

Dynamický model pro modelování přenosů

Dynamic model for modeling of transfers

Erik KOLBINGER



Vložit oficiální zadání diplomové/bakalářské práce

Dovoluji si tímto poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Mgr. Milanu Adámkovi, Ph.D. za usměrňování v plnění zadání bakalářské práce a všechny zodpovězené dotazy týkající se dané problematiky.

Dále tímto děkuji manželce za její trpělivost.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 1. 9. 2005

.....
Erik KOLBINGER

Abstrakt

Abstrakt česky

Tato diplomová práce pojednává o vytvoření náhradního modelu pro modelování přenosů. V úvodní části je rozebrána teorie systému. Jsou zde uvedeny jednotlivé typy soustav, spolu s jejich identifikací. Další část se zabývá popisem vlastností starého modelu, jeho zpracováním pomocí programu MATLAB a následnou vizualizací. Popisuje způsob řešení nového modelu a jeho mechanické řešení. Zdůvodňuje použité součásti. Dále se zabývá nastavením přenosových charakteristik. Na závěr jsou porovnávány vlastnosti a změřené hodnoty nového modelu se starým modelem.

Abstrakt ve světovém jazyce

This thesis is about spare dynamic model for modeling of transfers. The introduction includes the theory of systems. There are a few types of systems in the introduction. It let us know how they work and how we can identify them. Next part describes original system by software MATLAB. It's about solution of a new model. It describe used parts and setting up of the transfer features. The final part is aimed at comparing of both models.

OBSAH

1	Teoretická část.....	
1.1	Systém.....	
1.1.1	Pojem systém.....	
1.1.2	Chování systému.....	
1.1.3	Struktura systému.....	
1.1.4	Analýza systému.....	
1.1.5	Modelování systému.....	
1.1.6	Popis statických a dynamických vlastností systému.....	
1.1.7	Podmínky fyzikální realizovatelnosti.....	
1.1.8	Přenos systému.....	
1.1.9	Přechodová funkce a přechodová charakteristika.....	
1.1.10	Impulsová funkce a impulsová charakteristika systému.....	
1.2	Dynamické vlastnosti systému.....	
1.2.1	Dynamické vlastnosti systému.....	
1.2.2	Dynamické chování systému.....	
1.3	Přechodové charakteristiky.....	
1.3.1	Systém nultého řádu.....	
1.3.2	Systém prvního řádu.....	
1.3.3	Systémy vyšších řádů.....	
1.3.4	Přechodové charakteristiky I a D systémů.....	
1.4	Jednoduché metody identifikace soustavy.....	
1.4.1	Proporcionální nekmitavé soustavy.....	
2	Praktická část.....	
2.1	Stanovení cílů.....	
2.2	Popis původního modelu.....	
2.3	Použitý způsob měření.....	
2.4	Realizace.....	
2.4.1	Náhradní zapojení soustav.....	
2.4.2	Vlastnosti RC členů.....	
2.4.3	Vlastnosti operačních zesilovačů.....	
2.4.4	Funkce, blokové schéma popis jednotlivých bloků.....	
2.4.5	Napájecí zdroj.....	
2.4.6	Mechanické řešení, oživení a nastavení požadovaných hodnot.....	
2.4.7	Naměřené hodnoty.....	
2.4.8	Zařízení ve vztahu k normám ČSN.....	

ÚVOD

Pro výuku budoucích odborníků, kteří mají být úspěšní v praxi, je nutné jim zajistit možnost si zařízení „osahat“. Ještě dříve než dojde k jejich samostatnému zařazení do běžné praxe. Zde se naskýtá možnost pomocí jednoduchých simulátorů jim umožnit vyzkoušení všeho, co jim v pozdější době zjednoduší nástup a uplatnění v praxi. Při samotném použití jednoduchých modelů nehrozí žádné nebezpečí poškození zařízení, jehož hodnota se blíží závratným cenám. Je zde ovšem nebezpečí pro samotné simulátory, že experimentování studentů přejde ve snahu zjistit, kam až se dá zajít. Proto je nutné tyto náhradní modely vytvořit odolné jak po mechanické stránce, tak i po stránce elektrické. Z těchto protichůdných požadavků, kdy na jedné straně je snaha vytvořit jednoduché, levné a fungující zařízení a na straně druhé, aby toto zařízení bylo velmi odolné proti vnějším vlivům, vyvstal požadavek na samotný návrh a tvorbu zařízení. Přičemž je zde ještě povinnost splnit požadavky, které na nás kladou normy ČSN, jež jsou poměrně přísné.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Systém

1.1.1 Pojem systém

Systémem se rozumí obecně soubor prvků, mezi nimiž existuje vzájemná vazba. Jako celek pak má určité vztahy ke svému okolí. Každý systém má dvě základní vlastnosti. Chování systému charakterizující jeho vnější vztahy k okolí. Zde je vhodná poznámka o tom, že podle vztahu s okolím rozlišujeme systémy uzavřené a systémy otevřené. (Chování systému je popsáno jako závislost mezi podněty z okolí systému působícími na jeho vstupy a příslušné odezvy objevujícími se na výstupu ze systému. Strukturu systému, charakterizuje jeho vnitřní funkční uspořádání. Strukturou systému se rozumí jednak způsob uspořádání (organizace) vzájemných vazeb mezi prvky systému, jednak chování těchto prvků. Vztah obou vlastností systému je úzce provázán. Lze říci, že určité strukturu odpovídá určité chování a naopak, že určitému chování odpovídá určitá třída struktur, definovaná tímto chováním. Podaří-li se nám definovat ve zvoleném objektu jeho části a vztahy mezi nimi, pak jsme definovali systém v daném objektu. Jednotlivé uvažované části nazýváme prvky a vzájemné působení mezi těmito částmi vazby. Při definování systému dochází k jeho zjednodušování. To provádíme dvěma způsoby:

- eliminací, při ní některé prvky nebereme v úvahu
- agregací, v níž některé prvky nebo vztahy pro zjednodušení slučujeme.

1.1.2 Chování systému

Dynamické vlastnosti systému určují jeho chování. Statické vlastnosti jsou limitním případem dynamických vlastností po doznění přechodového děje. Chování je vyjádřeno závislostí mezi výstupním a vstupním signálem systému. Průběh v čase vstupního signálu se někdy nazývá akcí nebo také vzruchem a vyvolaný průběh výstupního signálu reakcí nebo též odezvou systému. Chování systému lze rovněž studovat. A to tak, že známe cíle které chce systém dosáhnout a zkoumáme způsoby, jakým tato snaha může být uskutečněna. Tento druh chování systému se nazývá cílové chování. S chováním systému je spjat čas t , který obsahuje interval (konečný či nekonečný) reálných čísel. Nahodilé chování můžeme vyjádřit jen staticky, a to i v tom případě, kdy známe strukturu systému.

1.1.3 Struktura systému

Každý systém S je tvořen jednotlivými prvky, které jsou jeho základními částmi. Prvek chápeme jako relativně uzavřený systém nižšího řádu rozlišovací úrovně, vzhledem k uzavřenému systému S . Prvek se vyznačuje tím, že se z hlediska příslušné rozlišovací úrovně (na níž je systém definován) tvoří již dále nedělitelný celek. Rozlišovací úrovní je myšlena úroveň omezující rozeznávací schopnosti jen určité hranice odpovídající požadavkům vyšetřování daného systému S . Prvek tedy pro danou rozlišovací úroveň již dále nečleníme, i kdybychom znali jeho strukturu. Pro chování prvků platí stejné zásady jako pro chování systémů. Při popisu struktury libovolného systému se používají tři základní vazby. Sériová vazba představuje vazbu, v níž vstupní vektor, případně část jeho jednoho prvku je propojena se vstupním vektorem, případně částí jeho druhého prvku, vazbami. Paralelní vazba je charakterizována tím, že výstupní vektor, případně část jeho jednoho prvku je vstupním vektorem nebo částí jeho dalších dvou prvků. Zpětná vazba představuje zapojení, kdy část vstupního vektoru prvku je propojena na vstup téhož prvku a stává se částí jeho vstupního vektoru (.

1.1.4 Analýza systému

Při samotné analýze systému jde o poznávání struktury systému, její zachycení, popis a určení chování systému. Toto chování lze chápat jako reakci samotného systému na podnět vyvolaný z okolí. Je zajímavé, že některé systémy nejsou schopny svůj stav měnit. Samozřejmě jen v určitém časovém období. Tyto systémy označujeme jako stochastické. Naproti tomu naopak existují systémy, které svůj stav v průběhu času mění, tyto se nazývají dynamické.

1.1.5 Modelování systému

Pro studium složitých jevů a zákonitostí ve vědě a technice využíváme modelů těchto jevů. Model musí vyjadřovat ty stránky daného jevu, které jsou z hlediska studia a zkoumání důležité. Využívá se při tom tzv. analogie. Vytvoříme-li umělý model systému, jehož chování bude podobné chování původního systému, potom umělý systém je modelem původních systémů. Proces, který je spojen s tvorbou modelu se nazývá modelování. Při tvorbě modelu dochází z hlediska přesnosti k redukci vzhledem k původnímu systému. Jistá výhoda vzniká při možnosti vytvoření matematického modelu. Máme-li jej k dispozici, potom experimentování se systémem je možno provádět na něm. Je možné napodobit situace nebo vytvářet podmínky, které mohou nastat u skutečného systému během normálního stavu, resp. havarijních pracovních podmínek. Je zde ovšem nevýhoda spojená se vznikem matematického modelu. Tvorba přesného matematického modelu je zdlouhavá a ne

vždy je danou situaci možno nasimulovat. Matematický model musí umožňovat jak kvantitativní, tak i kvalitativní analýzu chování. To znamená analýzu jeho statických i dynamických vlastností. Při analytickém způsobu identifikace se matematický model daného systému získá sestavením rovnic vyjadřujících vztahy mezi vstupními a stavovými signály. Při sestavování rovnic vycházíme z látkové nebo energetické rovnováhy, z rovnic fyzikálních procesů atp. (.

Analytický model vyžaduje veliké teoretické a praktické znalosti, uplatňování nejrozličnějších zjednodušujících předpokladů a aproximace složitých vztahů jednoduššími. Analyticky získaný matematický model lze charakterizovat jako vnitřní popis chování systému. Jeho parametry mají fyzikální smysl a popisují chování systému ve větším rozsahu. Při empirickém způsobu identifikace se matematický model určí na základě experimentálně získaných údajů o chování daného systému. Předpokládá se přitom, že hodnoty vstupních a výstupních signálů lze měřit. Empiricky získaný model lze charakterizovat jako vnější popis chování daného systému. Má většinou jednoduchý tvar, parametry se snadno určují, ale často nemají fyzikální smysl. Takový model je často použitelný v menším rozsahu, tedy příkladně kolem pracovního bodu či v ustáleném stavu.

1.1.6 Popis statických a dynamických vlastností systému

Řízený lineární dynamický systém má obecně vstupní veličinu $u(t)$ a výstupní veličinu $y(t)$. Stavové vnitřní veličiny jsou označeny $x(t)$ (.

Systém může mít ve skutečnosti třeba jen jednu vstupní a jednu výstupní veličinu. Tento systém se nazývá jednorozměrový. V případě většího množství buď vstupních, či výstupních veličin jde už o mnohorozměrový systém. Počet vstupních signálů tvoří vektor $u(t)$ vstupních veličin. Stavový vektor $x(t)$ má počet prvků rovný řádu systému. Vnější popis systému, jenž vyjadřuje dynamické vlastnosti, je dán vztahem mezi vstupem a výstupem systému. Nevíme sice, co se uvnitř děje, neznáme ani jeho strukturu, jen jsme schopni analyzovat reakce systému na vstupní signál. Jedná se o jednoduché a názorné způsoby, z nichž pro systém s jednou vstupní i výstupní veličinou použijeme lineární diferenciální rovnici systému, přenos systému, přechodovou charakteristiku, atd.

Zvláštním případem je statická charakteristika, což je grafická závislost mezi výstupní veličinou systému na vstupní veličině v ustáleném stavu, tedy až po odeznění přechodového děje (.

$$\sigma_{T_I} y(A) = \lim_{t \rightarrow A} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) \quad 134$$

po matematické úpravě dostaneme tvar:

$$y = f(u) \quad 134$$

Vnitřní popis systému vyjadřuje dynamické vlastnosti reakcí mezi vstupem, vnitřním stavem a výstupem systému. Jednoznačně jde o dokonalejší způsob popisu. Samotné chování systému s jednou vstupní a jednou výstupní veličinou je možné popsat lineární diferenciální rovnicí (

$$a_n y^{(n)}(t) + a_{n-1} y^{(n-1)}(t) + \dots + a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_m u^{(m)}(t) + \dots + b_0 u(t) \quad 134$$

kde a_i, b_j jsou konstantní koeficienty

$u(t)$ – vstupní veličina

$y(t)$ – výstupní veličina systému.

1.1.7 Podmínky fyzikální realizovatelnosti

Z teorie elektrických obvodů je všeobecně známo, že pomocí přístrojů není možné realizovat libovolné tvary kmitočtových přenosů. U pasivních členů nemohou vzniknout rostoucí kmity. Proto póly přenosů pasivních členů mají zápornou reálnou složku, čímž jsou určeny tlumené kmity přechodového děje (mezi póly je alespoň jedna dvojice komplexně sdružená) nebo tlumený aperiodický přechodový děj (póly jsou reálné, záporné). V případě přítomnosti aktivních členů v obvodu mohou vzniknout divergující přechodové děje, které jsou charakterizované existencí alespoň jedné dvojice komplexně sdružených pólů s kladnou reálnou složkou nebo alespoň jeden kladný reálný pól.

Z podmínek fyzikální realizovatelnosti ovšem musí platit tato nerovnost, kterou nazýváme slabou podmínkou fyzikální realizovatelnosti

$$n \geq m \pm 1 \quad 134$$

Silná podmínka fyzikální realizovatelnosti je popsána rovnicí

$$n \geq m \quad 134$$

kde je n – řád levé strany nehomogenní diferenciální rovnice

m – řád pravé strany nehomogenní diferenciální rovnice.

Tato podmínka bývá nejčastějším případem. Z této rovnice plyne, že ve jmenovateli přenosu musí být vyšší mocniny s než v čitateli. Počet pólů musí být větší než počet nulových bodů.

1.1.8 Přenos systému

Přenos systému je definován jako poměr Laplaceova obrazu výstupní veličiny ku Laplaceově obrazu vstupní veličiny.

Zde je uvedena již upravená rovnice pro přenos systému (

$$G(s) = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0} \quad 134$$

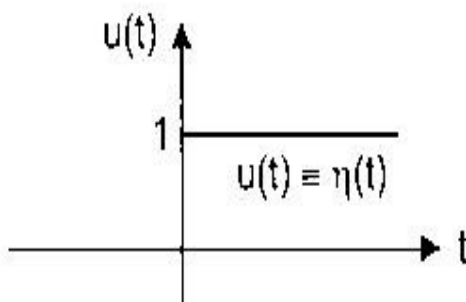
Zde je nutné splnit podmínky fyzikální realizovatelnosti, jež jsou uvedené v předchozí kapitole.

1.1.9 Přechodová funkce a přechodová charakteristika

Přechodová funkce, označujeme ji $h(t)$, je odezva na jednotkový skok při nulových počátečních podmínkách systému. Přechodová charakteristika je grafické znázornění přechodové funkce. Pomocí této, ne vždy jednoduché, pomůcky můžeme zjistit „co se v daném systému děje“.

Jednotkový skok nazývaný též Heavisideův skok (Obr. 37) je popsán vztahem

$$u(t) = \eta(t) = \begin{cases} 1 & \text{pro } t \geq 0 \\ 0 & \text{pro } t < 0 \end{cases} \quad 134$$



Obr. 37 Jednotkový skok

Hodnota přechodové funkce v čase $t = 0$ je hodnota $h(0) = 0$, je-li stupeň jmenovatele charakteristické rovnice přenosu systému alespoň o jednotku vyšší než stupeň čitatele (splněna silná podmínka fyzikální realizovatelnosti) (.

Hodnota přechodové funkce v čase $t = \infty$, použitím věty o koncové hodnotě je rovna

$$h(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sH(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{G(s)}{s} \quad 134$$

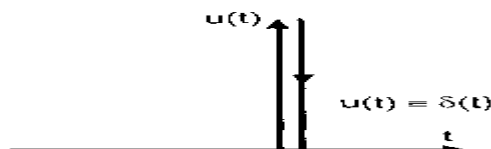
1.1.10 Impulsová funkce a impulsová charakteristika systému

Impulsová funkce, označujeme ji $g(t)$, je odezva na jednotkový impuls při nulových počátečních podmínkách systému. Impulsová charakteristika je graficky znázorněna v podobě impulsové funkce. Jednotkový taktéž Diracův impuls (Obr. 37) je idealizovaná funkce, fyzikálně nerealizovatelná. Je definována rovnicí (:

$$\int_{-A}^A \delta(t) dt = 1$$

134

kde $\delta(t) = 0$ pro $t \neq 0$.

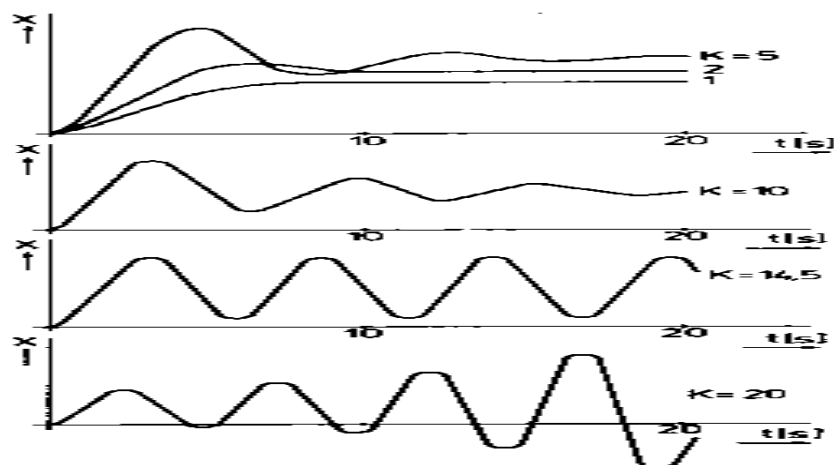


Obr. 37 Jednotkový impuls

1.2 Dynamické vlastnosti systému

1.2.1 Dynamické vlastnosti systému

Dynamické vlastnosti systému a jeho samotných členů posuzujeme podle odezvy na jednotkový skok vstupní veličiny, tedy podnětu. Reakci na tento podnět z vnějšku nazýváme přechodová charakteristika (. Zde je nutné si uvědomit, že statické vlastnosti systému jsou závislé na samotném zesílení systému. Tedy jinými slovy je nutné nastavit toto zesílení do optimálních hodnot. Jinak při nepřiměřeném zesílení dojde k nestabilitám systému, což se projeví až kmitáním (Obr. 37) a naopak chyba v ustáleném stavu je tím menší, čím je zesílení větší. Při samotném nastavování zesílení je třeba dbát na optimalizaci, což je ovšem zdoluhavý proces.



Obr. 37 Příklady přechodových charakteristik pro různé hodnoty K zesílení

Pro zesílení $K=1$ se regulovaná veličina aperiodicky přiblíží své ustálené hodnotě. Budeme-li zvětšovat zesílení K , bude docházet ke zvětšení rychlosti reakce na podnět. Současně s tím se bude jeho časový průběh dostávat do kmitavého charakteru. Pokud nepřekročíme kritické zesílení, bude se amplituda kmitů postupně snižovat a ustálí se na konstantní hodnotě. Při dosažení kritického zesílení $K=14,5$ (má přechodová charakteristika tvar ustáleného kmitání s konstantní amplitudou. Tento stav se nazývá mez stability. Po překročení tohoto kritického zesílení systému dojde k tomu, že se amplituda kmitů postupně zvětšuje, až se omezí na nelinearitách regulačního obvodu.

1.2.2 Dynamické chování systému

Samotné chování systému závisí na dynamických vlastnostech jeho jednotlivých částí. Ty můžeme posuzovat na základě jejich přechodových charakteristik. Účelem samotné regulace je nejen dosáhnout požadované hodnoty regulované veličiny v ustáleném stavu, ale i dosažení optimálního průběhu přechodové charakteristiky. Naším požadavkem je dosáhnout co nejrychlejšího náběhu regulované veličiny s minimálním překmitem a co možná nejrychlejším ustálením. Toto je jen všeobecný požadavek. Jsou případy, kdy se od některých požadavků ustupuje a naopak některé se přitvrzují.

1.3 Přejchodové charakteristiky

1.3.1 Systém nultého řádu

Tato soustava přesně sleduje vstupní skokovou změnu (Obr. 37). Jako příklad zde můžeme uvést odporový dělič.

1.3.2 Systém prvního řádu

Většina skutečných soustav se ovšem chová poněkud jinak než jako soustava nultého řádu viz (Obr. 37). Jako příklad můžeme uvést třeba žehličku. Zde sice zapneme termostat na požadovanou hodnotu, pak ovšem musíme čekat nějakou dobu, než teplota dosáhne požadované hodnoty. Takto se jednoduše dají popsat soustavy prvního řádu. Rychlost narůstání výstupní veličiny je zde charakterizována časovou konstantou T . Čím je časová konstanta delší, tím pomaleji probíhá přechodový děj. Pro samotné posouzení doby přechodového děje se používá pojem doba ustálení. Jedná se o časový interval, za který dojde k ustálení výstupní veličiny s určitou odchylkou. U soustavy prvního řádu se doba ustálení udává (s odchylkou 5%) asi $3T$.

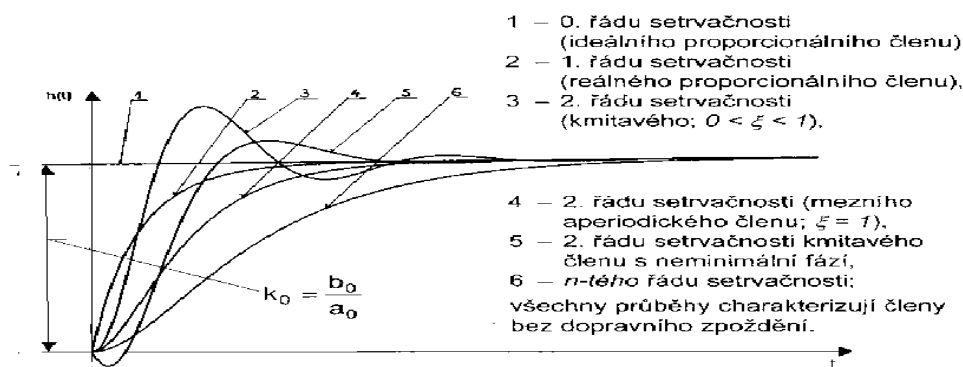
1.3.3 Systémy vyšších řádů

V samotné praxi ovšem existují soustavy i vyšších řádů než-li jen prvního viz (Obr. 37), druhého, třetího, atd. Tyto soustavy se dají zjednodušit. Můžeme si je představit jako složené ze dvou (tří, atd.) členů prvního řádu spojených do série za sebou.

Obecná rovnice popisující proporcionální člen se setrvačností n -tého řádu, $n \neq m$ (setrvačný člen n -tého řádu s dopravním zpožděním)

$$G(s) = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0} e^{-sT_d}$$

134



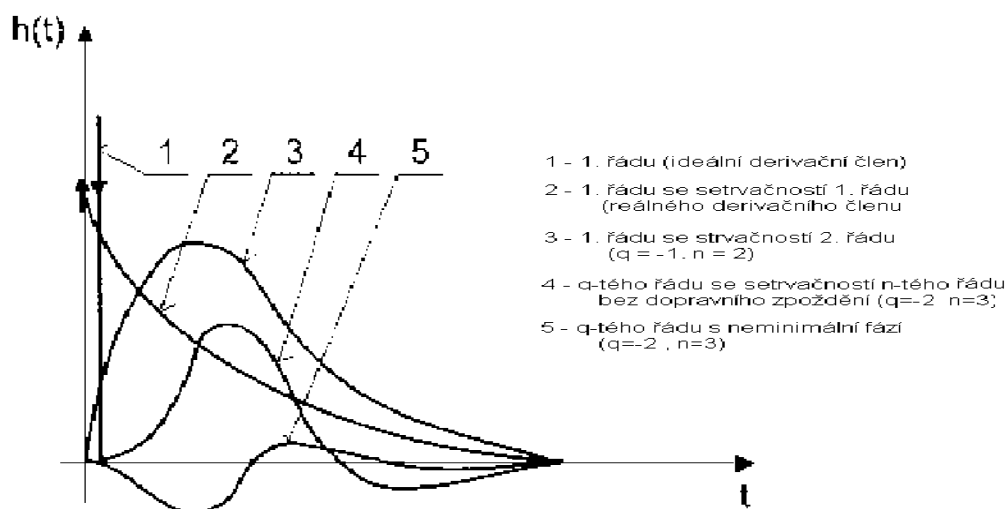
Obr. 37 Přejchodové charakteristiky proporcionálních členů

1.3.4 Přebodové charakteristiky I a D systémů

Derivační členy jsou charakteristické jednoduchým nebo násobným nulovým bodem rovným nule v čitateli. Jim odpovídající přechodové charakteristiky jsou uvedeny na (Obr. 37) a jsou bez dopravního zpoždění (.

Charakteristické rovnici popisující obecný derivační člen q -tého řádu se setrvačností n -tého řádu s dopravním zpožděním $n+q$ t m zní:

$$G(s) = \frac{1}{\sigma^q} \cdot \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0} e^{-sTd} \quad 134$$

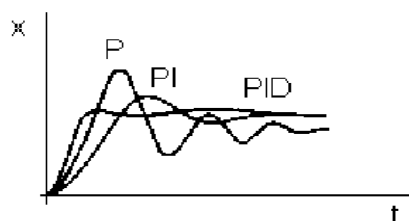


Obr. 37 Přebodové charakteristiky derivačních členů

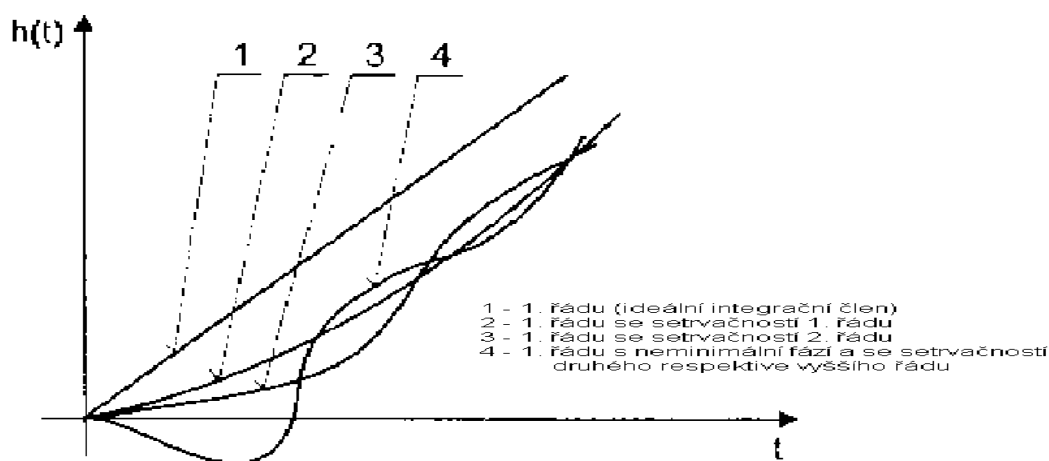
Integrační členy jsou charakterizovány tím, že mají nulový jednoduchý nebo násobný kořen charakteristického polynomu přenosu. Násobnost q nulového pólu označujeme jako řád astatismu. Charakteristická rovnice popisující obecný integrační člen q -tého řádu se setrvačností n -tého řádu s dopravním zpožděním $n+q$ t m, má tvar:

$$G(s) = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{s^q (a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0)} e^{-sT_d} \quad 134$$

Zde uvádím přechodové charakteristiky soustav kombinovaných s prvky P, I a D (Obr. 37).



Obr. 37 Přechodové charakteristiky členů s prvky P, PI, PID



Obr. 37 Přechodové charakteristiky integračních členů

1.4 Jednoduché metody identifikace soustavy

Zde bude uvedeno několik možných způsobů identifikace regulovaných soustav. K samotné identifikaci ovšem potřebujeme tyto soustavy odměřit (Obr. 37). A na základě odměřených přechodových charakteristik jsme schopni pomocí matematického aparátu tyto soustavy identifikovat. I zde ovšem předpokládáme, že průběhy přechodových charakteristik jsou filtrované a upravené, protože jinak je výsledek značně zkreslený.

1.4.1 Proporcionální nekmitavé soustavy

Nejjednodušší metoda identifikace je metoda která, používá dobu průtahu T_u a dobu náběhu T_n viz (Obr. 37). Tyto body zjistíme tak, že sestojíme tečnu směřující z inflexního bodu na obě strany.

Díky tomu zjistíme jednoduše, i když poněkud nepřesně, dobu přechodu.

$$T_{d1} = T_u + T_n \quad 134$$

Zde na základě odečtené doby průtahu a náběhu již jednoduše zjistíme náhradní přenos regulované soustavy (zde 1. řádu s dopravním zpožděním):

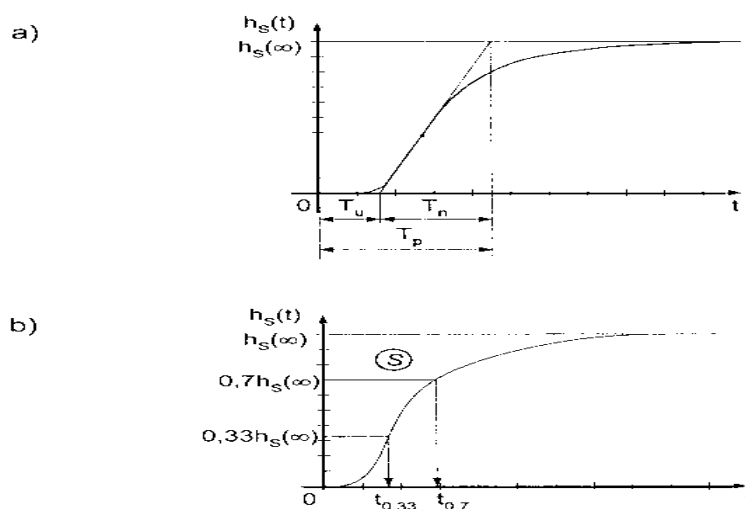
$$G_s(s) = \frac{k_s}{T_n s + 1} e^{-T_u s} \quad 134$$

Zde soustava reaguje na jednotkovou skokovou změnu akční veličiny, tudíž ustáleným stavem na přechodové charakteristice:

$$k_s = h_s(A) \quad 134$$

Pokud ovšem podmět není jednotkový skok. Potom koeficient přenosu k_s je dán poměrem změny regulované veličiny $\Delta y(t) = h_s(A)$ ke změně akční veličiny Δu v ustáleném stavu, tj.:

$$\Delta u(t) = h_s(A) \quad 134$$



Vyhodnocování nekmitavé přechodové charakteristiky:
a) pomocí doby průtahu a doby náběhu,
b) pomocí dob $t_{0,33}$ a $t_{0,7}$

Obr. 37 Vyhodnocení nekmitavé přechodové charakteristiky

Další možný způsob identifikace je aproximace náhradním přenosem,

$$G_s(s) = \frac{k_s}{T_1 s + 1} e^{-T_{d1}s} \quad 134$$

ve kterém časovou konstantu T_1 a dopravní zpoždění T_{d1} (pokud ovšem je) získáme na základě vztahů (:

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,245(t_{0,7} + at_{0,33}) \\ T_{d1} &= 1,498t_{0,33} - 0,498t_{0,7} \end{aligned} \quad 134$$

Kde doby $t_{0,33}$ a $t_{0,7}$ jsou odečteny z přechodové charakteristiky regulované soustavy.

Další možné metody identifikace jdou nad rámec této práce a případný zájemce je nalezne v použité literatuře (.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 Stanovení cílů

Zadáním diplomové práce bylo vytvořit nový dynamický model pro modelování přenosů, který by měl porovnatelné vlastnosti s modelem stávajícím, při zachování jeho dobrých parametrů. Samotný dynamický model pro modelování přenosů byl vytvořen z požadavku vytvořit jednoduchý simulátor pro studijní účely. Tento model má za cíl naučit studenty práci s měřicí technikou, která komunikuje s PC. Dále jim má ukázat, jak ve skutečnosti reagují jednotlivé soustavy na podnět. Vytvořením samotného modelu se jim tato možnost nabídla. Mají možnost experimentovat se soustavami 1., 2. a 3. řádu, nebo spojením těchto soustav s PD složkou.

Další podmínkou je snadná reprodukovatelnost tohoto zapojení pro případnou pozdější výrobu. Zde je ovšem problém skloubit tyto dva protichůdné požadavky dohromady. To vše při minimální finanční náročnosti výroby. Celková realizace musí být provedena na základě přesného měření přechodových charakteristik pomocí kvalitního AD převodníku. Další podmínkou při realizaci zapojení byla potřeba toto měření kdykoliv opakovat, pokud možno se stejným výsledkem. Proto padla volba měřit pomocí měřicí karty jež obsahuje 12 bitový AD převodník a vzorkování natolik časté, aby postihlo i nepatrné změny jež při použití přenosných měřicích přístrojů, byť komunikujících přes rozhraní RS 232, jsou nepostihnutelné.

Jak je celkem pravidlem, i zde existuje několik možností řešení daného problému. Přesto původní zapojení, až na výjimky, zůstalo nezměněno. Některé součástky se ukázaly jako nedostupné, proto došlo k nahrazení starých součástek novými.

2.2 Popis původního modelu

Původní model je učen pro modelování regulovaných soustav typu:

přenos soustavy 1. řádu

$$G(s) = \frac{k_s}{T_{1p} + 1} \quad 134$$

přenos soustavy 2. řádu

$$G(s) = \frac{k_s}{(T_{1p} + 1)(T_{2p} + 1)} \quad 134$$

přenos soustavy 3. řádu

$$G(s) = \frac{k_s}{(T_{1p} + 1)(T_{2p} + 1)(T_{3p} + 1)} \quad 134$$

přenos soustavy 1. řádu

$$G(s) = \frac{k_s (T_{Dp} + 1)}{(T_{1p} + 1)} \quad 134$$

přenos soustavy 2. řádu

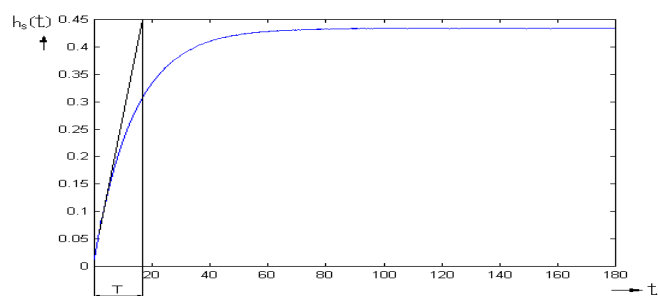
$$G(s) = \frac{k_s (T_{Dp} + 1)}{(T_{1p} + 1)(T_{2p} + 1)} \quad 134$$

přenos soustavy 3. řádu

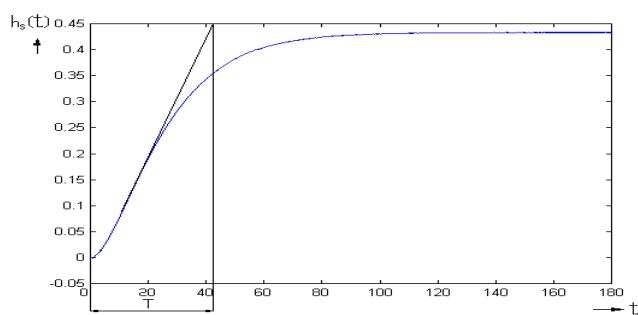
$$G(s) = \frac{k_s (T_{Dp} + 1)}{(T_{1p} + 1)(T_{2p} + 1)(T_{3p} + 1)} \quad 134$$

Volbu časových konstant je možné nastavit v širokých mezích. Proporcionální konstanta je nastavitelná v rozmezí 0 – 1. V původním modelu je volba jednotlivých přenosů prováděna tlačítky ISOSTAT na čelní straně modelu. Konkrétní volbu časové konstanty provádíme pomocí DIP přepínačů uvnitř přístroje. Pomocí dalšího tlačítka je možné zapnout derivační člen, jenž lze kombinovat s jednotlivými přenosy. I zde je možné nastavení derivační konstanty v jemných hodnotách. Pomocí posledního ovládacího tlačítka se provádí nulování soustav (jde o vybití kapacit u RC členů). Toto je nutné pro měření soustav v krátké době po sobě. Další součástí přístroje je měřidlo, které nám indikuje hodnotu výstupního napětí. Pro případ připojení dalších zařízení je na zadní stěně zásuvka pro napájení externího zařízení stabilizovaným napětím o hodnotě +15V, -15V/300mA.

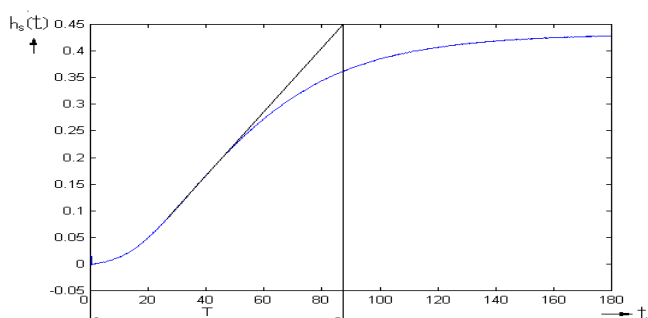
Původní dynamický model obsahuje RC členy a operační zesilovače MAA 741 (dodnes jsou jeho náhrady vyráběné).



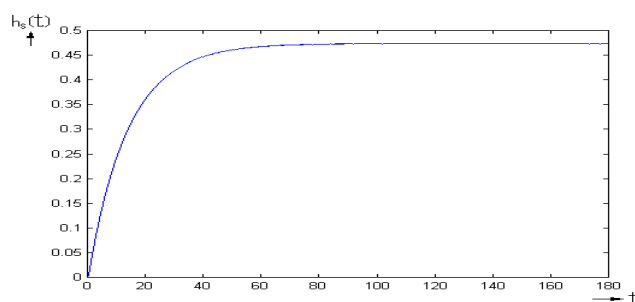
Obr. 37 Soustava 1. řádu - stávající model



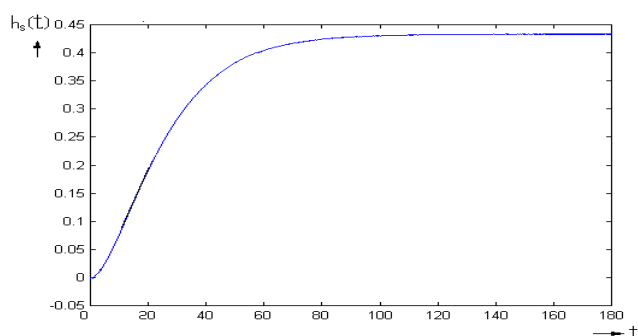
Obr. 37 Soustava 2. řádu - stávající model



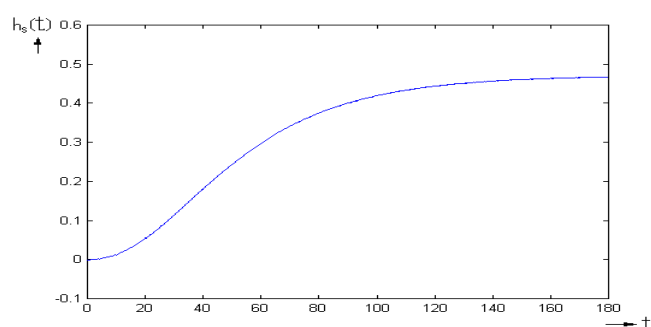
Obr. 37 Soustava 3. řádu - stávající model



Obr. 37 Soustava 1. řádu s PD regulací - stávající model



Obr. 37 Soustava 2. řádu s PD regulací - stávající model



Obr. 37 Soustava 3. řádu s PD regulací - stávající model

Tento popis soustav je jen informativní. Konkrétní porovnání soustav je uvedeno jako příloha.

2.3 Použitý způsob měření

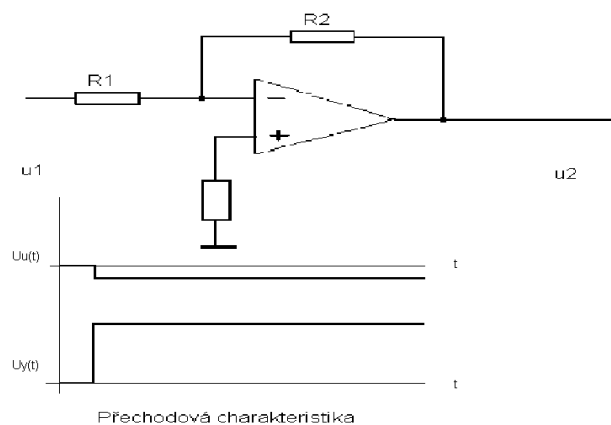
Pro samotné měření systému není možné použít jednoduché měřicí přístroje. Je zde nutné si uvědomit, že chyba způsobená nevhodně zvoleným vzorkováním se zde projeví ve velké míře. Dopředu bych upozornil na nemožnost použít digitální přenosné měřicí přístroje, byť komunikující

s PC pomocí rozhraní RS 232. Jejich vzorkování není větší než 3 – 4 za sekundu. Ovšem vyslání naměřené hodnoty do počítače je maximálně 1x za sekundu. Odtud pramení jejich nepoužitelnost. Nejsou schopny postihnout změny, které se udají v krátkém časovém intervalu. Jako schůdné se jeví použít kartu Advantech, která je plně použitelná a její vzorkovací čas je nastavitelný už kolem 50 ms. Tedy 20 měření za sekundu. To vše ještě při rozlišení 12 bitů AD převodníku (což je 4096 hodnot). Pomocí této karty jsou provedena všechna měření zde uvedená. Informace získané prostřednictvím této karty jsou dále zpracovány ve velmi příhodném programu MATLAB. Tento program umožnil převést změřené hodnoty do grafu a jejich vyhodnocení. Další alternativou je možnost použít externí převodník. Tento převodník obsahuje IO TL 549, byl vyzkoušen a jeho hodnoty byly zpracovány v tabulkovém editoru. Určitě existuje možnost měření pomocí programu MATLAB. Parametry tohoto převodníku jsou poměrně zajímavé. Umožňuje provést až 1000 měření za sekundu. Zde je již limit operačního systému Windows. Neumožní mi čas kratší než 1 ms. Typická doba převodníku potřebná pro provedení měřicího cyklu je $25\ \mu\text{s}$. To vše při rozlišení 8 bitů (tedy 256 možných hodnot).

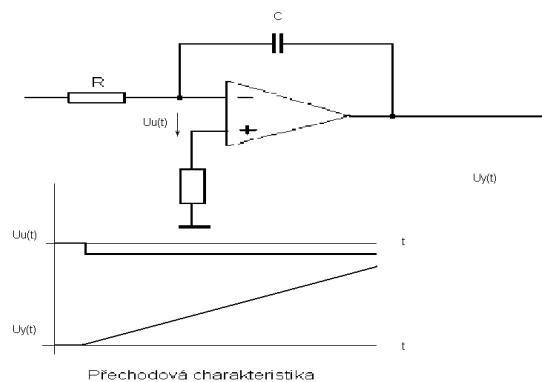
2.4 Realizace

2.4.1 Náhradní zapojení soustav

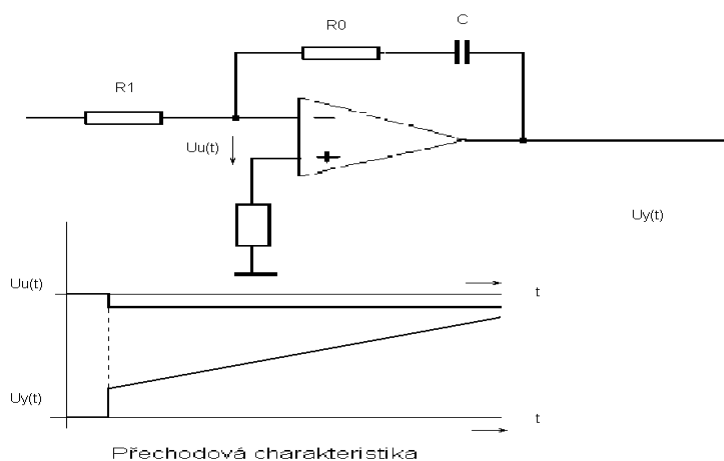
Zde je uvedeno několik zapojení, pomocí nichž je možné realizovat modelování systémů. Tyto modely jsou vyzkoušené (. Problém spojený s realizací daných zapojení ovšem existuje. Je zde nutné individuálně nastavit jednotlivé parametry. To se týká kompenzace jednotlivých parametrů. Je nutné pamatovat na volbu zesílení K. Další problém spojený se samotnou realizací je vhodná volba plošného spoje. Je zde nutnost důsledného oddělení signálové a silové země (. Tím problémy nekončí. Další jsou spojené s nutností řádného filtrování napájecího napětí. Včetně použití keramických kondenzátorů, které jsou připájeny na napájecích vývodech samotných integrovaných obvodů. Tedy samotné nastavení parametrů, aby byly splněny za „všech“ okolností, je poměrně zdlouhavý problém.



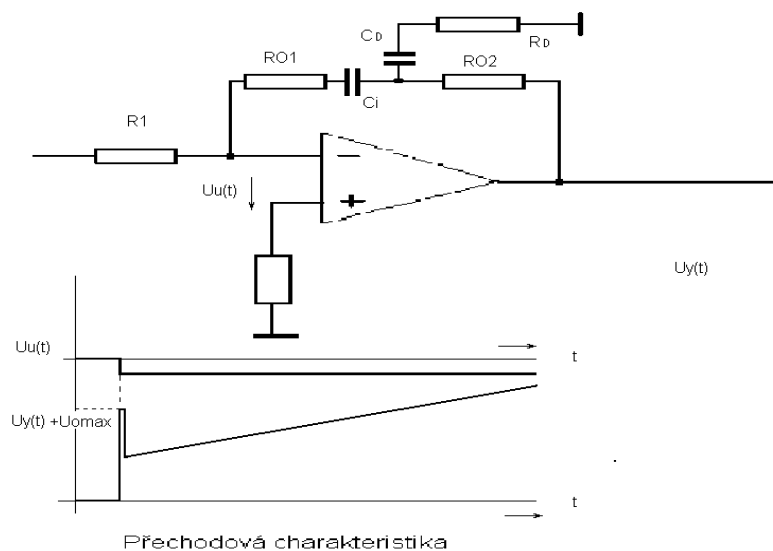
Obr. 37 P soustava, schéma zapojení a přechodová charakteristika



Obr. 37 I soustava, schéma zapojení a přechodová charakteristika



Obr. 37 Soustava PI, schéma zapojení a přechodová charakteristika



Obr. 37 Soustava PID, schéma zapojení a přechodová charakteristika

2.4.2 Vlastnosti RC členů

Přechodové děje mohou vznikat pouze v soustavách, které obsahují alespoň jeden akumulční prvek. Akumulační prvek je induktor nebo kapacitor (. Dá se říci, že jde o přechodový děj mezi původním a novým ustáleným stavem. Přesněji, že přechodový děj je proces, při kterém soustava neperiodicky mění velikost akumulované energie. Z tohoto plyne, že skokem se nemůže měnit ani energie akumulčních prvků.

$$W_C = \frac{1}{2} C u_C^2(t)$$

134

Jinými slovy můžeme prohlásit, že svorková napětí kapacitorů jsou vyjádřena jako spojitě fce.

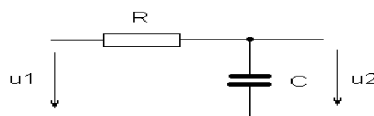
Protože pomocí veličin $u_C(t_0)$ můžeme vyjádřit energetický stav, nazveme tyto veličiny stavové. Ideální kondenzátor má jen kapacitu, nemá ani indukčnost ani vodivost (. Vždy se ovšem vzdalujeme od ideální součástky. I zde existují ztráty, jejich převážná část je v dielektriku. Když nabíjíme kondenzátor, je energie do něj uložená vždy větší než energie, kterou by spotřebovala ideální kapacita. Část této energie se promění v teplo a zbývající ztráty jsou závislé od kvality dielektrika. Důležitou vlastností je odolnost vůči teplotním změnám. Ideální jsou v tomto směru papírové, nebo polystyrenové kondenzátory. Ty mají ovšem pro náš účel malou hodnotu kapacity, řádově μ F. V našem případě jsou použity kondenzátory elektrolytické. Jejich zbytkový proud je ovšem značný, řádově 10 μ A. Zde je použito spojení dvou kondenzátorů do série zápornými

póly k sobě. Toto spojení je nutné z důvodu polaritý kondenzátorů. Tolik o kondenzátorech. Podobné vlastnosti mají i rezistory, ty ovšem nejsou tak náchylné vzhledem k teplotním vlivům jako kondenzátory.

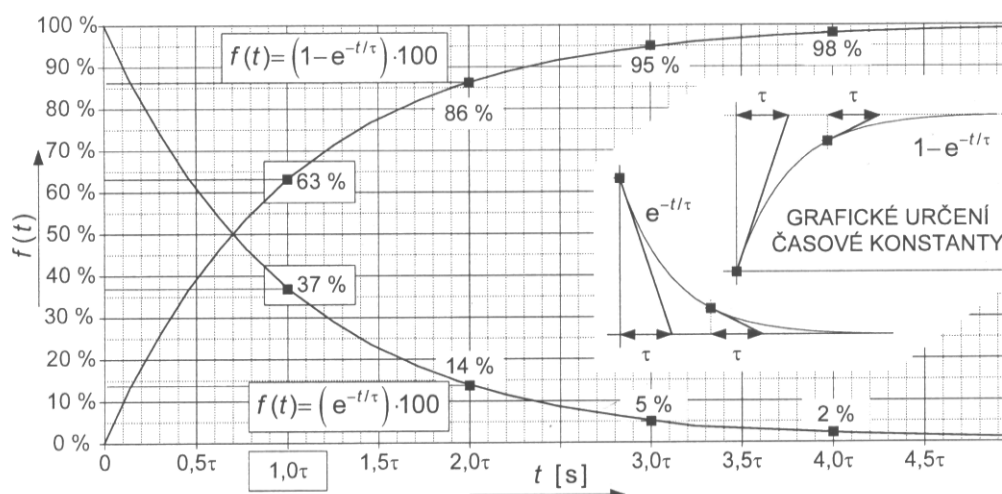
Proud tekoucí tímto obvodem můžeme vypočítat:

$$i = C \frac{du_C}{dt}$$

134



Obr. 37 Pasivní RC člen



Obr. 37 Přechodová charakteristika obvodu RC

Doba trvání přechodového děje je v obvodu RC nepřímo úměrná kapacitě a odporu. Podle rovnice můžeme vypočítat čas potřebný k nabití kondenzátoru:

$$\tau = RC$$

134

Tento čas je ovšem jen informativní. Jak je patrné z grafu (Obr. 37) přechodové charakteristiky, je tato hodnota posunuta hodně směrem doprava. A k tomu nikdy nedosáhne hodnoty, která je na

vstupu. Podle (se tato hodnota jen přiblíží. Matematická rovnice, podle níž je možno spočítat maximální hodnotu napětí:

$$u_C = u_{Co\mu} + u_{Cp} \sqrt{\mu} \quad 134$$

Tedy můžeme podle (Obr. 37) chápat toto zapojení jako napěťový dělič, kdy vstupní napětí má hodnotu u_1 a napětí na kondenzátoru u_2 .

Zde jen pro úplnost vypočítám hodnotu jedné kombinace RC členu:

$$\tau = RC = 100000 \cdot 0,00025 = 25s$$

Tato hodnota je jen informativní. Ve skutečnosti čas potřebný pro ukončení přechodové charakteristiky dosahoval hodnot řádově 80s.

Zbývající kombinace jsou součástí přílohy.

2.4.3 Vlastnosti operačních zesilovačů

První operační zesilovač byl zkonstruován již v roce 1938 a byl samozřejmě ještě elektronkový. „Dovedl“ sčítat, odečítat, atd. V nečíslicových elektronických systémech má stejný význam jako mikroprocesor v systémech číslicových (.

Vlastnost bipolárních OZ

- malý technologický rozptyl napěťových nesymetrií vstupů
- teplotní drift napěťová nesymetrie je malý
- velký vstupní klidový proud teplotně závislý
- má relativně malý vstupní odpor

Vlastnosti OZ s JFETy

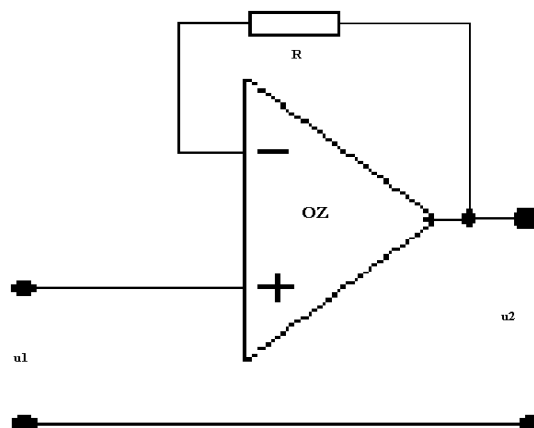
- jeho vstupní klidový proud je malý
- má velký vstupní odpor
- mezní hodnota vstupních diferenčních napětí je velká
- značný rozptyl hodnot napěťová nesymetrie
- značný teplotní drift
- strmost vstupního dílu s FETy na vstupu je 10x menší než u bipolárních OZ.

Tento výčet vlastností napovídá, proč byl zvolen v zapojení bipolární OZ.

Signál procházející přes neinvertující vstup prochází na výstup bez fázového natočení. Signál procházející přes invertující vstup je fázově otočen o 180° . Běžný OZ má zesílení kolem $25 \cdot 10^3$.

Vstupní odpor je řádově $10^6 \Omega$ a výstupní řádově $10^2 \Omega$. Jedním z možných zapojení je použit OZ

jako neinvertující nebo invertující sledovač napětí. V tomto zapojení je jeho vstupní odpor velký a výstupní je řádově $10^2 \Omega$, při zesílení ± 1 .



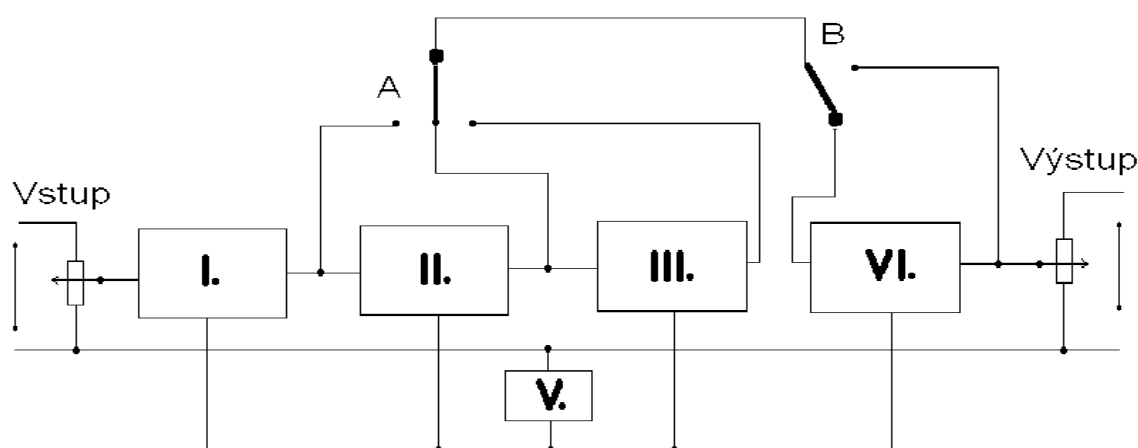
Obr. 37 Neinvertující sledovač, zesílení je $A_u = 1$

Další vlastnosti spolu s příklady řešení nalezne případný zájemce v (a jsou nad rámec této práce.

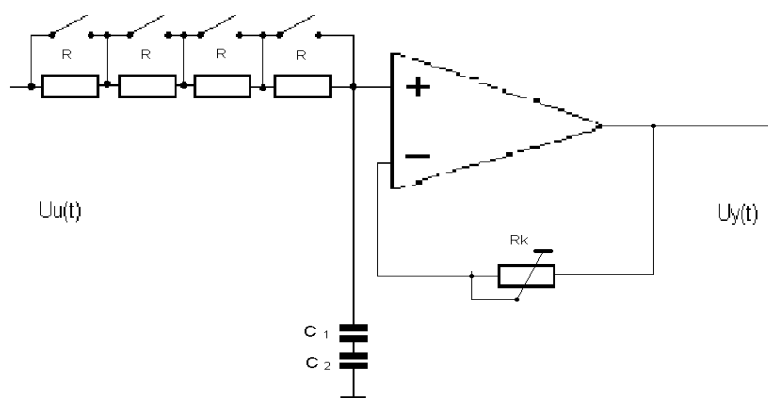
2.4.4 Funkce, blokové schéma popis jednotlivých bloků

Samotná funkce přístroje je shodná s původní modelem. Oproti němu došlo jen k jemným změnám vzhledem k původnímu zapojení. U dřívějšího modelu jsou použity vstupní svorky pro přivedení jednotkového skoku. Zde je již problém, spočívající v nutnosti použít stále stejné napětí pro tento skok. Použijeme-li jinou hodnotu, přechodová charakteristika má jiný tvar. U tohoto nového modelu je použit interní zdroj, který je stabilizován a má stálou hodnotu, alespoň v jistých mezích. Budící napětí je vyvedeno na výstupní svorky a umožňuje případnou synchronizaci potřebnou ke zjištění začátku měření. Indikace zapnutí přístroje je provedena zelenou LED diodou a indikace měření pomocí žluté LED diody.

Zde je uvedeno blokové schéma daného modelu.



Obr. 37 Blokové schéma



Obr. 37 Schéma soustavy 1. řádu

Přistupme k popisu jednotlivých bloků, jak následují za sebou. Vstup je osazen svorkami, na které přivádíme stejnosměrné hodnoty. Toto napětí nesmí kolísat. Jinak dojde k posunutí hodnot přechodové charakteristiky. Což se ukázalo později jako problém. Následuje P1, pomocí kterého nastavíme velikost vstupního napětí, tak aby nám vyhovovalo pro měření. Dále si musíme uvědomit, že způsobuje zátěž jak pro vstup, tak pro samotný RC člen systému 1. řádu, který je označen v blokovém schématu jako I. Tedy přesněji do toho, co jej simuluje. Pomocí přepínač S1 je zde možnost navolit rychlost nabíjení kondenzátorů, které následují. Tyto kondenzátory jsou z důvodu velké kapacity složeny ze dvou elektrolytických kondenzátorů a využívá se obecného vztahu pro sériové spojování kapacit kondenzátorů :

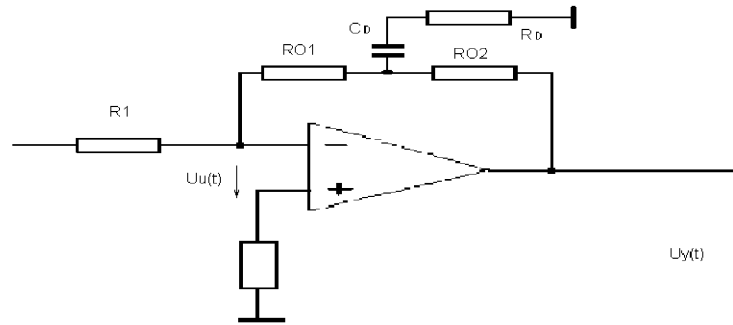
$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Kapacita složených kondenzátorů, které jsou zapojeny minusovými póly proti sobě a na zařízení jsou připojeny kladnými póly, je v případě potřeby vybíjena pomocí jednoho spínače označeného V použitého z obvodu 4066. Obvod těchto spínačů obsahuje 4 kusy. Jejich přechodový odpor je ovlivněn použitým napájecím napětím, přičemž se pohybuje v rozmezí 60Ω až 350Ω . Do série s tímto spínačem je zařazen rezistor, který nám omezí vybíjecí proud na přijatelnou hodnotu. Kdyby hodnota vybíjecího proudu byla enormně velká, mohlo by dojít k poškození samotných kondenzátorů v RC členu, což by se projevilo změnou přechodové charakteristiky.

Za samotným RC členem následuje operační zesilovač ve funkci neinvertujícího oddělovacího stupně. Tento OZ má funkci napětí jen oddělit, nikoliv změnit. Tedy v podstatě impedančně přizpůsobit. RC člen je zapojen na neinvertující vstup. Signál projde nezměněn operačním zesilovačem, z výstupu je dále odebírán pro další zpracování. Jedna část signálu se vrací na invertující vstup přes rezistor R_k a druhá část se buď přepoše volbou přepínače S4 na vstup následujícího RC členu, nebo je přepojena na výstupní P9, který má za cíl upravit velikost výstupního napětí. Toto napětí je již finální a má tvar, který odpovídá přechodové charakteristice systému. Jak jsem se již uvedl, k výstupu OZ je napojen rezistor, který má značný vliv na samotné kmitání výstupního signálu. Jeho změnou je možné „vyčistit“ signál, který opouští OZ. Jeho hodnota je pro každý operační zesilovač rozdílná. Jen pro představu uvádím, že hodnota v 1. stupni je kolem $27k\Omega$, přičemž ve 2. stupni je to již jen $15k\Omega$. Proto jsou zde zapojeny trimry P2, P3, P4, s jejichž pomocí je možné provést potřebné korektury. V případě zvlnění napětí, již na prvním stupni, je zkreslený signál přenášen do dalších stupňů. O tomto problému se zmíním ve stati o samotném nastavení.

Dynamika samotné soustavy je ovlivněna počtem zařazených stupňů. Jednotlivé stupně se chovají jako soustava 1. řádu a díky jejich sériovému propojení získáváme soustavu 2. a 3. řádu. Druhý stupeň, označen II., má stejné vlastnosti jako první. Jediná jeho změna je ve volbě hodnot RC členu a tomu odpovídají i přechodové charakteristiky. Ovšem i zde platí informace o kmitání a kompenzování výstupu. Po druhém stupni následuje třetí stupeň III. Jeho podoba je obdobná s prvním stupněm. Jen je použito jiné kapacity v RC členu.

PD část soustavy je tvořena obvodem IV. Popis její činnosti je následující:



Obr. 37 Soustava PD

Signál z P členu je přiveden přes přepínač B na vstup PD soustavy. Zde je následně zpracován. Složka úměrná její derivaci, neboli časová změna signálu, jenž vstupuje, se k ní přičítá a zvětšuje výstupní signál soustavy, který pak působí na systém účinněji než při pouhém proporcionálním přenosu. Při poklesu rozdílu mezi výstupní a vstupní hodnotou se změni znaménko její derivace. Derivační složka se začne od složky proporcionální odečítat a výstupní signál se zmenšuje rychleji. Soustava PD je vybavena jakousi předvídavostí, zkracuje dobu přechodu a zmenšuje rozkmitání soustavy. Soustava PD dosahuje v ustáleném stavu, po odeznění přechodových dějů, stejně jako P soustava trvalou nenulovou odchylku od nastavené hodnoty. Toto zapojení invertuje vstupní napětí, ale zachovává jeho hodnotu. Další člen musí být použit pro změnu polaritu signálu, aby zůstala zachována shodná polarita výstupního napětí.

Vlastnosti PD systému má OZ zapojený podle (Obr. 37). Pro jeho výstupní napětí platí vztahy (:

$$u_y(t) = - \left[K_p \cdot u_u(t) + R_D = \frac{RO1 \cdot RO2}{R1} \cdot C_D \right] \dot{u} \quad (134)$$

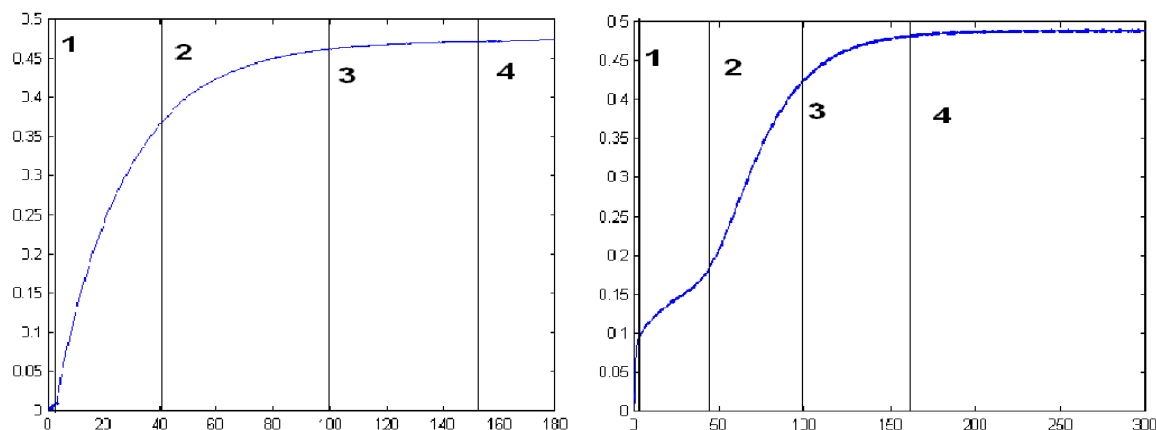
kde :

$$K_p = \frac{RO1 + RO2}{R1} \quad K_D = \frac{RO1 \cdot RO2}{R1} \cdot C_D$$

Odpovídající odezva systému PD na skokovou změnu poměru výstupního signálu ke vstupnímu se projeví tím, že se derivační signál vyhoupne až do oblasti saturace OZ, načež se později opět sníží. Aby bylo zabráněno vysokofrekvenčnímu kmitání, na které jsou soustavy s D složkou náchylné, je

zapojen v sérii s derivačním kondenzátorem C_D tlumicí rezistor R_D . Velikost jeho odporu je volena

co nejnižšími hodnotami, tak aby se účinně potlačilo kmitání. Jeho velikost bývá volena řádově o 1 až 2 řády menší, než je hodnota rezistorů R01 a R02. Proto jeho vliv není při výpočtu nutné propočítávat.



Obr. 37 Porovnání soustavy 1. řádu a soustav 1. řádu s PD členem

Další OZ je zapojen jako invertující zesilovač. Jeho zesílení je řádově kolem 2. Dostavuje se individuálně podle potřeby tak, aby velikost napětí jak P soustav, tak soustav s PD členy dosahovalo stejných výstupních hodnot.

2.4.5 Napájecí zdroj

Pro napájení zařízení je vhodné použít tovární transformátor. Díky nízké spotřebě není nutné použít rozměrného transformátoru. Jeho počítání je založeno na hodnotě potřebného primárního výkonu. Podle () dopočítáme potřebný výkon transformátoru

$$P_{vyst} = U_{vyst} \cdot I_{vyst} \quad 134$$

Primární výkon je:

$$P_{vst} = P_{vyst} \cdot 100 \div \nu [W] \quad 134$$

kde ν je účinnost kolem 70 %.

Odtud je potřebný vstupní výkon :

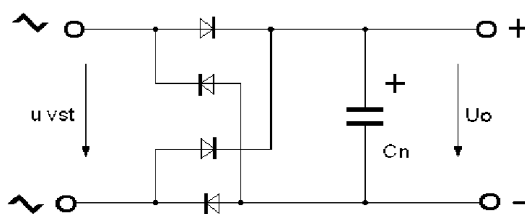
$$P_{vst} = P_{výst} \cdot 1,4 = 1,5 \text{ [W]}$$

Podle katalogu dohledáme nejbližší použitelný transformátor raději směrem nahoru, tedy typ TRHEI303-2x9V 105mA (katalogové označení 1,9VA 610-770).

Při volbě usměrňovače padla moje volba na můstkový usměrňovač (, který má nejlepší parametry. Jednou diodou teče pouze polovina výstupního stejnosměrného proudu. Nutnost dimenzování diod, vzhledem k velikost závěrného napětí, je popsána vztahem:

$$U_0 + \sqrt{2} \cdot u_{vst} = 2 \cdot U_0 \quad 134$$

Použité diody musí mít závěrné napětí nejméně 25 V.



Obr. 37 Můstkový usměrňovač

Velikost kapacit na vyfiltrování výstupního zvlnění je dána rovnicí :

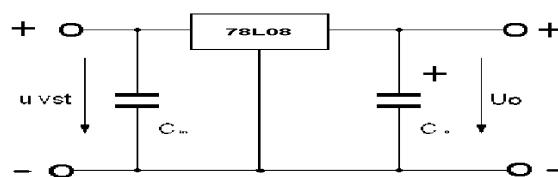
$$C_N = 300 \cdot I \div (p \cdot U_0) [\mu F; mA, \%, V] \quad 134$$

p je činitel zvlnění a jeho hodnota pro tento případ volena nízká jen 5%.

$$C_N = 300 \cdot 70 \div (5 \cdot 8) = 500 \mu F .$$

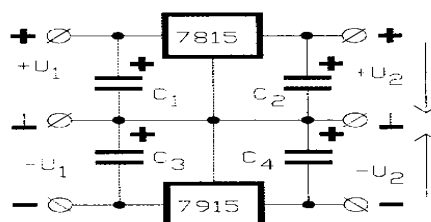
Z důvodu ztráty kapacity kondenzátorů (z dlouhodobého hlediska) je volena raději vyšší hodnota tedy $1000 \mu F$.

Stabilizace napájecího napětí je nezbytná, i při nepatrných změnách hodnoty výstupního napětí dochází ke změně všech parametrů. Proto je použit stabilizátor s pevnou hodnotou výstupního napětí .



Obr. 37 Základní zapojení stabilizátoru

Použití blokových kondenzátorů je i zde nutné, jejich vzdálenost od vývodů stabilizátoru 78L08 je do 5 – 10 cm od něj samotného viz (. Z důvodu potřeby symetrického napájení jednoho z OZ je použito toto zapojení 2x. Je ovšem možnost použít i symetrický zdroj:



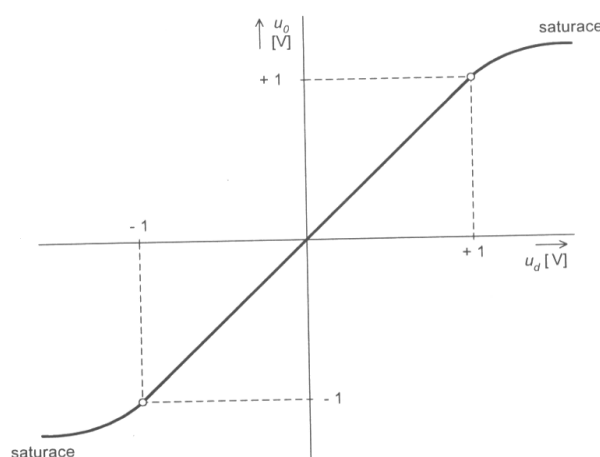
Obr. 37 Symetrický zdroj s pevnými stabilizátory

2.4.6 Mechanické řešení, oživení a nastavení požadovaných hodnot

Jak jsem již dříve uvedl, mou snahou bylo vytvořit nové jednoduše reprodukovatelné zapojení. Tato snaha je spojena s možností vestavby do již vyráběné krabičky, protože mechanické řešení je téměř vždy nejsložitější. Jako nejvýhodnější se mi jevila krabička KP07. Její venkovní rozměr je 150 x 110 x 70 mm, vnitřní rozměr krabičky umožňuje použít jeden velký plošný spoj, na který je možná jednoduchá montáž zdroje včetně transformátoru i samotné elektroniky. Díky tomuto řešení odpadají případné nepřesnosti způsobené „připisováním“. Samotná volba dynamiky jednotlivých soustav je umístěna na pomocném plošném spoji, který je umístěn na zadní straně krabičky. Díky použitým přepínačům je možné jednoduše zvolit velikost rezistorů a současně jsou tyto přepínače natolik zapuštěné, že nedochází k jejich samovolnému přepínání. Základním záměrem bylo použít konektorů pro připojení desky dynamiky do základní desky. Byla zde však možnost vzniku přechodových odporů, které mohou časem vzniknout, proto došlo k použití pájených spojů. Původní ISOSTATový přepínač je nahrazen otočným přepínačem. Ten díky své dlouhé hřídeli nepotřebuje prodloužení, stačí jen provrtat vrchní víko, na němž je umístěn nejen

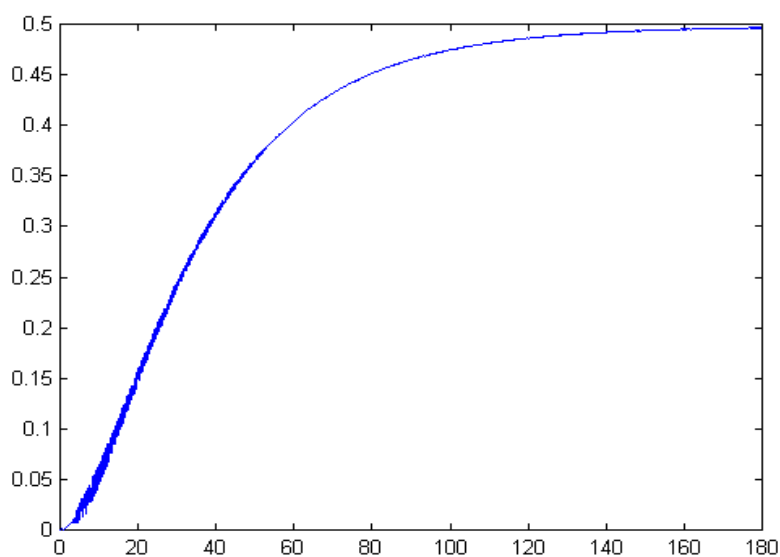
tento přepínač k volbě jednotlivých řádů, ale i přepínač nulování.

Výrobu plošného spoje je nutné provést fotocestou. Po překontrolování vodivosti všech cest, zapájíme dvě drátěné propojky. Překontrolujeme použité součástky. Tato informace se týká hlavně kondenzátorů a rezistorů. U kondenzátorů bych doporučil tento postup: připojit je na 10 V zdroj stejnosměrného napětí po dobu 20 až 40 hodin. Ani jedna hodnota není kritická. Je nutné tyto součástky naformovat. Tím se stabilizuje jejich kapacita na pevnou hodnotu, která se již výrazně nemění. Pokud bychom tento postup nepoužili, vystavujeme se riziku stálého ujíždění parametrů. A nebudeme vědět proč. Osazený zdroj přeměříme, dává-li potřebná napětí. Propojky mezi zdrojem a samotnou dynamikou osadíme až nakonec, po přeměření odebíraného proudu. Při samotném oživení nejprve nastavíme vstupním trimr P1. Velikost napětí mezi běžcem a zemí nastavíme na hodnotu 5 V. Tato hodnota je volena proto, že saturační napětí samotných OZ je kolem 6,5 V. Odsud plyne potřeba jisté rezervy (řekněme 1-1,5 V) pro správnou funkci OZ v lineární části jeho charakteristiky.



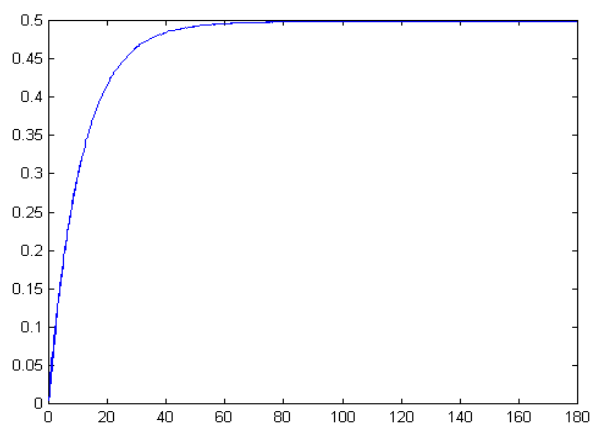
Obr. 37 Saturace OZ

Další krok je směřován k nastavení systému 1. řádu. Zde trimrem P2 vyladíme výstupní signál tak, aby nebyla zvlněna jeho přechodová charakteristika, a současně aby velikost odporu byla co největší. Tento požadavek je nezbytné dodržet, jinak budeme zatěžovat výstup z OZ. A nevhodně ovlivníme následující RC člen. Toto zvlnění má tvar (Obr. 37).



Obr. 37 Přechodová charakteristika 2. řádu před seřízením

Po seřízení se tvar upraví na celkem již přijatelnou hodnotu (Obr. 37)



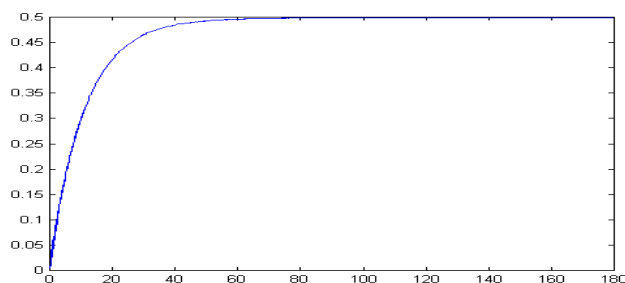
Obr. 37 Přechodová charakteristika 1. stupně po seřízení

Za pomoci trimru P9 nastavíme velikost výstupního napětí do námi požadované hodnoty. V případě zkušebního vzorku se trimr zůstal nastavený na maximální hodnotu, aby sloučil jen jako zátěž OZ. Překontrolují se časy, které se budou nepochybně lišit zapojení od zapojení. Zde je problém

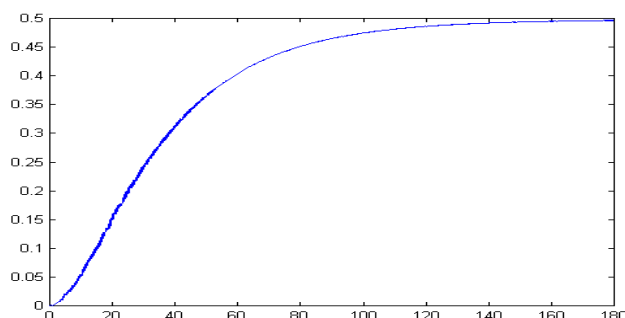
v kvalitě použitých elektrolytických kondenzátorů. Hodnota jejich kapacity se v průběhu jejich života mění. V dalších krocích nastavíme systémy druhého a třetího řádu. Zde se bude situace s kmitáním opakovat. Po nastavení nekmitavých přechodových charakteristik P členů se můžeme pustit do nastavení systému PD bloku. Zde pomocí trimru P8 provedeme nastavení velikosti výstupního napětí tak, aby jeho hodnota byla srovnatelná s hodnotou P členů. Impulsy vznikající při přepínání nulovacího přepínače jsou jev, který je popsán v kapitole (). Tudiž není třeba mít z něj obavy. Při nastavení PD členu si nastavíme pomocí trumfů P5, P6, P7 požadovanou hodnotu přechodové charakteristiky. Tento krok může trvat i několik hodin.

Tím máme nastaven dynamický model pro modelování přenosů.

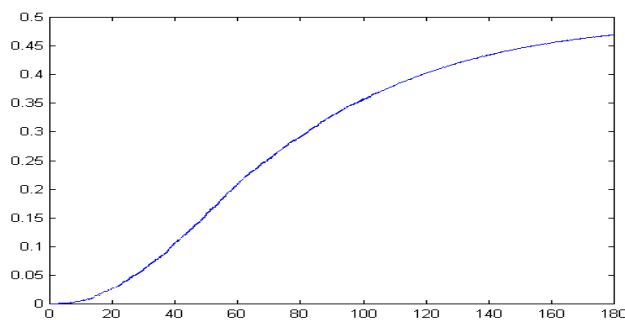
2.4.7 Naměřené hodnoty



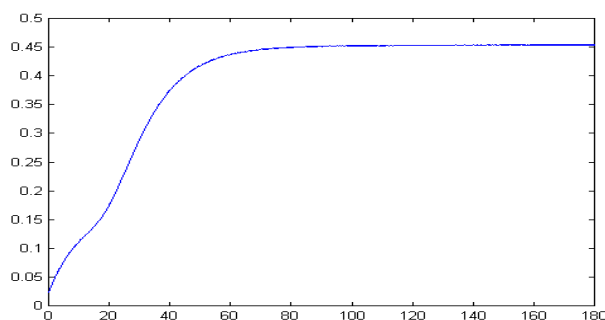
Obr. 37 Soustava 1. řádu



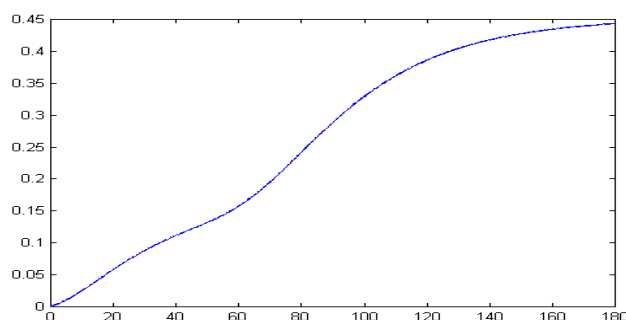
Obr. 37 Soustava 2. řádu



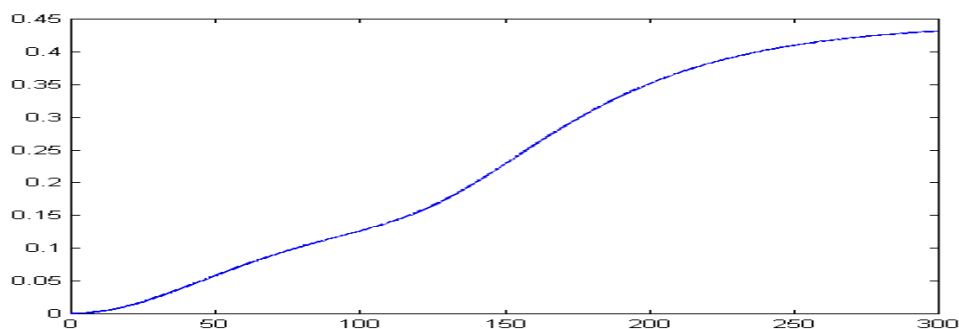
Obr. 37 Soustava 3. řádu



Obr. 37 Soustava 1. řádu s PD regulací



Obr. 37 Soustava 2. řádu s PD regulací



Obr. 37 Soustava 3. řádu s PD regulací

2.4.8 Zařízení ve vztahu k normám ČSN

Celé zapojení je tvořeno ve snaze o zajištění bezpečnosti obsluhy přístroje. Je nutné si uvědomit, že všechna elektrická zařízení musí vyhovovat přísným bezpečnostním předpisům. Musí být navrženo a provedeno tak, aby neohrožovalo osoby a majetek, nerušilo provoz jiných zařízení, nebo nebylo provozem jiných zařízení rušeno.

ČSN 33 2000 - 1 mimo odolnost elektrickou se předpokládá i odolnost mechanická. Vnější část musí být upravena tak, aby se o ni obsluhující při obvyklém používání neporanil. Elektrická zařízení mohou být použita pouze k účelu, pro nějž byla určena. Zásahy do zařízení, mající za následek změnu funkce nebo vlastností, případně použití výrobků nebo dílů k jinému účelu, jsou

možné pouze za předpokladu, že byl k takovému účelu přezkoušen.

ČSN 36 90 60 tato norma platí pro zařízení a přístroje na zpracování dat a pro koncová (vstupní a výstupní) zařízení přenosu dat se jmenovitým napájecím napětím nepřekračujícím 250V efektivní hodnoty proti zemi. Z hlediska ochrany před nebezpečným dotykem doplňuje a upravuje norma.

ČSN 33 2000 4 - 41 norma řeší bezpečnost elektrického zařízení.

ČSN 36 90 60 určuje způsob označení, definuje označení výrobku (obsah popisek...).

ČSN 34 01 65 barevné označení vodičů.

ČSN 34 03 50 pohyblivé přívody musí vyhovovat průřezu. Pohyblivé přívody s jádrem $0,35 \text{ mm}^2$ nemají být delší než 2 m. Řeší upevnění vodičů ve vztahu k bezpečnosti průchodky, odlehčení proti tahu, kroucení.

ČSN 34 28 50 ochrana před rušením – odrušení.

Diskuse výsledků

Rozdíl mezi stávajícím modelem je vidět již na první pohled. Původní těžký plechový obal je nahrazen novým, lehkým plastovým. I hmotnostní rozdíl je značný. Díky snížení příkonu bylo možné snížit velikost napájecího transformátoru, a tím i výslednou váhu. Původní přepínač typu ISOSTAT je nahrazen otočným přepínačem, který zjednodušuje obsluhu.

Při porovnávání přechodových charakteristik lze zjistit drobné rozdíly v délce ukončení přechodové charakteristiky. Tento rozdíl je způsoben stářím součástek ve stávajícím a novém modelu. Rozdíl hodnot je způsoben použitím nových kondenzátorů, jejichž kapacita je vyšší hodnoty než u stávajícího modelu, kde je snížena vysycháním. Další možný důvod rozdílů je způsoben tolerancí rezistorů. Jejich výrobní tolerance je $\pm 10\%$, tedy možný rozdíl až 20%. Větší rozdíl je při porovnávání systémů s PD prvky. Zde je již problém spojen s individuálním nastavením. Proto je rozdíl přechodových charakteristik tak výrazný. U stávajícího modelu lze říct, že PD systém je nastaven na nízkou hodnotu. Naopak u nového systému je tato hodnota volena již výrazně větší. Tento rozdíl je vidět při srovnávání přechodových charakteristik obou soustav. Na základě rozdílných přechodových charakteristik je u nového modelu použito pomocných součástek, které umožňují nastavit požadovanou přechodovou charakteristiku.

ZÁVĚR

Samotný dynamický model pro modelování přenosů, byl vytvořen z požadavku vytvořit jednoduchý simulátor pro studijní účely. Tento model má za cíl naučit studenty práci s měřicí technikou, která komunikuje s PC. Dále jim má ukázat jak ve skutečnosti reagují jednotlivé soustavy na podnět. Vytvořením samotného modelu se jim tato možnost nabídla. Mají možnost experimentovat se soustavami 1., 2. a 3. řádu, nebo spojením těchto soustav s PD složkou.

Při samotném experimentování jsem zjistil další možnosti, které by bylo velmi zajímavé zrealizovat a uvést v život. Ovšem to je již úkol pro mé následovníky, budou-li nějací. Velmi zajímavé by bylo vytvořit jednotlivé moduly, které jen pouhým propojením několika vodičů vytvoří celek, který bude daleko snáz měnit parametry a umožňovat namodelování soustav, které se vyskytnou ve všední praxi. Zajímavou možností je nechat studenty nastavit samotný PD, PI a PID regulátor pomocí změny hodnot, tak aby dosáhly požadované charakteristiky. Tento nelehký úkol by je procvičil v samotném měření a odečítání naměřených hodnot z grafů.

Měření soustav lze uskutečnit pomocí vnitřní počítačové karty, která obsahuje 12 bitový AD převodník. Přínosné by bylo umožnit studentům porovnat výsledky měření této kvalitní karty s jednoduchým a nenáročným 8 bitovým AD převodníkem, nebo pomocí jednoduchého měřicího přístroje, připojeného přes rozhraní RS 232 k PC. Porovnání rozdílné délky vzorkovacích časů, a tím i rozdílných výsledků. Při krátké periodě vzorkování je možné zjistit případné kmitání soustav. Dlouhá perioda vzorkování jim tuto chybu již neukáže. Další možností je použití jednoduchého AD převodníku a jejich provádět provizorní měření. Ne vždy je v praxi možné použít kvalitního vybavení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Monografické publikace:

- 1) KREJČÍŘÍK, A. : Napájecí zdroje 1, 2, vyd. Praha BEN 1999
- 2) KREJČÍŘÍK, A. : Lineární napájecí zdroje, vyd. Praha BEN 2002
- 3) PUNČOCHÁŘ, J. : Operační zesilovače v elektronice, vyd. Praha BEN 1996
- 4) MYSLÍK, J. : Elektrické obvody, vyd. Praha BEN 1997
- 5) LÁNÍČEK, R. : Elektronika, vyd. Praha BEN 1997
- 6) BALÁTĚ, J. : Technické prostředky automatického řízení, vyd. SNTL/ALFA, Praha/ Bratislava, 1986
- 7) BALÁTĚ, J. : Automatické řízení, vyd. Praha BEN 2003
- 8) BALÁTĚ, J. : Vybrané statě z automatického řízení, vyd. Zlín UTB učební texty vysokých škol 2003
- 9) ŠVARC, I. : Základy automatizace, vyd. Brno VUT Fakulta strojní učební texty vysokých škol 1993
- 10) RYDLO, P. : Dálkový kurs číslicové techniky, vyd. Ústřední výbor Svazarmu a ZO Svazarmu 4006/602 druhé vydání
- 11) DANEŠ, J. a kolektiv : Amatérská radiotechnika a elektronika 2 díl, vyd. Praha, Naše vojsko 1986
- 12) SYROVÁTKO, M. : Obvody zesilovačů a přijímačů, vyd. Praha SNTL 1991
- 13) MALLAT, J. – KRAFT, J. : Stabilizované zdroje pro mikroelektroniku, vyd.: Praha SNTL 1985

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_u	napětíové zesílení
$f(u)$	spojitá funkce
$G(s)$	L-přenos (Laplaceův přenos), L-obraz (spojité) impulsní funkce
$H(s)$	L-obraz (spojité) přechodové funkce
K	zesílení
s	komplexní proměnná
T	vzorkovací perioda
T_d	dopravní zpoždění u spojitých systémů
T_D	derivační konstanta
T_I	integrační časová konstanta
τ	spojitý čas
W_c	energie kondenzátoru τ
$u(t)$	vektor vstupní veličina
$x(t)$	vektor stavové veličiny
$y(t)$	vektor výstupní veličiny
$\partial(t)$	(spojitý) Diracův jednotkový impulz
$\eta(t)$	(spojitý) Heavisidův jednotkový skok

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Jednotkový skok.....	
Obr. 2 Jednotkový impuls.....	
Obr. 3 Příklady přechodových charakteristik pro různé hodnoty K zesílení	
Obr. 4 Přechodové charakteristiky proporcionálních členů.....	
Obr. 5 Přechodové charakteristiky derivačních členů.....	
Obr. 6 Přechodové charakteristiky členů s prvky P, PI, PID.....	
Obr. 7 Přechodové charakteristiky integračních členů.....	16
Obr. 8 Vyhodnocení nekmitavé přechodové charakteristiky.....	
Obr. 9 Soustava 1. řádu - stávající model.....	21
Obr. 10 Soustava 2. řádu - stávající model.....	21
Obr. 11 Soustava 3. řádu - stávající model.....	21
Obr. 12 Soustava 1. řádu s PD regulací - stávající model.....	22
Obr. 13 Soustava 2. řádu s PD regulací - stávající model.....	22
Obr. 14 Soustava 3. řádu s PD regulací - stávající model.....	22
Obr. 15 P soustava, schéma zapojení a přechodová charakteristika	24
Obr. 16 I soustava, schéma zapojení a přechodová charakteristika	24
Obr. 17 Soustava PI, schéma zapojení a přechodová charakteristika	24
Obr. 18 Soustava PID, schéma zapojení a přechodová charakteristika	25
Obr. 19 Pasivní RC člen.....	
Obr. 20 Přechodová charakteristika obvodu RC.....	
Obr. 21 Neinvertující sledovač, zesílení je $A_u = 1$	28
Obr. 22 Blokové schéma.....	29
Obr. 23 Schéma soustavy 1. řádu.....	29
Obr. 24 Soustava PD.....	
Obr. 25 Porovnání soustavy 1. řádu a soustav 1. řádu s PD členem	32
Obr. 26 Můstkový usměrňovač.....	33
Obr. 27 Základní zapojení stabilizátoru.....	34
Obr. 28 Symetrický zdroj s pevnými stabilizátory.....	34
Obr. 29 Saturace OZ.....	35
Obr. 30 Přechodová charakteristika 2. řádu před seřízením.....	
Obr. 31 Přechodová charakteristika 1. stupně po seřízení.....	
Obr. 32 Soustava 1. řádu.....	37
Obr. 33 Soustava 2. řádu.....	37
Obr. 34 Soustava 3. řádu.....	37
Obr. 35 Soustava 1. řádu s PD regulací.....	38

Obr. 36 Soustava 2. řádu s PD regulací.....	38
Obr. 37 Soustava 3. řádu s PD regulací.....	38

SEZNAM TABULEK

Tabulka 6 : Kombinace RC členu stávajícího modelu 1. řádu

Tabulka 6 : Kombinace RC členu stávajícího modelu 2. řádu

Tabulka 6 : Kombinace RC členu stávajícího modelu 3. řádu

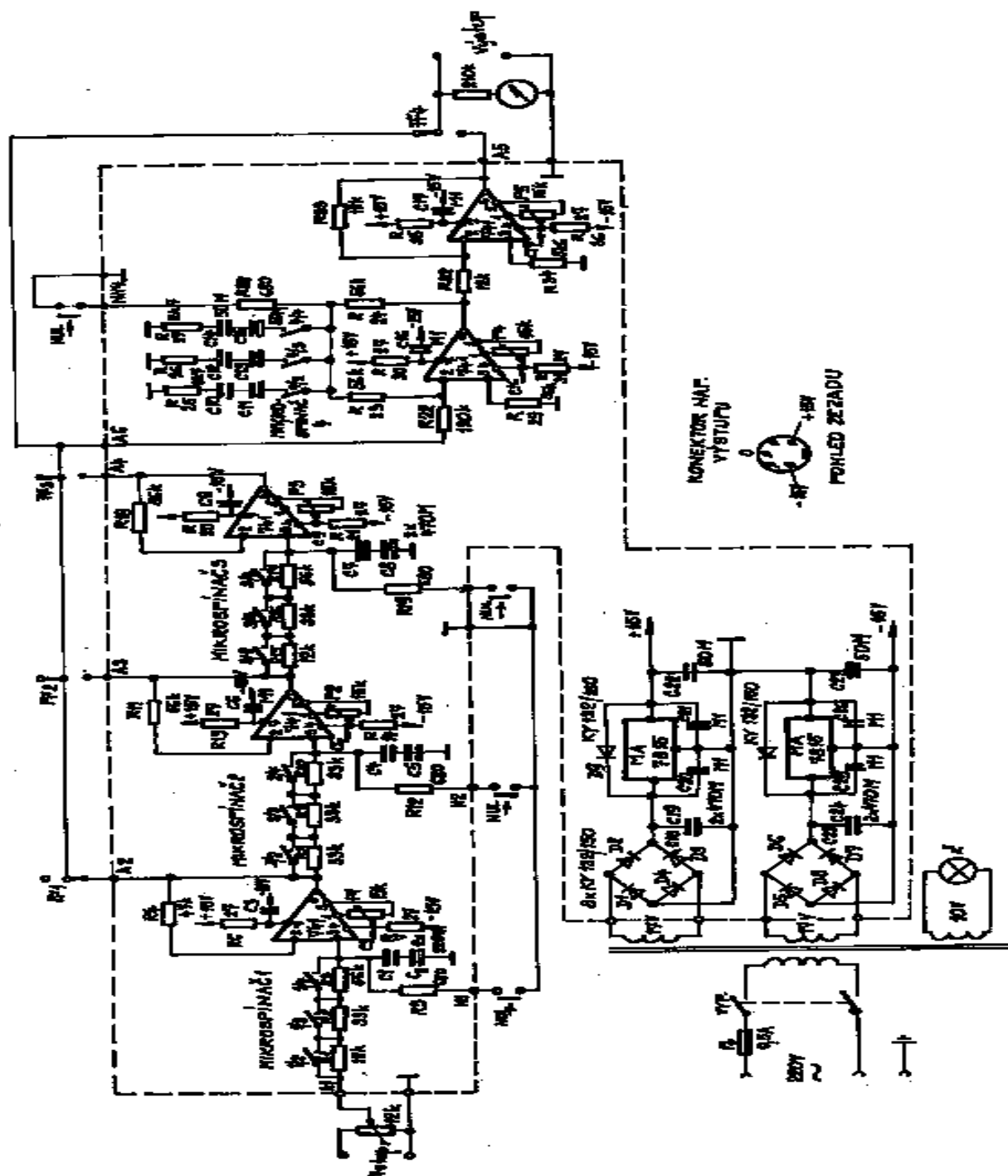
Tabulka 6 : Kombinace RC členu nového modelu 1. řádu

Tabulka 6 : Kombinace RC členu nového modelu 2. řádu

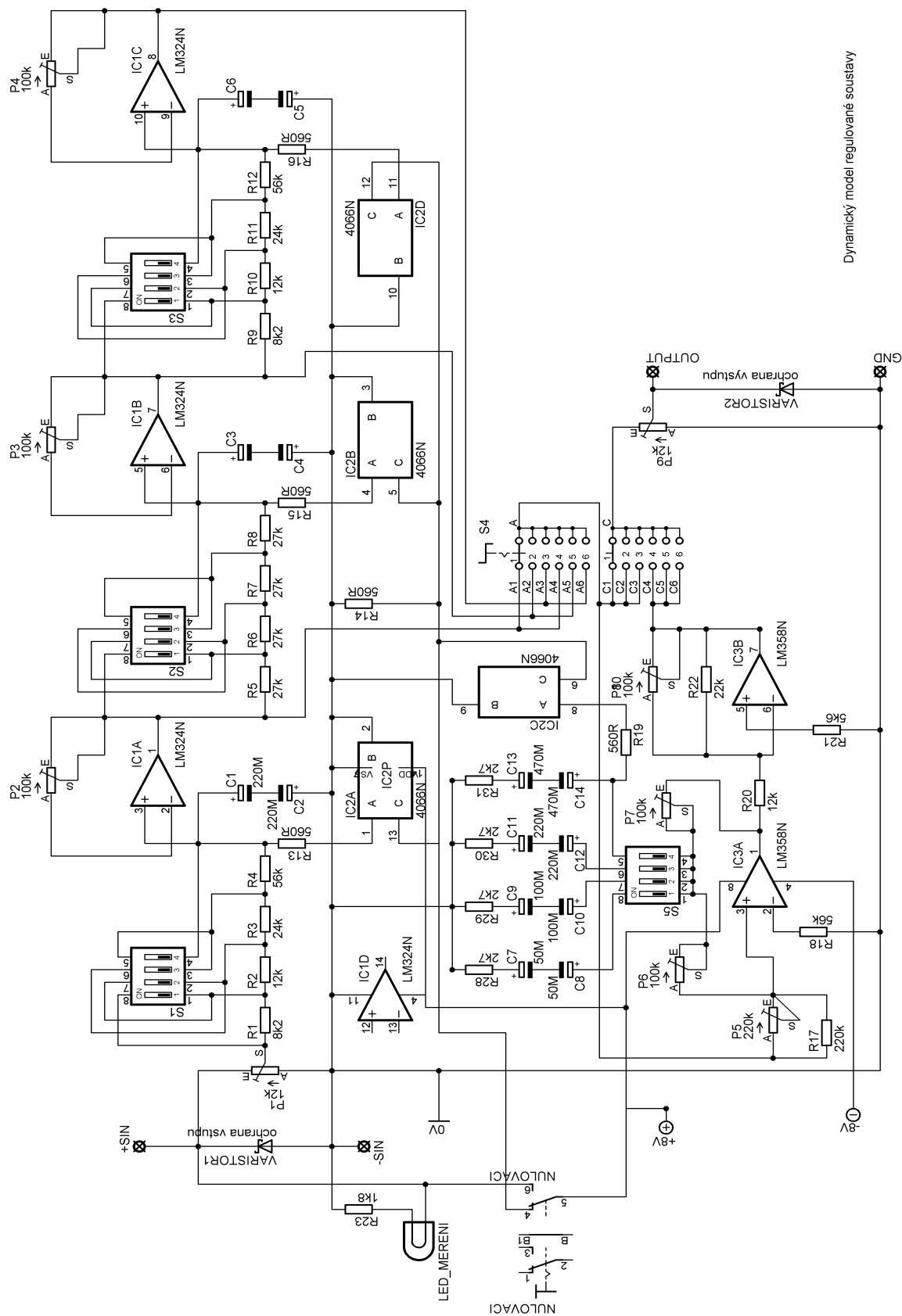
Tabulka 6 : Kombinace RC členu nového modelu 3. řádu

SEZNAM PŘÍLOH

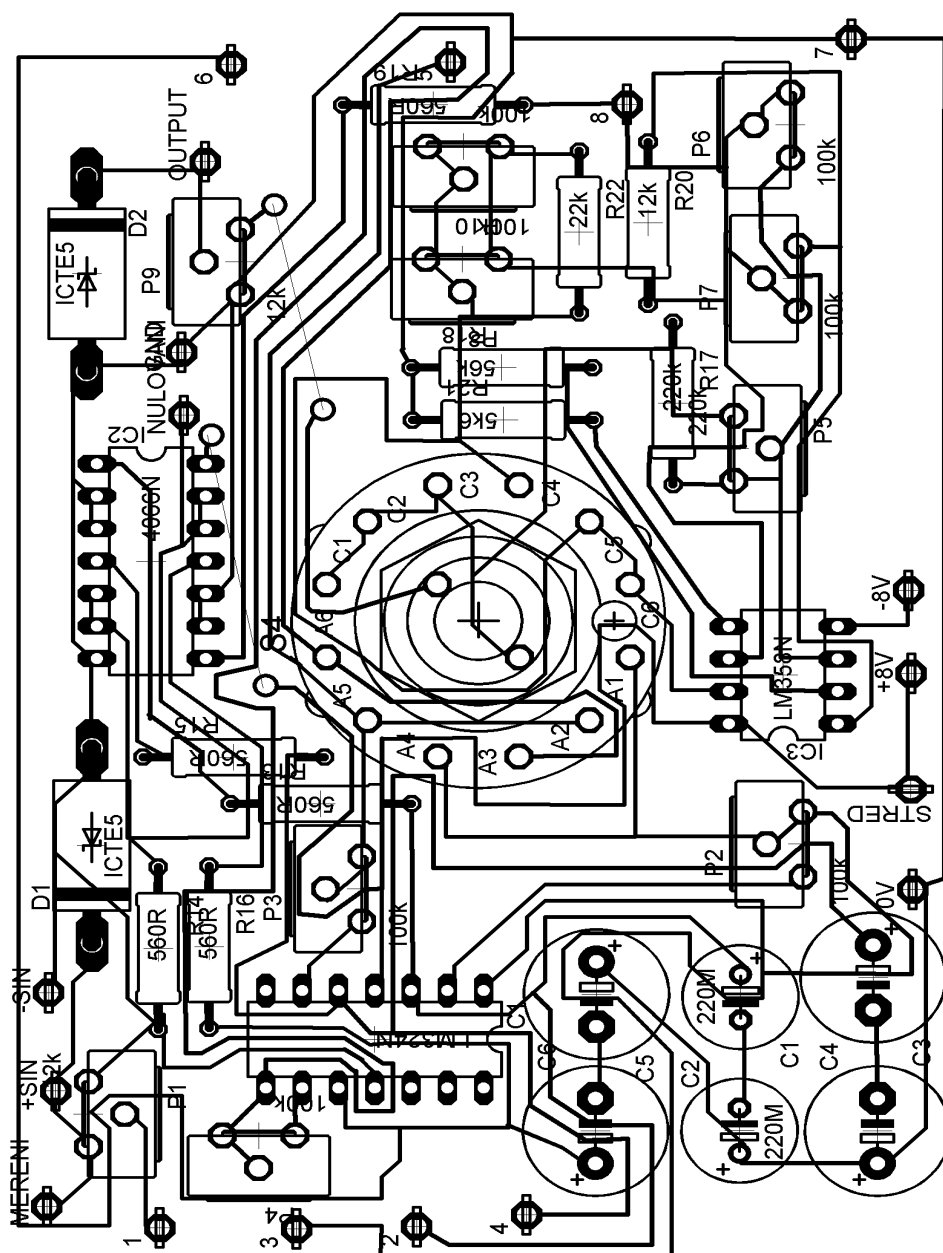
- P1 : Celkové schéma stávajícího modelu
- P2 : Celkové schéma nového modelu
- P3 : Osazení součástek nového modelu
- P4 : Osazení zdroje
- P5 : Osazení S1, S2
- P6 : Osazení S3, S4
- P7 : Schéma zdroje
- P8 : Hlavní deska rozměr 1:1 pohled ze strany mědi
- P9 : Zadní deska ze strany mědi 1:1
- P10 : Přenos soustavy 1. řádu - stávající model
- P11 : Přenos soustavy 1. řádu - nový model
- P12 : Přenos soustavy 2. řádu - stávající model
- P13 : Přenos soustavy 2. řádu - nový model
- P14 : Přenos soustavy 3. řádu - stávající model
- P15 : Přenos soustavy 3. řádu – nový model
- P16 : Přenos soustavy 1. řádu s PD soustavou - stávající model
- P17 : Přenos soustavy 1. řádu s PD soustavou - nový model
- P18 : Přenos soustavy 2. řádu s PD soustavou - stávající model
- P19 : Přenos soustavy 2. řádu s PD soustavou - nový model
- P20 : Přenos soustavy 3. řádu s PD soustavou - stávající model
- P21 : Přenos soustavy 3. řádu s PD soustavou - nový model



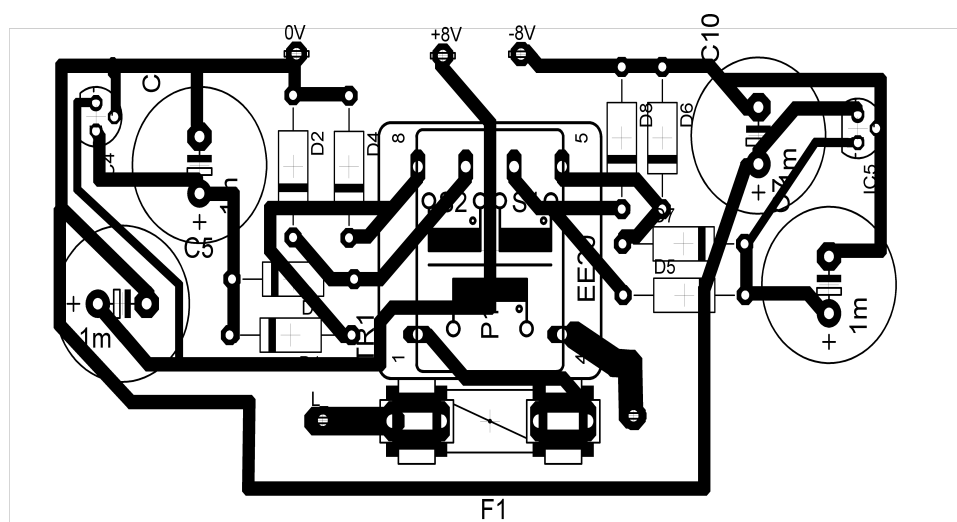
P 21 : Celkové schéma stávajícího modelu



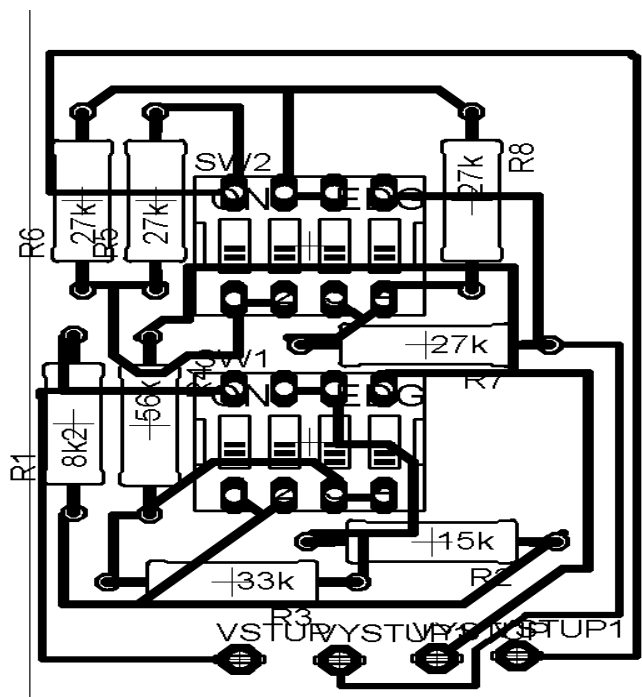
P 21 : Celkové schéma nového modelu



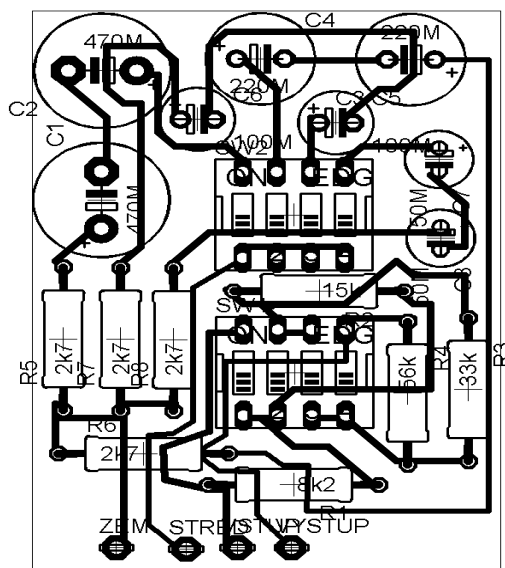
P 21 : Rozložení součástek nového modelu



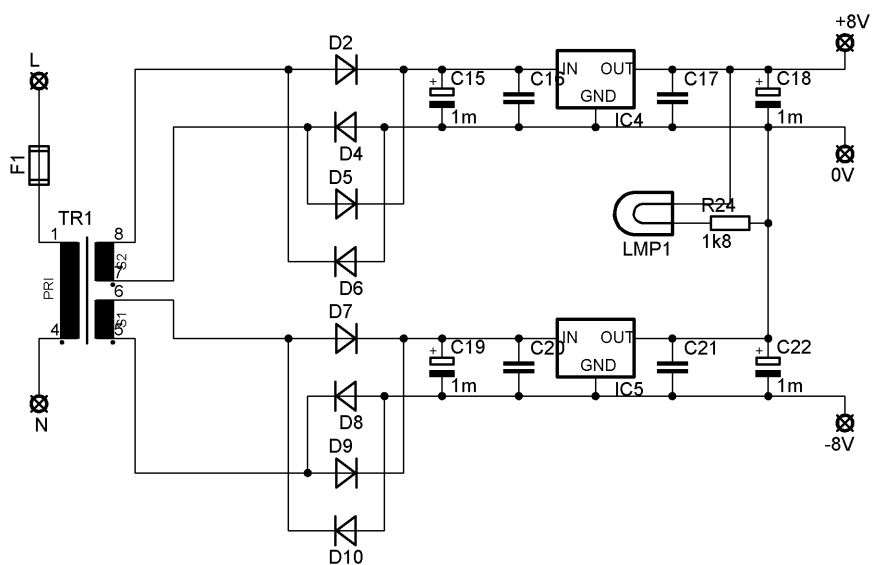
P 21 : Osazení zdroje



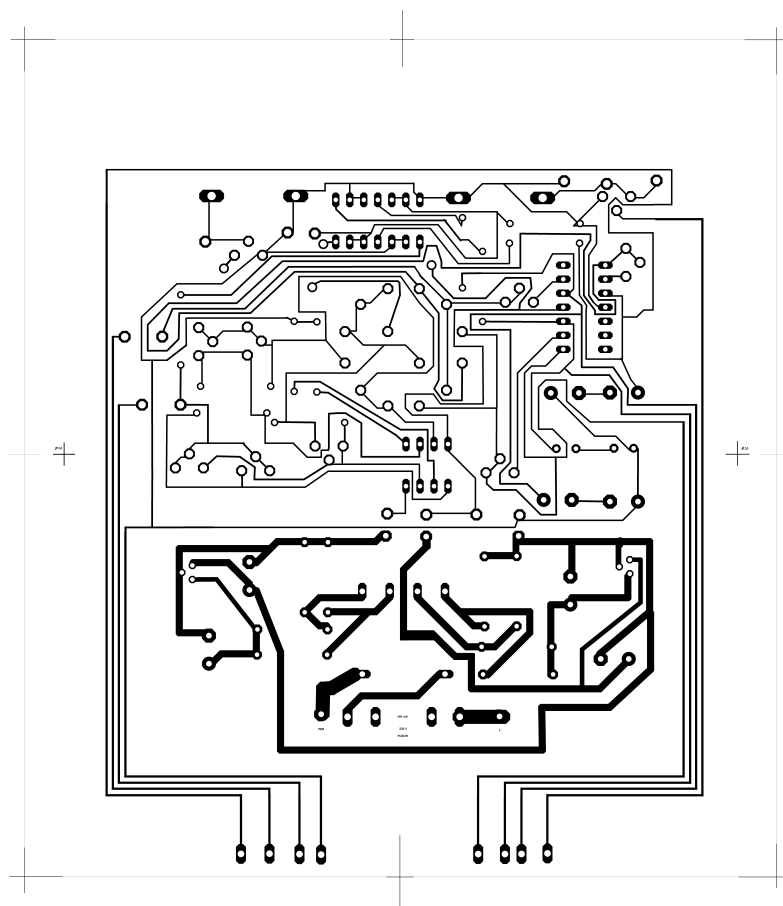
P 21 : Osazení S1, S2



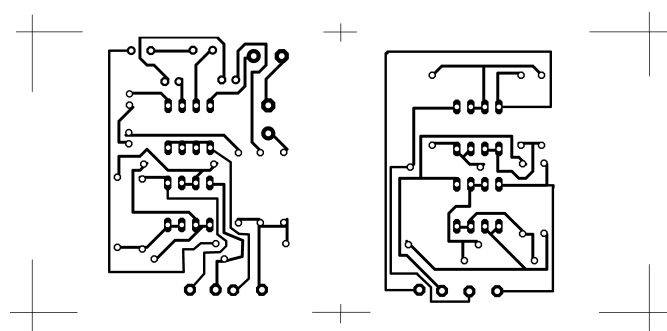
P 21 : Osazení S3, S4



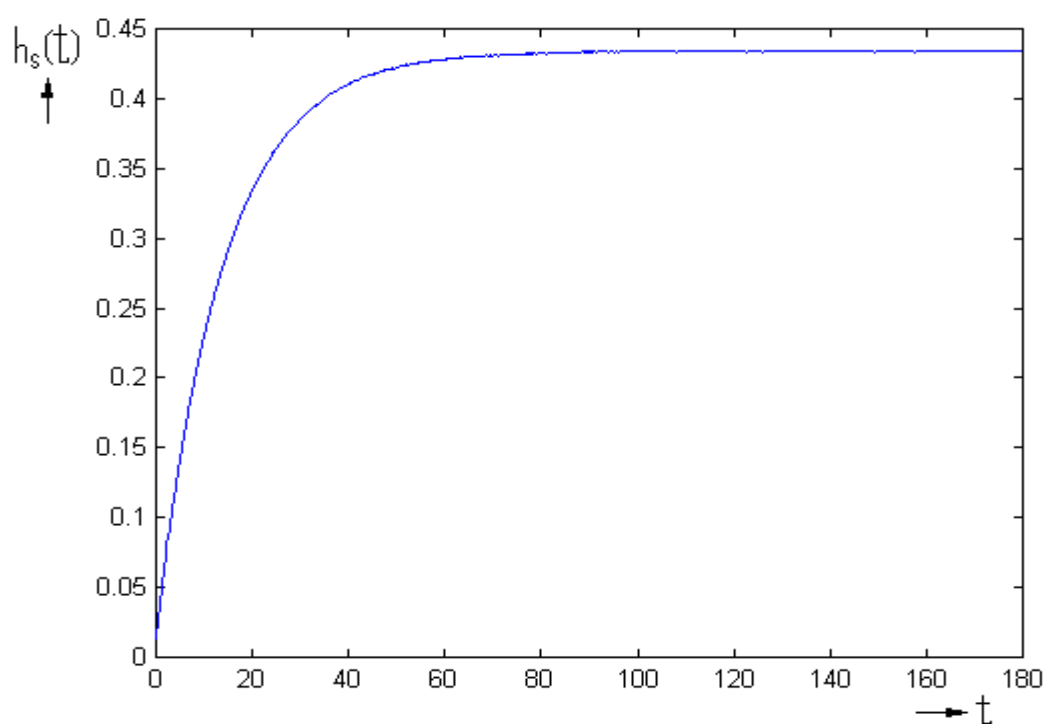
P 21 : Schéma zdroje



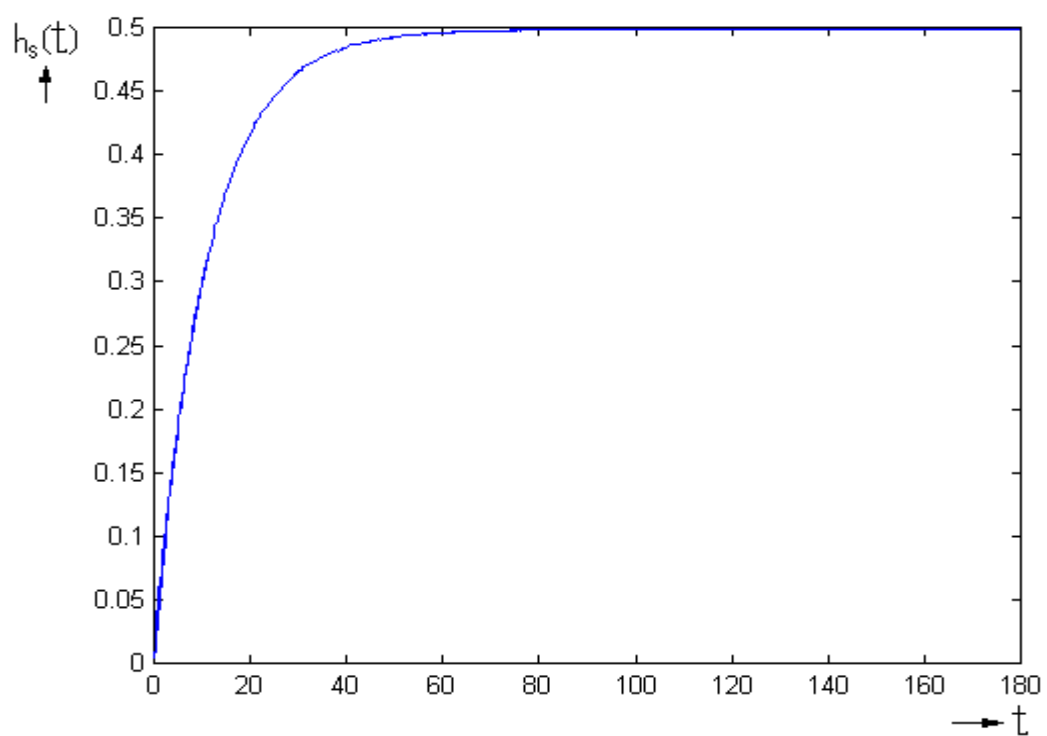
P 21 : Hlavní deska rozměr 1:1 pohled ze strany mědi



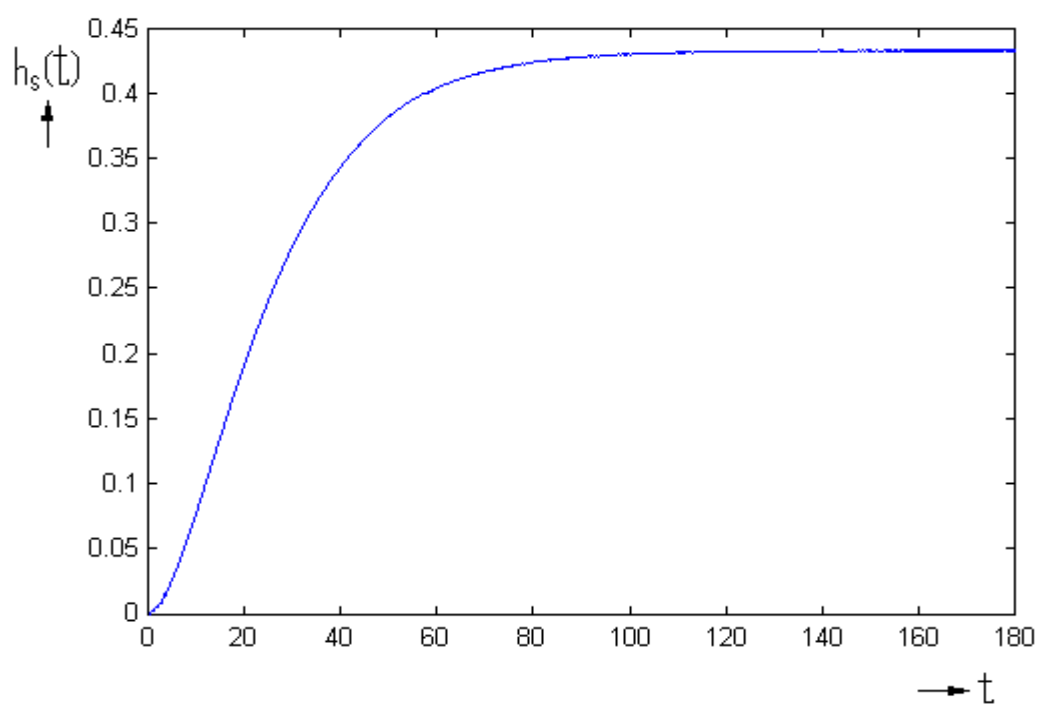
P 21 : Zadní deska ze strany mědi 1:1



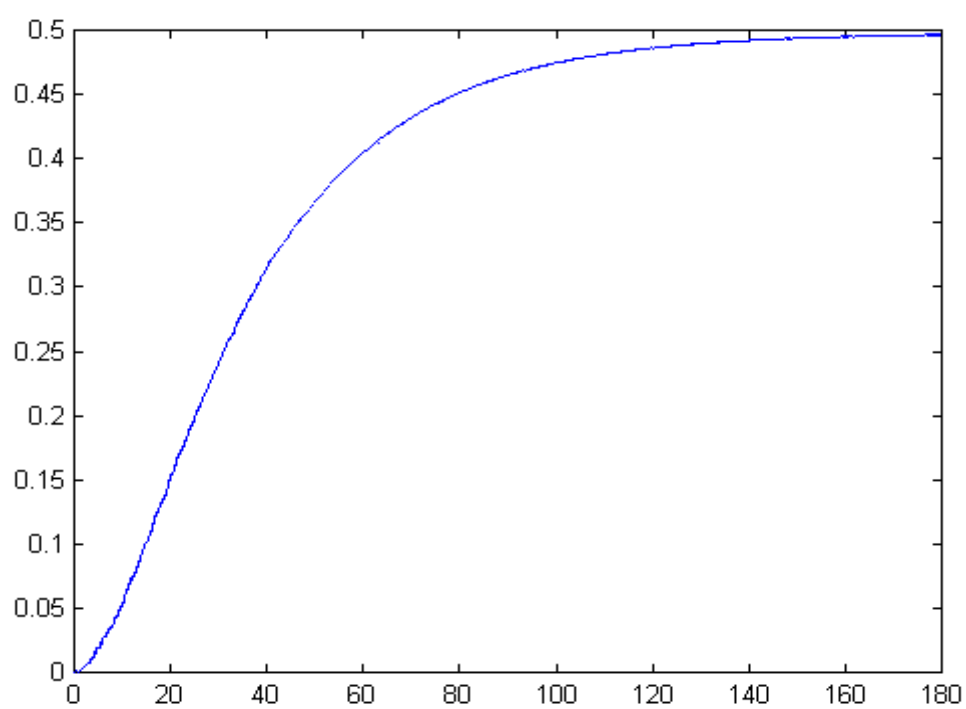
P 21 : Soustava 1. řádu - stávající model



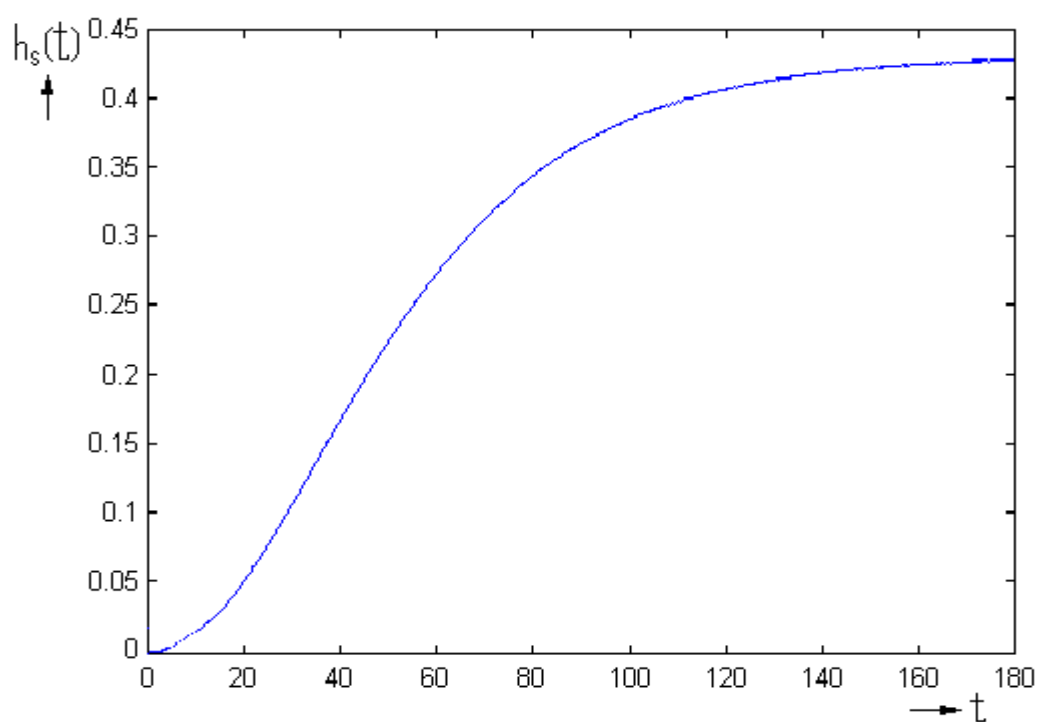
P 21 : Soustava 1. řádu - nový model



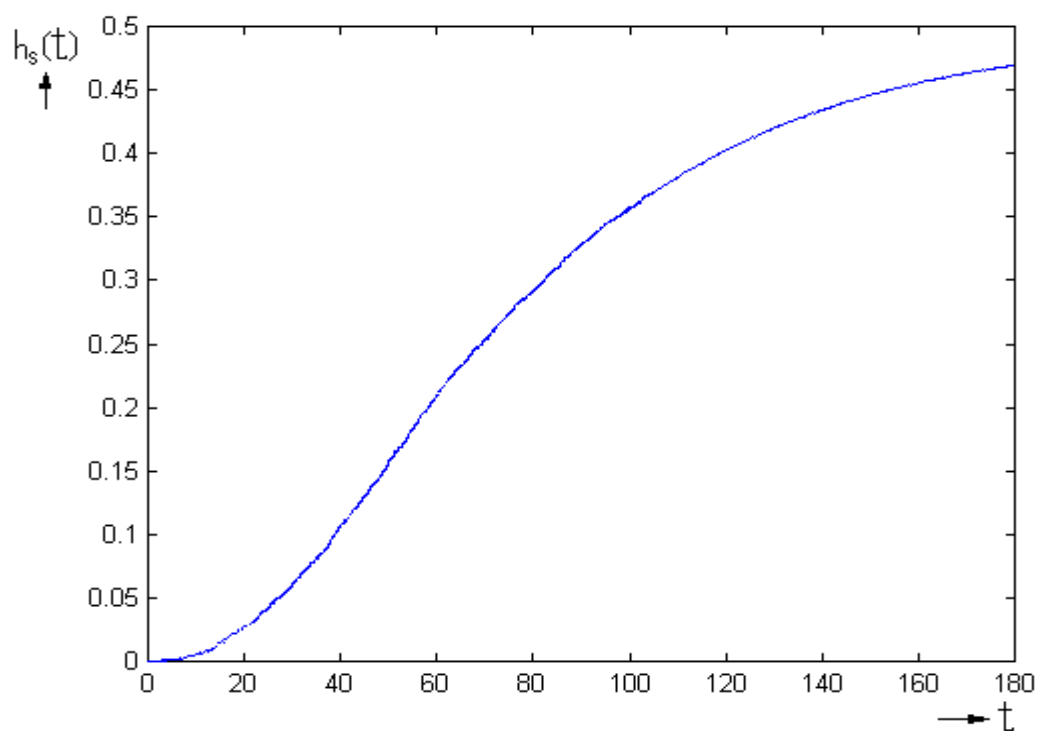
P 21 : Přenos soustavy 2. řádu - stávající model



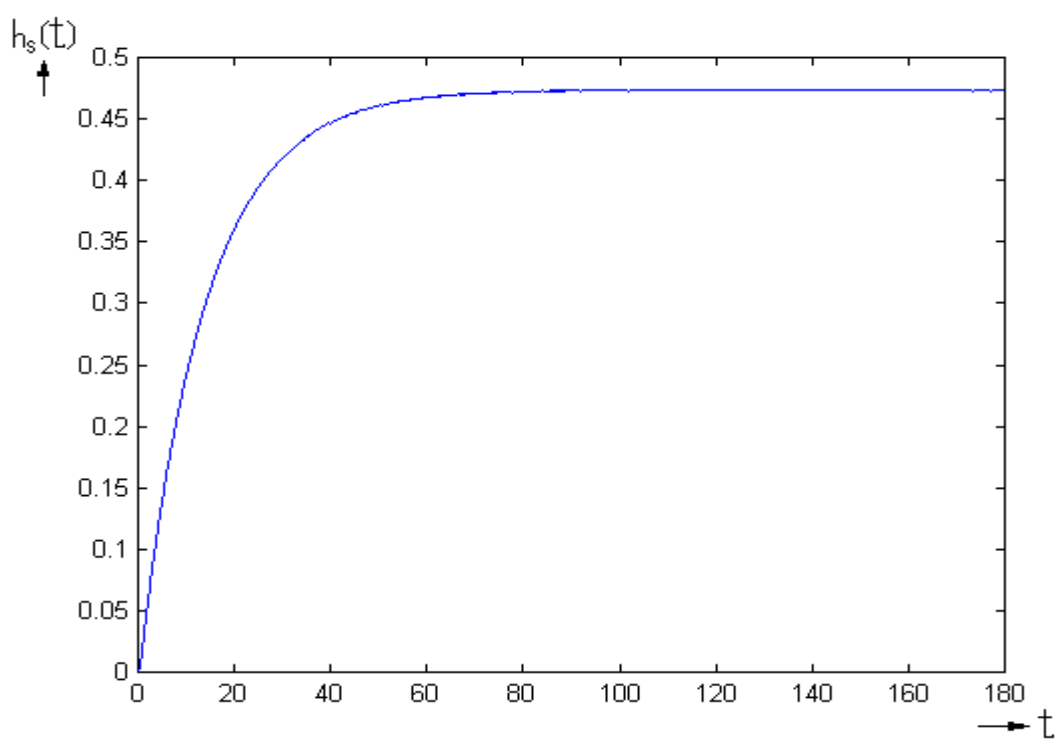
P 21 : Přenos soustavy 2. řádu - nový model



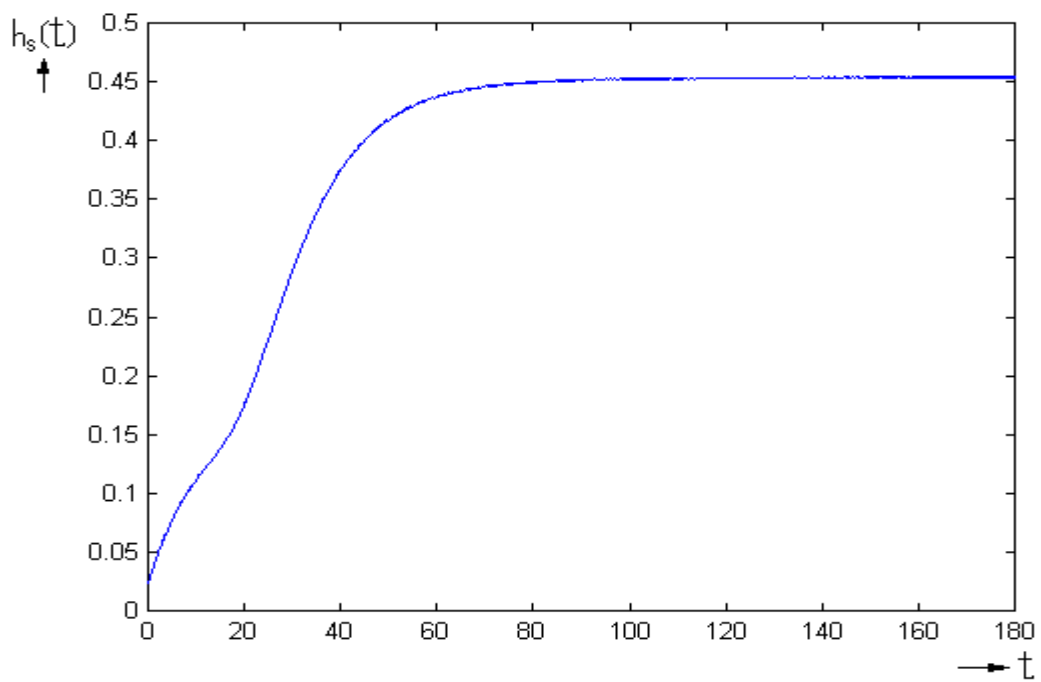
P 21 : Soustava 3. řádu - stávající model



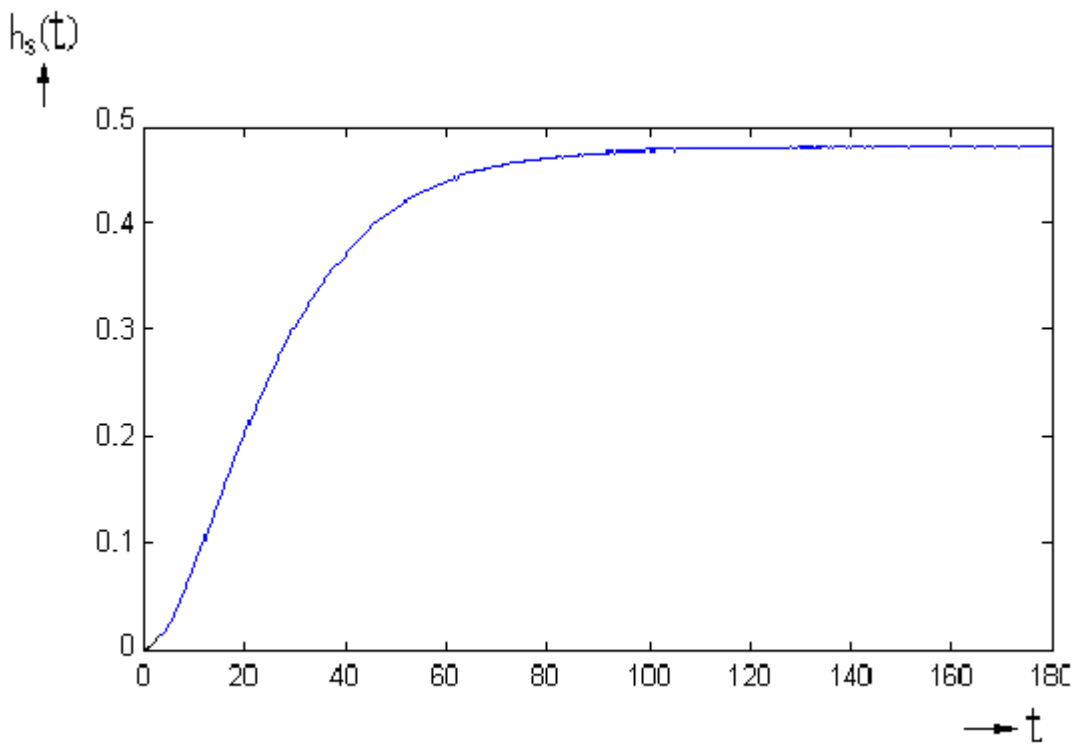
P 21 : Soustava 3. řádu - nový model



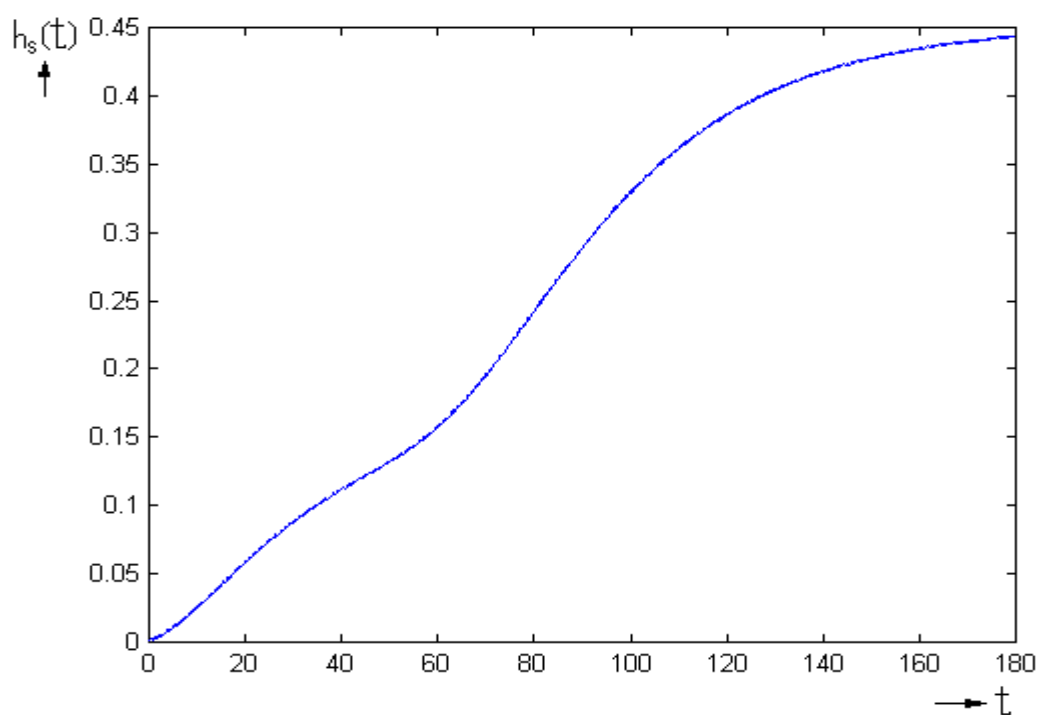
P 21 : Přenos soustavy 1. řádu s PD soustavou - stávající model



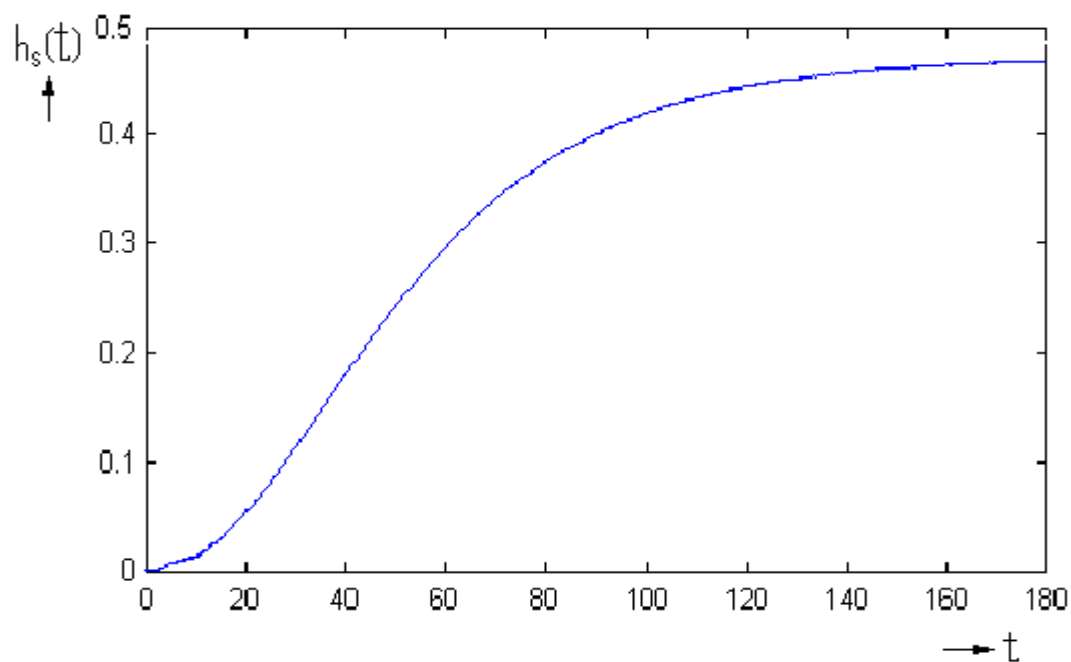
P 21 : Přenos soustavy 1. řádu s PD soustavou - nový model



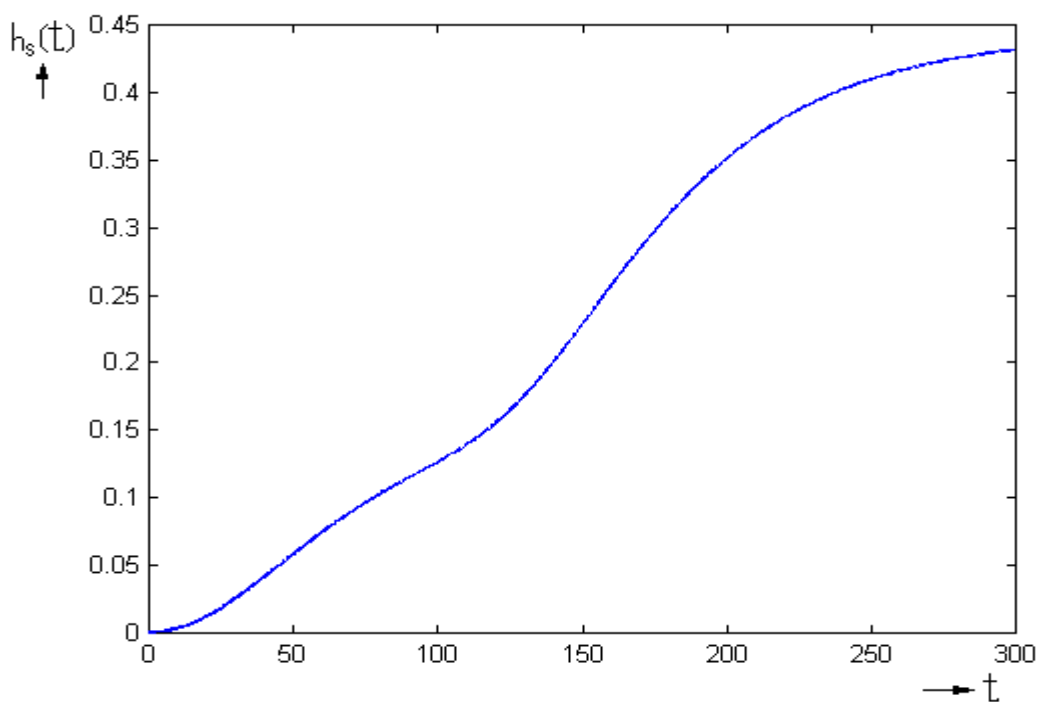
P 21 : Přenos soustavy 2. řádu s PD soustavou - stávající model



P 21 : Přenos soustavy 2. řádu s PD soustavou - nový model



P 21 : Přenos soustavy 3. řádu s PD soustavou- stávající model



P 21 : Přenos soustavy 3. řádu s PD soustavou - nový model

DIL1	DIL2	DIL3		
0	0	0	0	0
0	0	1	56k	6,16
0	1	0	33k	3,63
0	1	1	89k	9,79
1	0	0	12k	1,3
1	0	1	68k	7,48
1	1	0	45k	4,95
1	1	1	101k	11,1

Tabulka 6 : Kombinace RC členu stávajícího modelu 1. řádu

DIL1	DIL2	DIL3		
0	0	0	0	0
0	0	1	33k	7,76
0	1	0	33k	7,76
0	1	1	66k	15,5
1	0	0	33k	7,76
1	0	1	66k	15,5
1	1	0	66k	15,5
1	1	1	99k	23,3

Tabulka 6 : Kombinace RC členu stávajícího modelu 2. řádu

DIL1	DIL2	DIL3		
0	0	0	0	0
0	0	1	56k	13,2
0	1	0	33k	7,76
0	1	1	89k	20,9
1	0	0	12k	2,82
1	0	1	68k	16
1	1	0	45k	10,6
1	1	1	101k	23,7

Tabulka 6 : Kombinace RC členu stávajícího modelu 3. řádu

DIL1	DIL2	DIL3	DIL4		
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	56k	6,16
0	0	1	0	24k	2,64
0	0	1	1	80k	8,8
0	1	0	0	12k	1,32
0	1	0	1	68k	7,48
0	1	1	0	36k	3,96
0	1	1	1	92k	10,12
1	0	0	0	8,2k	0,9
1	0	0	1	64k	7,04
1	0	1	0	32k	3,52
1	0	1	1	88k	9,68
1	1	0	0	20k	2,2
1	1	0	1	76k	8,36
1	1	1	0	44k	4,84
1	1	1	1	100k	11

Tabulka 6 : Kombinace RC členu nového modelu 1. řádu

IL1	DIL2	DIL3	DIL4		
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	27k	6,35
0	0	1	0	27k	6,35
0	0	1	1	54k	12,7
0	1	0	0	27k	6,35
0	1	0	1	54k	12,7
0	1	1	0	54k	12,7
0	1	1	1	81k	19
1	0	0	0	24k	6,35
1	0	0	1	54k	12,7
1	0	1	0	54k	12,7
1	0	1	1	81k	19
1	1	0	0	54k	12,7
1	1	0	1	81k	19
1	1	1	0	81k	19
1	1	1	1	108k	25,4

Tabulka 6 : Kombinace RC členu nového modelu 2. řádu

DIL1	DIL2	DIL3	DIL4		
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	56k	13,2
0	0	1	0	24k	5,64
0	0	1	1	80k	18,8
0	1	0	0	12k	2,82
0	1	0	1	68k	16
0	1	1	0	36k	8,46
0	1	1	1	92k	21,6
1	0	0	0	8,2k	1,9
1	0	0	1	64k	15
1	0	1	0	32k	7,52
1	0	1	1	88k	20,68
1	1	0	0	20k	4,7
1	1	0	1	76k	17,9
1	1	1	0	44k	10,35
1	1	1	1	100k	23,5

Tabulka 6 : Kombinace RC členu nového modelu 3. řádu