

ИЗСЛЕДВАНЕ ЧЕСТОТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ТИПОВИТЕ РЕГУЛАТОРИНА СИСТЕМИТЕ ЗА АВТОМАТИЧНО УПРАВЛЕНИЕ И РЕГУЛИРАНЕ

***Димитър Желев, **Иван Георгиев, *** Кристиан Христов**

Република България, 8800 Сливен, бул. „Бургаско шосе“ №59, Инженерно-педагогически факултет, Катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“, Специалност „Автоматика и информационни технологии“, студенти III курс

SUMMARY:

The basic building blocks of the systems for automatic control and adjustment are required for regulators. A standard regulator may be presented as a mathematical model of different real objects and is described with the transitional or frequency are characteristic. The mathematical model can be researched and in the system to make adjustments to improve its work. All specifications relating to dynamic controllers implemented with operational amplifiers can be carried over to other physical objects that have properties matching those of regulators in a specific frequency range and limits of the input output and impact.

ВЪВЕДЕНИЕ

Основните градивни елементи на системите за автоматично управление и регулиране са типовите регулатори: пропорционален, интегриращ, диференциращ, апериодичен и колебателен. Те са най-простите съставни части, на които може да се разложи една система. Реалната система може да бъде изследвана чрез съставяне на теоретичен модел. Моделът позволява използването на математически методи и компютри с цел извършване на изследвания. Точно тук се използват типовите регулатори, чиито свойства на този етап са добре изучени. В зависимост от вида на регулаторите, импулсната и единичната функция бързо и лесно се определят свойствата на системата. Така теоретичният модел може да бъде изследван и в системата да се нанесат корекции, например да се въведат обратни връзки и подходящи коригиращи регулатори. Един регулатор може да бъде математически модел на различни реални обекти.

Честотните характеристики представляват геометрична интерпретация на честотната предавателна функция на типовите регулатори. Много показателни за свойствата на регулаторите са техните амплитудно-честотни характеристики. Входното въздействие е синусоидален сигнал. Изходната реакция на това въздействие също е синусоидален сигнал със същата честота, но с различна амплитуда и някакво фазово отместване.

Между амплитудно-фазовата характеристика и преходната характеристика $h(t)$ на регулатора има еднозначна връзка. При зададена характеристика $h(t)$, за да се получи амплитудно-фазовата характеристика, операторът p се замества с $j\omega$. Т.е. амплитудно-фазовата характеристика е еквивалентен математичен модел на типовия регулатор или системата и определя еднозначно техните свойства: $h(j\omega) = h(p)$ и $h(p) = h(j\omega)$.

Амплитудно-честотна характеристика (АЧХ) $A(\omega)$ е отношението на ефективната стойност на изходния сигнал към ефективната стойност на входния сигнал. $A(\omega) = \frac{U_{\text{изх.}}}{U_{\text{вх.}}}$ и показва как регулатора пропуска сигналите с различна честота. Фазово-честотна характеристика (ФЧХ) е фазовото отместване на изходния сигнал по отношение на входното и се означава с $\varphi(\omega)$ или $\varphi(f)$. ФЧХ показва какво фазово отместване се внася от регулатора при различните честоти. АЧХ и ФЧХ са подходящи за експериментално изследване на реални регулатори и системи, чиито свойства не са предварително известни.

За удобство в практиката се използват често логаритмичните честотни характеристики ЛЧХ. Логаритмичната АЧХ $eL(\omega) = 20 \lg A(\omega)$.

ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Пропорционалното, интегриращото, диференциращото, аperiodичното и колебателното звено се описват с импулсната и единичната си функция. Импулсната и единичната функция се използват за математическо представяне на системите за автоматично управление. В инженерната практика широко се използват амплитудно-честотните и динамичните характеристики (импулсната или преходната характеристика):

- Импулсната характеристика $W(t)$ на една линейна електрическа верига е равна на изходния сигнал на тази верига, когато входният сигнал е импулсната функция $\delta(t)$.
- Преходната характеристика $h(t)$ на една линейна електрическа верига е равна на изходния сигнал на тази верига, когато входният сигнал е единичната функция $1(t)$.

В практиката се използват преходните характеристики, защото единичната функция лесно се реализира практически и могат да се провеждат опитни изследвания.

За да може експериментално да се изследва поведението и характеристиките на регулаторите, се използват електронни аналогови модели, съставени с помощта на операционни усилватели (OU) с подходящи обратни връзки. По този начин се изследват типови регулатори, чиито входни и изходни сигнали са електрически напрежения. Електрическите сигнали много лесно се генерират, променят, измерват и регистрират. Схемите с OU се използват широко в конструирането на електронни аналогови системи за регулиране и управление. Всички характеристики и свойства, които се отнасят за типовите регулатори, реализирани с OU, могат да бъдат пренесени към другите физически обекти, които съответстват на дадения регулатор.

Пропорционален регулатор

Пропорционалният регулатор ($Z_1=R_1$ и $Z_2=R_2$) има постоянен коефициент на усилване до честота, която се определя от честотните свойства на OU. До честотата, при която коефициентът на усилване започва да намалява, регулаторът се разглежда като пропорционален. Честотният обхват може да се разшири като се използва друг модел, например аperiodичен регулатор.

Интегриращ регулатор

Характеристики на интегриращ регулатор ($Z_1=R_1$ и $Z_2 = \frac{1}{pC_2}$):

- Преходна характеристика: $h(p) = \frac{1}{pR_1C_2}$
- АФХ: $h(j\omega) = -j \frac{1}{\omega.R_1C_2}$
- АЧХ: $A(\omega) = \frac{1}{\omega.R_1C_2}$
- Логаритмична АЧХ: $L(\omega) = 20lg \frac{1}{\omega.R_1C_2} - 20lg \omega$

Логаритмичната АЧХ е права линия с наклон $-20dB/dec$. При $\omega = 1$ тя преминава през точката $L(\omega) = 20lg \frac{1}{\omega.R_1C_2}$. При всички честоти изходният сигнал изостава по фаза от входния с 90° .

Диференциращ регулатор

Характеристики на идеален диференциращ регулатор ($Z_1 = \frac{1}{pC_2}$ и $Z_2 = R_2$):

- Преходна характеристика на идеален диференциращ регулатор: $h(p) = pR_2C_1$.
- АФХ на идеален диференциращ регулатор: $h(j\omega) = j\omega R_2C_1$
- АЧХ на идеален диференциращ регулатор: $A(\omega) = \omega R_2C_1$

- Логаритмична АЧХ на идеален диференциращ регулатор: $L(\omega) = 20\lg R_2 C_1 + 20\lg \omega$
- Фазово-честотна характеристика: $\varphi(\omega) = 90^\circ$

Реален диференциращ регулатор ($Z_1 = R_k + \frac{1}{pC_2}$ и $Z_2 = R_2$):

За подобряване на работата на диференциращият регулатор, в схемата му се включва коригиращ резистор R_k .

Преходна характеристика на реален (коригиран) диференциращ регулатор:

$$h(p) = -\frac{pR_2C_1}{1+pR_kC_1}$$

Звеното е диференциращо само до честота, определена от времеконстантата на електрическата верига $T = R_kC_1, s$. Над тази честота схемата не е вече диференциращо звено.

Апериодичен регулатор

Характеристики на апериодичен регулатор ($Z_1=R_1$ и $Z_2 = \frac{R_2}{1+pR_2C_2}$):

- Преходната характеристика на апериодичен регулатор: $h(p) = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1+pR_2C_2}$

- АФХ: $h(j\omega) = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1+j\omega R_2C_2}$

- АЧХ: $A(\omega) = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 \cdot (R_2C_2)^2}}$

- Логаритмична АЧХ: $L(\omega) = 20\lg \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 \cdot (R_2C_2)^2}} = 20\lg \frac{R_2}{R_1} - 20\lg \sqrt{1 + \omega^2 \cdot (R_2C_2)^2}$

- Фазово-честотна характеристика: $\varphi(\omega) = \arctg(\omega R_2C_2)$

$\omega_0 = \frac{1}{R_2C_2}$ се нарича спрягаща честота. За честоти по-ниски от ω_0 асимптотичната логаритмична АЧХ е права линия, успоредна на абцисната ос на разстояние $20\lg \frac{R_2}{R_1}$ от нея, наречена нискочестотна и не зависи от честотата, т.е. $\omega^2 \cdot (R_2C_2)^2 \ll 1$. За високите честоти $\omega^2 \cdot (R_2C_2)^2 \gg 1$ и тогава $L(\omega) = 20\lg \frac{R_2}{R_1} - 20\lg \omega R_2C_2$. Това е уравнение на права линия с наклон $-20dB/dec$, която пресича нискочестотната характеристика в точката на спрягащата честота ω_0 . Разликата между действителната и асимптотичната логаритмична АЧХ е най-голяма при спрягащата честота и е $3dB$. За построяването на тези характеристики е достатъчно да се изчислят само $20\lg \frac{R_2}{R_1}$ и $\frac{1}{R_2C_2}$.

Колебателен регулатор

Преходна характеристика на колебателен регулатор:

$$h(p) = -\frac{u_{изх.}(p)}{u_{вх.}(p)} = \frac{R_4 + R_5}{p^2 C_1 C_2 R_2 R_3 (R_4 + R_5) + p C_1 (R_1 R_5 + R_2 R_4 + R_2 R_5) + R_5}$$

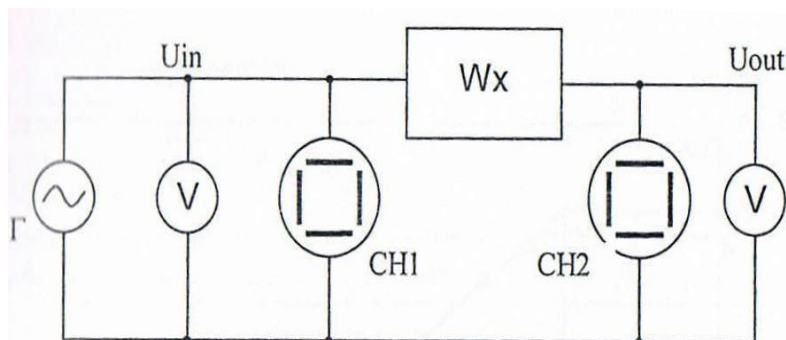
Нискочестотната асимптотична логаритмична АЧХ е права линия, която пресича ординатата в точката L_0 . Високочестотната асимптотична логаритмична АЧХ е права линия с наклон $-40dB/dec$. Двете асимптотични логаритмични АЧХ се пресичат при спрягащата честота. ФЧХ се променя от нула до -180° . При спрягащата честота фазата е -90° . Отклонението на реалната логаритмична АЧХ от асимптотична е около спрягащата честота. Видът на характеристиката и отклонението зависят от коефициента на затихване, който може да се изменя от 0 до 1.

Тези типови регулатори са реални и техните АЧХ не съвпадат на 100 % с тези на идеалните.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Схема на опитната постановка

На фиг.1 е дадена схемата на опитната постановка за изследване честотните характеристики на пропорционален, интегриращ, диференциращ, апериодичен и колебателен регулатор, реализирани с ОУ, на фиг.3 - схемата за изследване характеристиките и фиг 4 - визуализация на опитната постановка.



фиг.1. Схема на опитната постановка

W_x – изследвано звено;

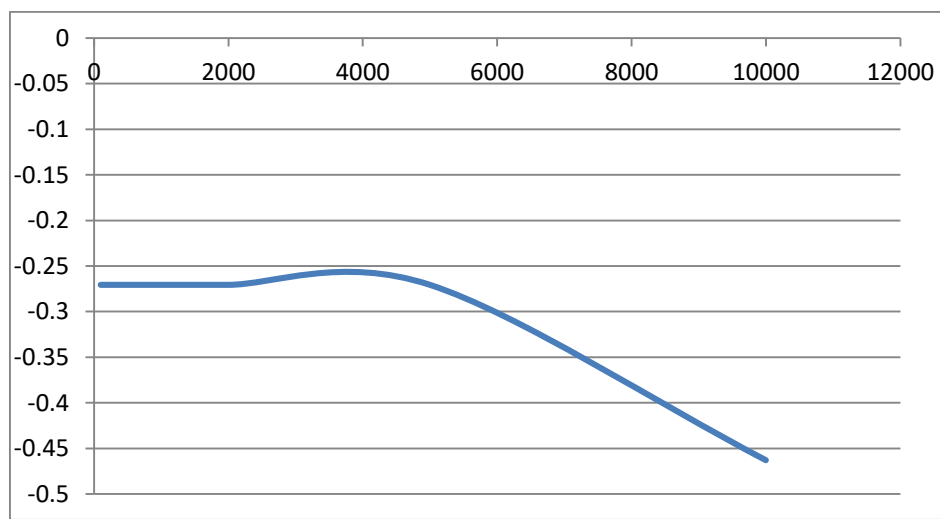
G – функционален генератор;

V – микровотметър за измерване напреженията на входния и изходния сигнал;

$CH1$, $CH2$ – двата канала на цифров осцилоскоп за наблюдение и измерване на сигналите

Резултати от експерименталните изследвания

Пропорционален регулатор

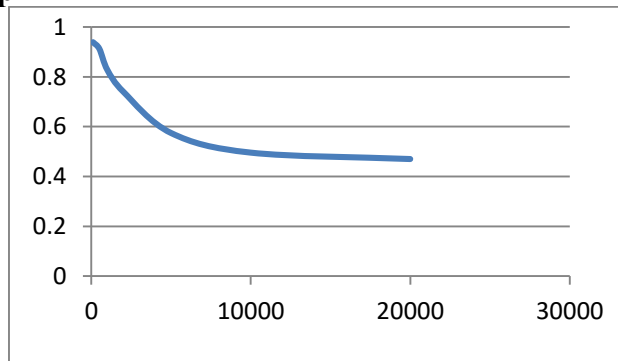


фиг.2. ЛАЧХ на пропорционален регулатор

Таблица 1

Измерва се			Изчисляват се	
f,Hz	Uвх,mV	Uизх,mV	A	L,dB
100	160	360	0,44444	-0,2707
500	160	360	0,44444	-0,2707
1000	160	360	0,44444	-0,2707
2000	160	360	0,44444	-0,2707
5000	160	360	0,44444	-0,2707
10000	160	640	0,25	-0,46276
20000	160	640	0,25	-0,46276
40000	160	680	0,23529	-0,48299
80000	160	680	0,235294	-0,48299
150000	160	720	0,222222	-0,50207

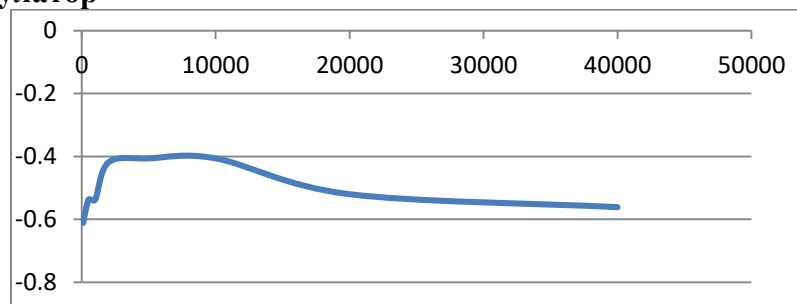
Интегриращ регулатор



фиг.3. ЛАЧ на интегриращ регулатор
таблица 2

Измерва се			Изчисляват се	
f,Hz	Uвх,mV	Uизх,V	A	L,dB
100	160	9,6	16,6667	0,93914
500	160	10,4	15,3846	0,912421
1000	160	13,4	11,9403	0,827817
2000	160	17,4	9,1954	0,740621
5000	160	28,6	5,59441	0,57474
10000	160	36,2	4,41989	0,496077
20000	160	39,1	4,09207	0,470353
40000	160	28	5,71429	0,581817
80000	160	28	5,714286	0,581817
150000	160	28	5,714286	0,581817

Диференциращ регулатор

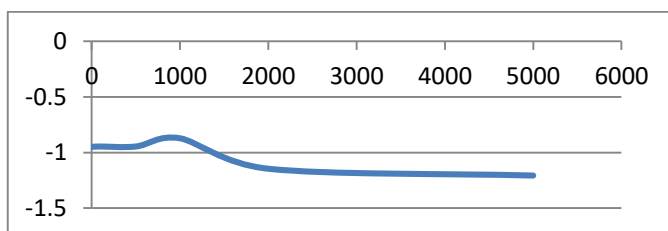


фиг.4. ЛАЧХ на диференциращ регулатор

Таблица 3

Измерва се			Изчисляват се	
f,Hz	Uвх,mV	Uизх,mV	A	L,dB
100	160	1000	0,16	-0,61173
500	160	800	0,2	-0,53724
1000	160	800	0,2	-0,53724
2000	160	560	0,28571	-0,41818
5000	160	540	0,2963	-0,40604
10000	160	540	0,2963	-0,40604
20000	160	760	0,21053	-0,52012
40000	160	860	0,18605	-0,56138
80000	160	880	0,181818	-0,56906
150000	160	880	0,181818	-0,56906

Колемателен регулатор

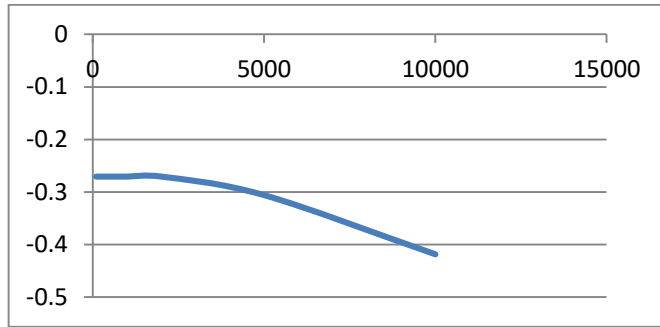


фиг.5. ЛАЧХ на колебателен регулатор

Таблица 4

Измерва се			Изчисляват се	
f,Hz	Uвх,mV	Uизх,mV	A	L,dB
100	21,6	370	0,05838	-0,94829
500	20	340	0,05882	-0,94575
1000	20	340	0,05882	-0,94575
2000	22	300	0,07333	-0,87215
5000	24	740	0,03243	-1,14449
10000	20	740	0,02703	-1,20535
20000	18	740	0,02432	-1,24052
40000	13,6	780	0,01744	-1,35166
80000	4,8	780	0,006154	-1,69931
150000	3,6	780	0,004615	-1,79534

Апериодичен регулатор



фиг.6. ЛАЧХ на апериодичен регулатор
Таблица 5

Измерва се			Изчисляват се	
f, Hz	U _{вх} , mV	U _{изх} , mV	A	lgdB
100	160	360	0,44444	-0,2707
500	160	360	0,44444	-0,2707
1000	160	360	0,44444	-0,2707
2000	160	360	0,44444	-0,2707
5000	160	400	0,4	-0,30587
10000	160	560	0,28571	-0,41818
20000	160	520	0,30769	-0,39344
40000	160	720	0,22222	-0,50207
80000	160	720	0,22222	-0,50207
150000	160	1360	0,117647	-0,71437

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Реализирана е схемата на опитната постановка за изследване на преходните и честотните характеристики на пропорционален, интегриращ, диференциращ, апериодичен и колебателен регулатор.
2. Заснети са осцилограмите на $u(t)$ на изходния сигнал по време на преходния процес при включване на правоъгълни импулси, чрез електронен осцилоскоп.
3. Експериментално са получени честотните характеристики на пропорционален, интегриращ, диференциращ, апериодичен и колебателен регулатор, реализирани с ОУ. Забелязва се, че АЧХ на реалните типови регулатори не съвпадат изцяло с тези на идеалните поради влиянието на странични фактори.
4. Лабораторното устройство и експерименталните изследвания са направени под ръководството на доц. Стоянова. Те могат да се използват за обучение на студентите от специалностите „Електротехника“, „Автоматика и информационни технологии“ и „Автоматика, информационна и управляваща техника“, Образователно-квалификационни степени „Бакалавър“ и „Магистър“ в Инженерно-педагогически факултет - Сливен към Технически университет - София по дисциплините Електрозадвижване и Теоретична електротехника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михов, М. 2004: Михов, М. Системи за управление на електрозадвижванията. София.
2. Сотиров, Д. 2005: Сотиров, Д. Ръководство за лабораторни упражнения по електрозадвижвания. София.

3. Стоянова, С.: 2015. Теоретична електротехника част втора. Бургас.
4. Стоянова, С.: 2014. Ръководство за лабораторни упражнения по теоретична електротехника. Бургас.
5. Стоянова, С.: 2012. Приложна електротехника част първа. Бургас.