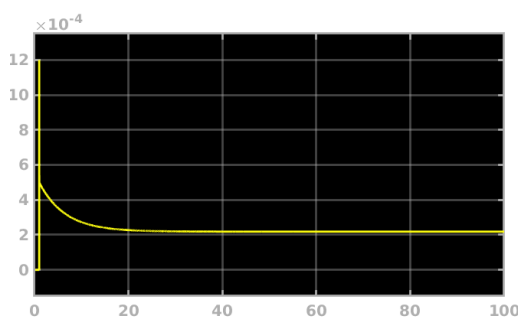


Obrázek 8: Průběh výšky hladiny systému $y(t)$ regulovaným pouze P regulátorem s hodnotou $P = 0.005$

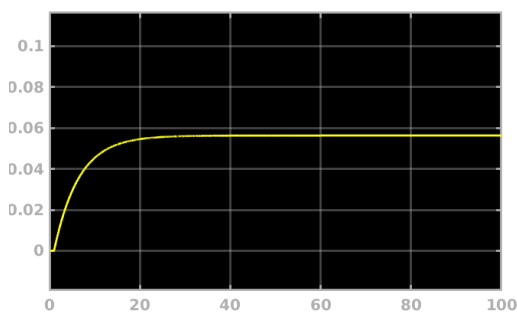
Jak lze z Obrázku 8 sledovat, tak P regulátor **NENÍ** schopen naregulovat požadovanou veličinu. Pokud bychom nastavili složku P 1, průtok by byl nereálný ($0.1 \text{ m}^3/\text{s}$). Pokud by byla hodnota P nižší, ustálená hodnota výsledné hladiny by se také snížila. Pomocí regulátoru P jsme schopni v tomto případě naregulovat výšku pouze na hodnotu 0.05632 m z požadované výšky 0.1 m .

Regulace pomocí složek PD

Jelikož složka P reaguje na změnu požadované odchylky, tak se jeho průběh nebude moc lišit od regulace pomocí složky P. Nejvyšší změna nastave v čase, kdy zastavíme požadovanou hodnotu, a následně pouze urychlí, za jak dlouho výsledný průběh zakonverguje. Ponecháme-li konstantu P z minulé úlohy stejnou, můžeme experimentálně nastavit konstantu D.



Obrázek 9: Průběh akčního zásahu $u(t)$ ovládaným PD regulátorem s hodnotami $P = 0.005$ a $D = 0.00007$



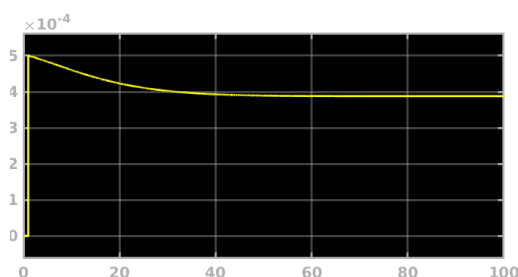
Obrázek 10: Průběh výšky hladiny systému $y(t)$ regulovaným PD regulátorem s hodnotami $P = 0.005$ a $D = 0.00007$

Složku D jsem experimentálně nastavil na hodnotu 0.00007. Tato hodnota způsobuje impuls

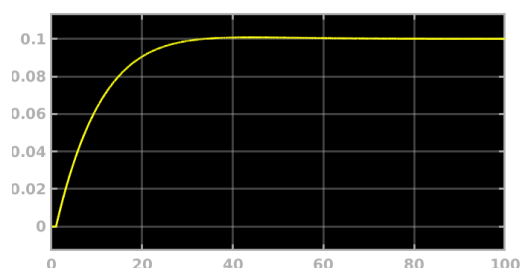
v počátku působení, kde se během časového okamžiku limitně blíží k 0s na vstupu objeví hodnota vstupu 1.2l/s, což přesahuje mnou zvolené maximum. Toto avšak zanedbám, protože se jedná o jev způsobený použitím prvku D.

Regulace pomocí složek PI

Regulační složka I integruje hodnotu regulační odchylky a tuto hodnotu poté přičítá po vynásobení integrační konstanty k hodnotě akčního zásahu. Způsobí to, že se hodnota $y(t)$ ustálí po delší době, ale ustálí se na hodnotě $w(t)$.



Obrázek 11: Průběh akčního zásahu $u(t)$ ovládaným PI regulátorem s hodnotami $P = 0.005$ a $I = 0.00048$

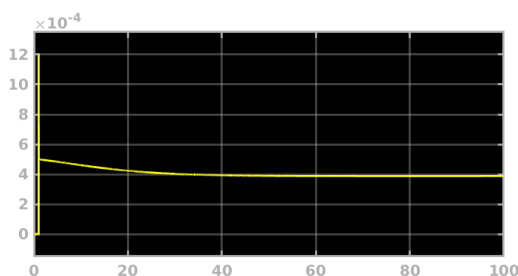


Obrázek 12: Průběh výšky hladiny systému $y(t)$ regulovaným PI regulátorem s hodnotami $P = 0.005$ a $I = 0.00048$

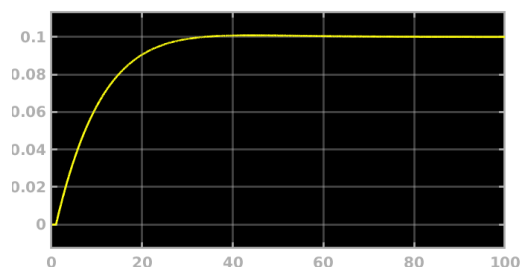
Na grafu $y(t)$ lze sledovat, že průběh se oproti P, PI, PD regulaci ustálí na požadované hodnotě. Pokud integrační konstantu zvýšíme (z hodnoty 0.00048 na 0.00096), dojde k docela výraznému zkřížení regulované hodnoty a přesahu maximální hodnoty akčního zásahu.

Regulace pomocí složek PID

Pokud zkombinujeme všechny předešlé regulační složky, dostaneme experimentálně navolený PID regulátor.



Obrázek 13: Průběh akčního zásahu $u(t)$ ovládaným PID regulátorem s hodnotami $P = 0.005$, $I = 0.00048$ a $D = 0.00007$



Obrázek 14: Průběh výšky hladiny systému $y(t)$ regulovaným PID regulátorem s hodnotami $P = 0.005$, $I = 0.00048$ a $D = 0.00007$

Tento průběh vcelku rychle konverguje, což je dobrá vlastnost. Jediný nereálný jev je počáteční impuls sekce D. Tento jev je vysvětlen v sekci PD.

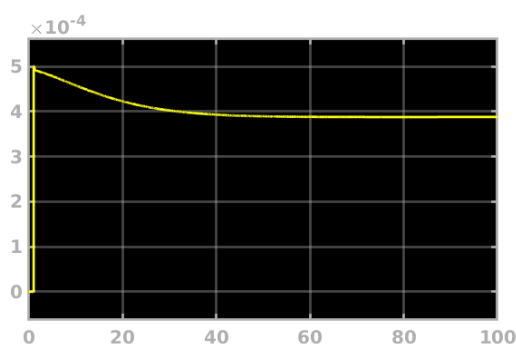
Konstanta	Hodnota
P	0.005
I	0.00048
D	0.00007

Tabulka 2: Hodnoty konstant pro ideální PID

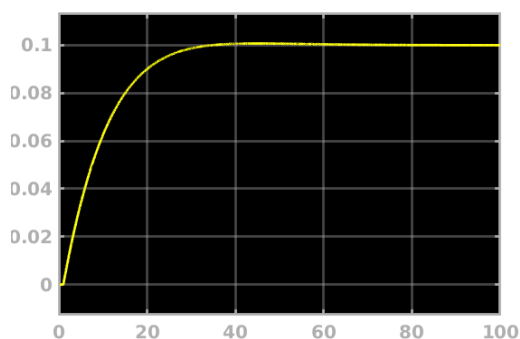
Úkol 4

Nastavení PID pomocí předešlých hodnot

V tomto úkolu jsme měli jako první nastavit skutečný PID regulátor pomocí nastavených hodnot z úkolu č. 3. Po nastavení mi vyšly následující grafy:



Obrázek 15: Průběh akčního zásahu $u(t)$ ovládaným reálným PID regulátorem s hodnotami $P = 0.005$, $I = 0.00048$ a $D = 0.00007$



Obrázek 16: Průběh výšky hladiny systému $y(t)$ regulovaným reálným PID regulátorem s hodnotami $P = 0.005$, $I = 0.00048$ a $D = 0.00007$

U prvního grafu lze sledovat, že oproti ideálnímu PID regulátoru zmizel původní impuls. Ve druhém grafu lze vidět, že jsou si průběhy skutečného a ideálního PID regulátoru identické.

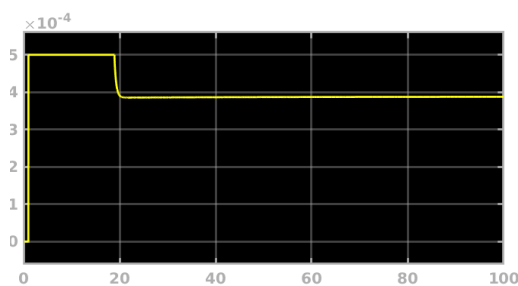
Nastavení PID podle experimentálně vyladěných hodnot

V další části jsme měli přenastavit PID tak, aby to regulovalo podle nás. Experimentálně jsem tedy nastavil následující hodnoty:

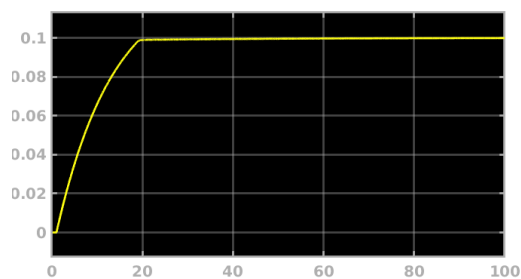
Konstanta	Hodnota
P	0.35
I	0.01
D	0.07

Tabulka 3: Odladěné hodnoty pro skutečný PID

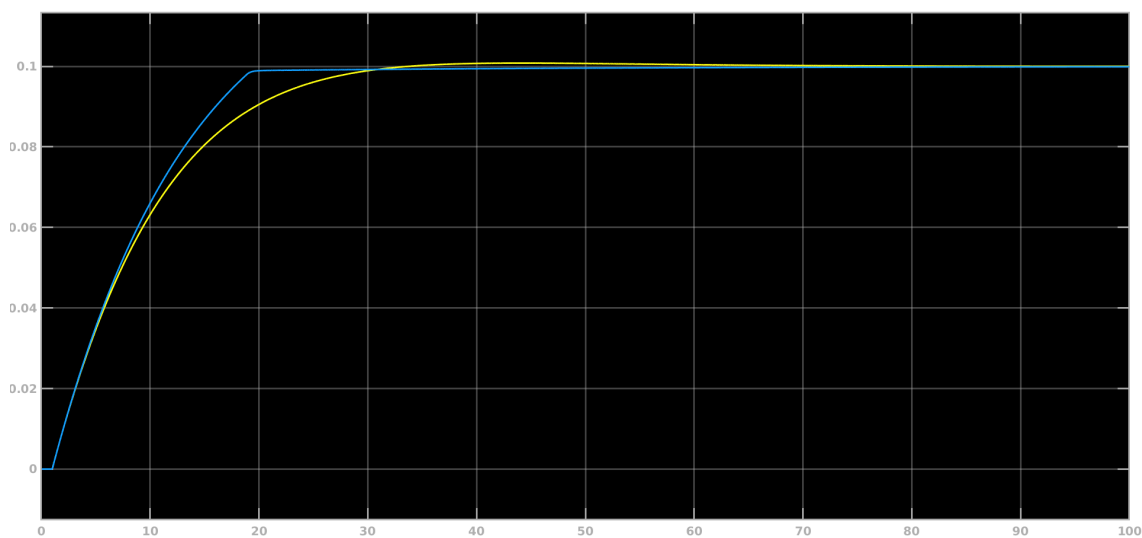
Při těchto hodnotách systém konvergoval podstatně rychleji, protože jsme schopni propouštět maximální průtok bez obav, že bychom ho přestřelili, jak tomu bylo v Úkolu 3. Průběhy poté měli následující tvar:



Obrázek 17: Průběh akčního zásahu $u(t)$ ovládaným reálným odladěným PID regulátorem s hodnotami $P = 0.35$, $I = 0.01$ a $D = 0.07$



Obrázek 18: Průběh výšky hladiny systému $y(t)$ regulovaným reálným odladěným PID regulátorem s hodnotami $P = 0.35$, $I = 0.01$ a $D = 0.07$

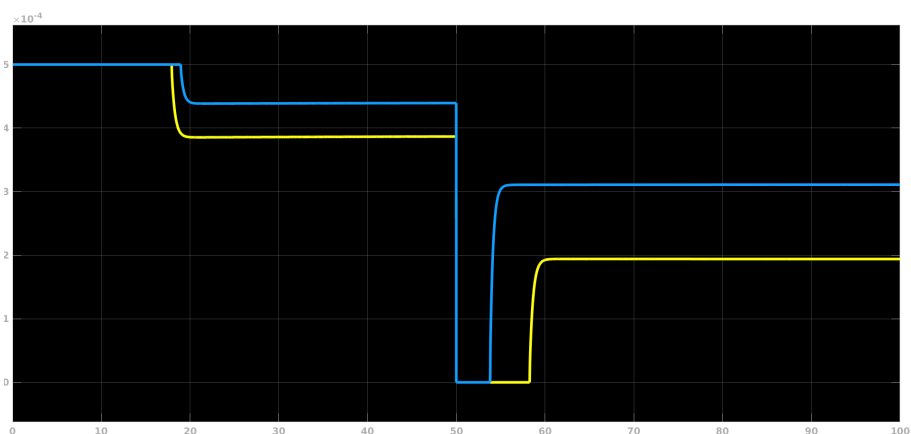


Obrázek 19: Porovnání regulace laděné na ideálním PID regulátoru (žlutá) a skutečném PID regulátoru (modrá)

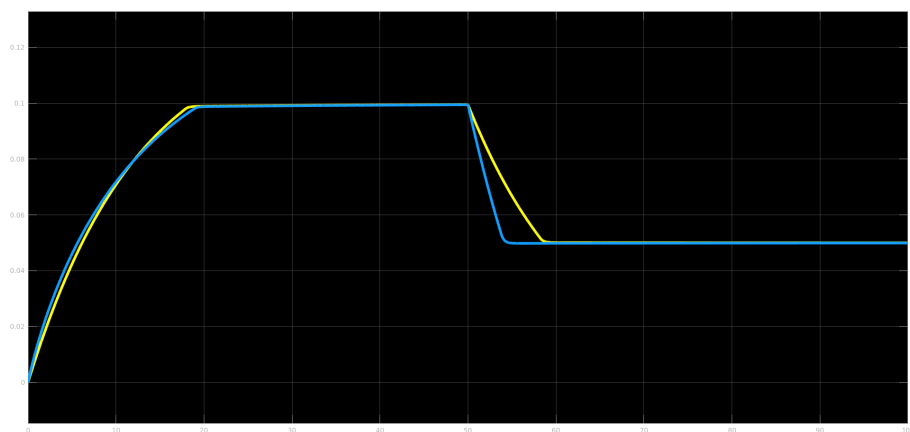
Úkol 5

Porovnání vlivu PID na nelineární a LTI systém

V tomto úkolu jsme měli použít regulátor z předchozí úlohy na nelineární systém, který jsme nahradili lineárním v úloze 1. Simulací nelineárního systému v porovnání s náhradním lineárním systémem jsem zjistil, že má delší dobu ustálení při nárůstu, ale nižší dobu ustálení při poklesu. Toto jsem nasimuloval tak, že jsem požadovanou výšku $w(t)$ v čase $t=0$ nastavil na hodnotu 0.1m, a v čase $t=50s$ jsem ji přenastavil na hodnotu 0.05m. Tímto jsme dostali následující průběhy akční veličiny $u(t)$ a regulované veličiny $y(t)$. Pokud se podíváme na průběhy akčních veličin $u(t)$ a (Obrázek 20), můžeme sledovat, že u průběhu akčního zásahu u nelineárního systému se nádrž naplňuje delší dobu, a je zapotřebí pro udržení hladiny na požadované hodnotě je zapotřebí vyšší průtok. Naopak pokud hladinu chceme snížit, bude zapotřebí menší časový okamžik. Lze zde taky sledovat to, že je zapotřebí daleko vyšší průtok pro udržení nižší hladiny. Toto je pravděpodobně způsobeno zanedbáním druhé odmocniny u LTI modelu.



Obrázek 20: Průběhy akčních zásahů nelineárního a LTI systému regulovaných PID regulací s upravou $w(t)$ v čase 50s na polovinu požadované hodnoty



Obrázek 21: Průběhy regulovaných veličin nelineárního a LTI systému regulovaných PID regulací s upravou $w(t)$ v čase 50s na polovinu požadované hodnoty

Úkol 6

Popis bloku Relay s hysterezí

V této sekci budeme realizovat regulaci tohoto systému pomocí ON/OFF regulace. Pro realizaci této regulace budeme využívat blok Relay s hysterezí. Zkoumáním dokumentace MATLAB Simulinku jsem zjistil, že Relay blok má 4 parametry. Tyto parametry mají následující charakterity dle mnou vytvořené tabulky.

Název pole v Simulinku	Veličina	Popis
Switch on point	$e(t)$	Minimální velikost regulační odchylky, při které dochází k sepnutí relay.
Switch off point	$e(t)$	Velikost regulační odchylky, při které dochází k vypnutí relay
Output when on	$u(t)$	Velikost průtoku při sepnutém relay
Output when off	$u(t)$	Velikost průtoku při rozepnutém relay

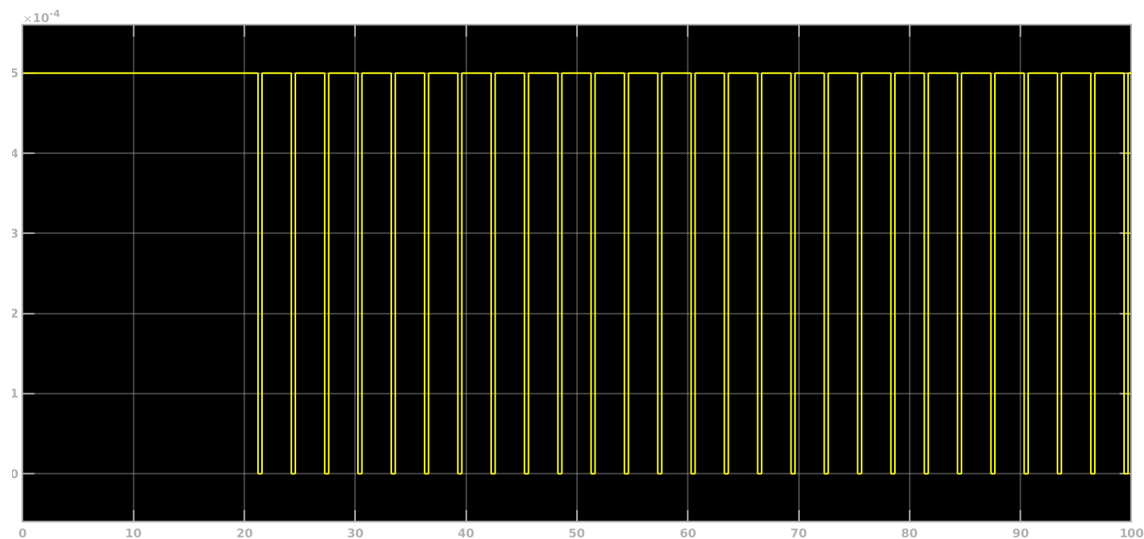
Tabulka 4: Legenda k Relay s Hysterezí

Realizace ON/OFF regulace pomocí bloku Relay s hysterezí

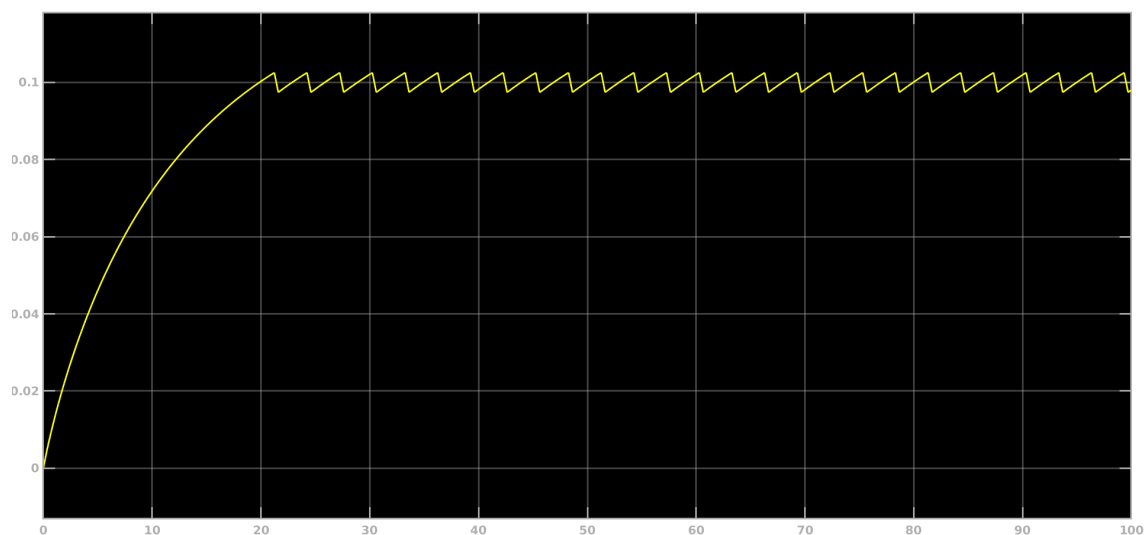
Nejprve je nutné si určit, jak přesně chceme mít naregulovanou výšku hladiny. Já jsem si určit, že hladinu chci udržovat v rozsahu $\pm 2.5\text{mm}$ (resp. 0.0025m). Průtok, kterým budeme regulovat je 0.5l/s , což musím také nastavit v nastavení bloku relay s hysterezí. Pro tuto funkčnost nastavíme hodnoty bloku relay s hysterezí dle následující tabulky. Pod tabulkou je také zobrazen průběh $u(t)$ a $y(t)$.

Název pole v Simulinku	Veličina	Hodnota
Switch on point	$e(t)$	0.0025
Switch off point	$e(t)$	-0.0025
Output when on	$u(t)$	0.0005
Output when off	$u(t)$	0

Tabulka 5: Nastavení bloku Relay s hysterezí



Obrázek 22: Průběhy akčních zásahů $u(t)$ nelineárního systému regulovaného pomocí PID regulátoru (žlutá) a ON/OFF regulátoru (modrá)

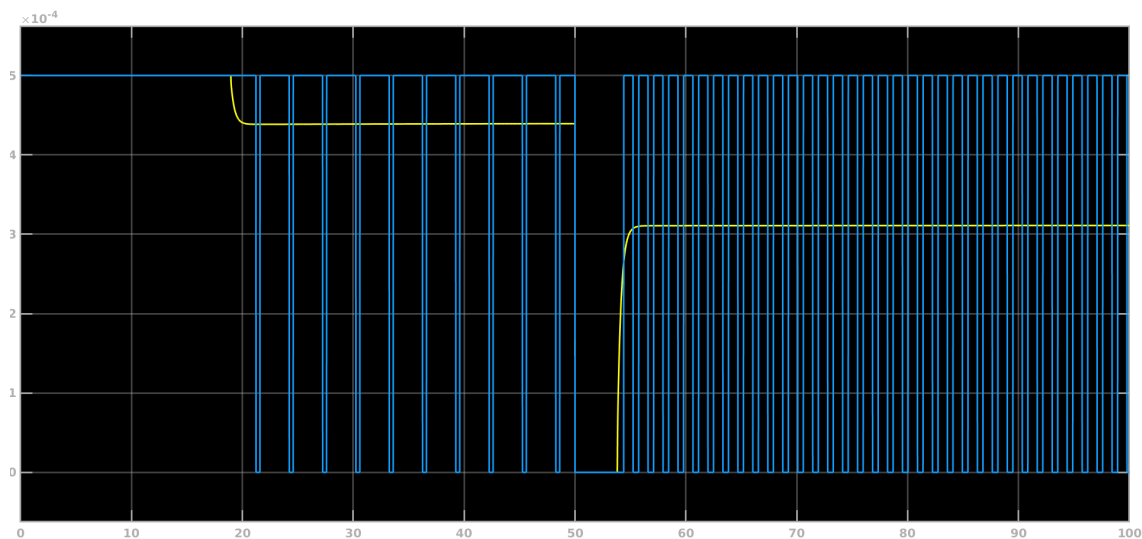


Obrázek 23: Průběhy regulované veličiny $y(t)$ nelineárního systému regulovaného pomocí PID regulátoru (žlutá) a ON/OFF regulátoru (modrá)

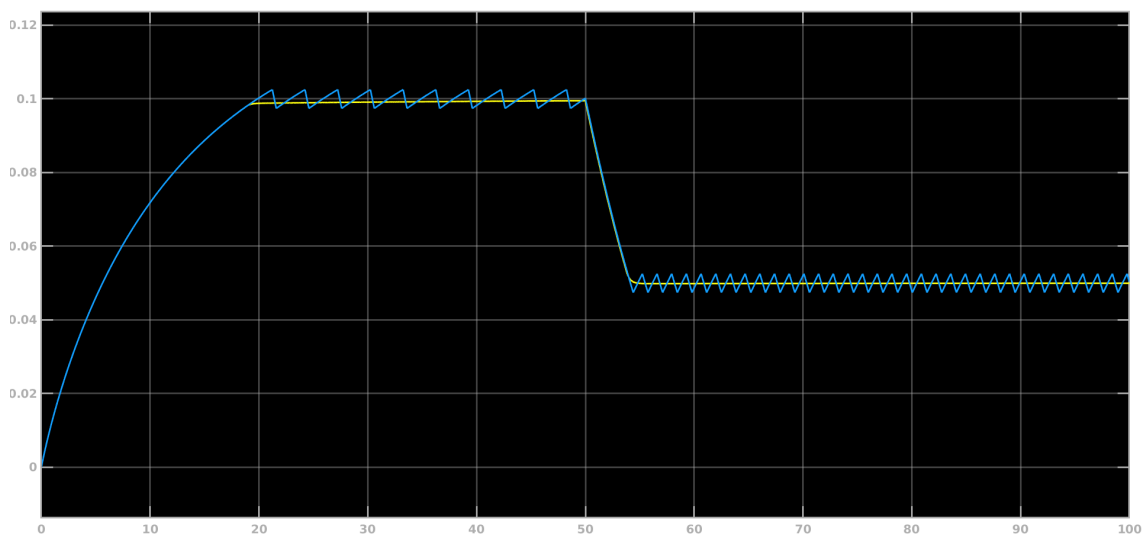
Na těchto grafech můžeme vidět, že tento způsob regulace reguluje v rozsahu kolem požadované hodnoty tak, jak jsme ho nastavili. Výstupní signál osciluje kolem požadované hodnoty. V tomto případě dochází avšak k přesahu, neboli k záporné hodnotě odchylky $e(t)$. Toto nemusí být vyloženo špatně, ale může docházet kvůli tomuto k nekonečnému přetékání nádrže. Tomuto je však možno jednoduchými limitacemi rozsahu vstupní veličiny (V tomto případě např. omezit rozsah $w(t)$ na $<0.0025, (\text{max. výška nádrže})-0.0025>$).

Porovnání ON/OFF regulátoru s PID regulátorem

V této části si porovnáme 2 již vytvořené regulace proti sobě. Na následujících grafech je zobrazen průběh dvou regulátorů (PID a ON/OFF) působící na dva shodné nelineární systémy. Vstupní signál požadované hodnoty budu používat stejný jako v úkolu č. 5, tzn. signál s prvotní požadovanou hodnotou 0.1m, který se v časovém okamžiku $t=50s$ změní na hodnotu 0.05m.



Obrázek 24: Průběhy regulované veličiny $y(t)$ nelineárního systému regulovaného pomocí PID regulátoru (žlutá) a ON/OFF regulátoru (modrá)



Obrázek 25: Průběhy regulované veličiny $y(t)$ nelineárního systému regulovaného pomocí PID regulátoru (žlutá) a ON/OFF regulátoru (modrá)

Na těchto grafech jde vidět, že ON/OFF regulátor dosáhne požadované hodnoty ve stejnou dobu jako regulátor PID.

Závěr

Simulacemi provedenými v tomto projektu jsme si objasnili jak funguje PID regulace a jak se experimentálně nastavují její parametry. Pro samotné nastavování parametrů jsme první nahradili nelineární systém systémem LTI. Parametry tohoto systému je možno nalézt v tabulce (tab. 1).

Poté jsme nastavovali složku P, a pokud bychom regulovali pouze pomocí této složky, nikdy bychom nedosáhli očekávané hodnoty. Dále jsme nastavovali složku D v zapojení PD. Obvod se choval téměř stejně, jako u samotné složky P kvůli charakteru derivační složky. Závěrem jsme nastavovali složku I, která nám zajistila, že se v nějakém časovém okamžiku dostaneme do požadované hodnoty. Závěrem experimentálního nastavování jsme tyto nastavené hodnoty zkombinovaly do ideálního PID regulátoru, který zkombinoval všechny vlastnosti předešlých systémů. Nastavené hodnoty jsou možny vidět v tabulce (tab 2).

Tyto hodnoty jsme následně nastavili do reálného PID regulátoru. Ten měl následně totožný průběh jako měl průběh ideální. Poté, co jsem tyto konstanty změnil na experimentálně odladěnější hodnoty (tab 3) jsem tyto dva regulátory porovnal, a zjistil, že při laděném reálném PID regulátoru dosáhl obvod požadované hodnoty zhruba o 10s dříve.

Následně jsem tento regulátor zkusil aplikovat na nelineární systém. Tento systém reguloval s různými rychlostmi konvergence pro stoupání nebo klesání, a potřeboval vyšší průtok pro udržení stálé hladiny. Toto bylo pravděpodobně způsobeno nelinearitou druhé odmocniny.

Závěrem jsem si zkusil nastavení ON/OFF regulátoru pro stejný nelineární systém. Nastavoval jsem to tak, aby se výsledná hodnota pohybovala $\pm 2.5\text{mm}$ kolem požadované hodnoty. Nastavení ON/OFF regulace je uvedeno v tabulce (tab. 5). Toto způsobilo po dosažení požadované hodnoty pilovitý průběh okolo požadované hodnoty. Při porovnání tohoto způsobu regulace oproti PID jsem zhodnotil, že ON/OFF regulace je horší na stav ovládání průtoku, jelikož ho velmi často musím celý otevřít a zavřít. Tímto namáháním by se mohl rychle opotřebit, což u PID regulace zas takový problém nebude. Veliký problém PID regulace je avšak jeho cena, tudíž si dovedu představit použití ON/OFF regulace, realizované pomocí levného mikročipu a relátka, na místa, kde rozhoduje cena.