

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОСНОВНИТЕ ГРАДИВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА СИСТЕМИТЕ ЗА  
АВТОМАТИЧНО УПРАВЛЕНИЕ И СИСТЕМИТЕ ЗА АВТОМАТИЧНО  
РЕГУЛИРАНЕ**

**\* Петър Пенчев, \*\* Мустафа Ебазир**

*Република България, 8000 Бургас, бул. „Проф. Яким Якимов“ №1, Университет „Проф. д-р.  
Асен Златаров“, Факултет по технически науки*

*\*Катедра „Електроника, електротехника и машинознание“, студент IV курс,  
penchev\_93@abv.bg*

*\*\* Катедра „Компютърни системи и технологии“, студент II курс, mustafa\_ebazir@abv.bg*

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Пропорционалното, интегриращото, диференциращото, аperiодичното и колебателното звено са основните градивни елементи на системите за автоматично управление и регулиране. Те са най-простите съставни части, на които може да се разложи една система. Една реална 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 звената, чиито свойства на този етап са добре изучени. В зависимост от вида на звената, в 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 звена. Едно звено може да бъде математически модел на различни реални обекти.

При пропорционалното звено например, резисторът дава пропорционална връзка между тока и напрежението  $u = Ri$ , а при генераторите за постоянен ток с независимо възбуждане на входа се разглежда скоростта на въртене, на изхода-напрежението на котвата.

При интегриращото звено напрежението на кондензаторния елемент е интеграл от тока  $u = \frac{1}{C} \int idt$ , токът през индуктивния елемент е интеграл от напрежението  $i = \frac{1}{L} \int udt$ , ъгълът на завъртане на ротора на постояннотоковия двигател е интеграл от скоростта на въртене.

При диференциращото звено токът през кондензаторния елемент е производна на напрежението  $i = C \frac{du}{dt}$ , а падът на напрежение на индуктивния елемент е производна от тока  $u = L \frac{di}{dt}$ .

$RC$  – веригата е аperiодично звено, голяма част от реалните пропорционални и интегриращи звена са аperiодични, защото при определена честота, колкото и висока да е тя, коефициентът на усилване започва да намалява. Това означава, че реалните пропорционални звена са такива само в определен честотен диапазон.

$LC$  и  $RLC$ - веригите са колебателни звена, защото преходните процеси в тях имат колебателен характер, синхронната машина при опростено разглеждане също може да се представи като колебателно звено от 2-ри ред.

**ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА**

Пропорционалното, интегриращото, диференциращото, аperiодичното 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):

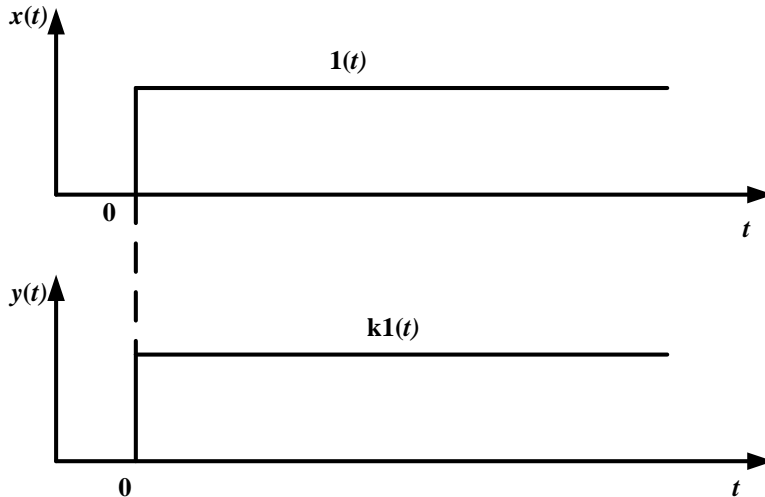
- Импулсната характеристика  $W(t)$  на една линейна електрическа верига е равна на

изходния сигнал на тази верига, когато входният сигнал е импулсната функция  $\delta(t)$ .

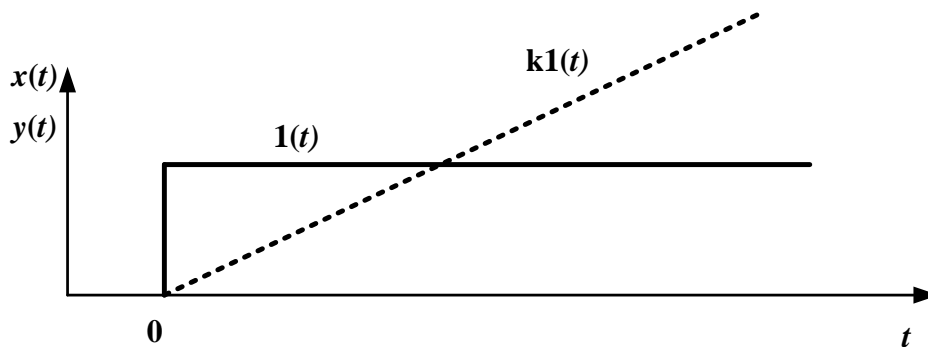
- Преходната характеристика  $h(t)$  на една линейна електрическа верига е равна на изходния сигнал на тази верига, когато входният сигнал е единичната функция  $1(t)$ .

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

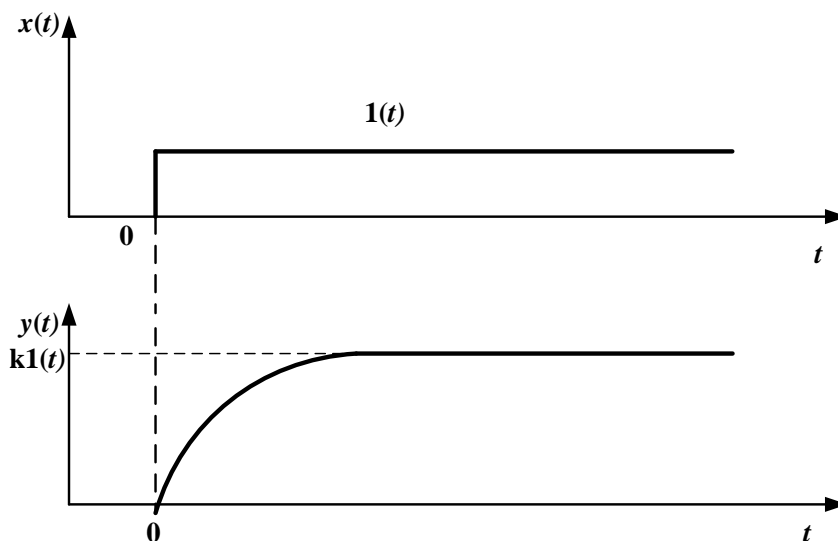
На фиг.1 са показани преходни характеристики на пропорционално, интегриращо, диференциращо, апериодично и колебателно звено.



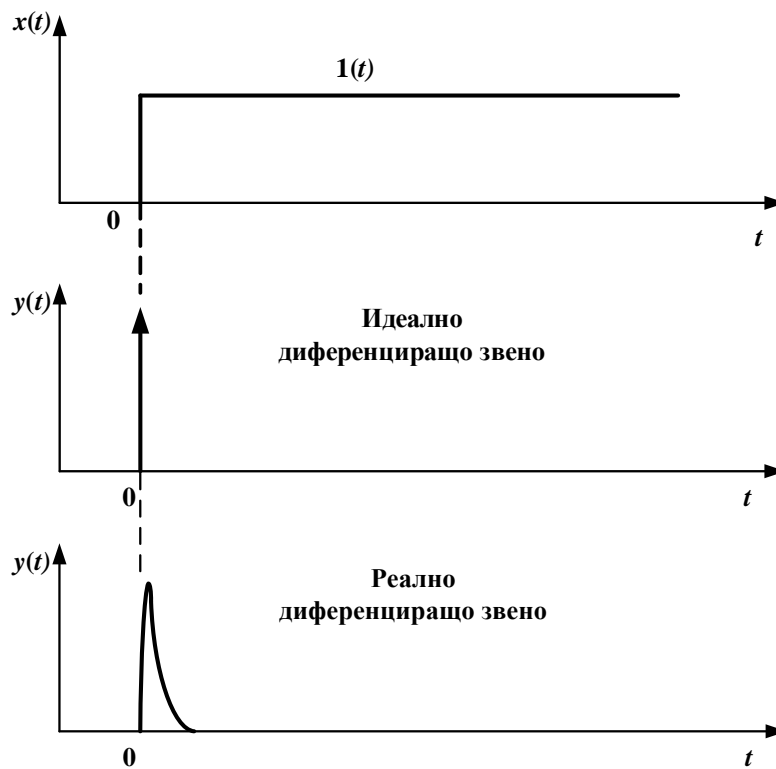
1а. Преходна характеристика на пропорционално звено



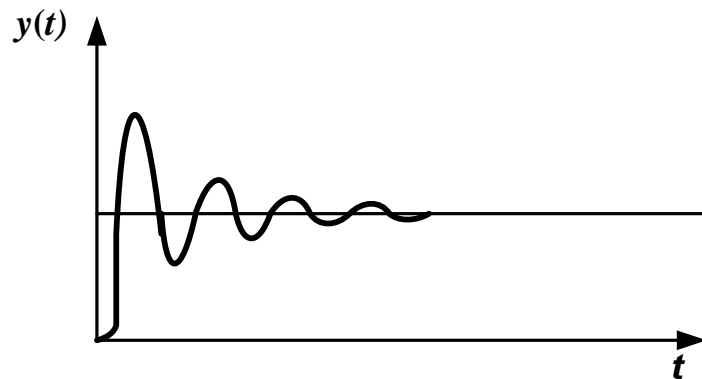
1б. Преходна характеристика на интегриращо звено



1в. Преходна характеристика на апериодично звено



1г. Преходна характеристика на диференциращо звено



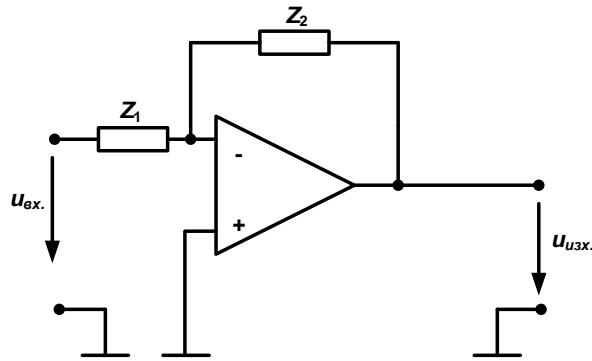
1д. Преходна характеристика на колебателно звено

Фиг.1. Преходни характеристики на пропорционално, интегриращо, диференциращо, апериодично и колебателно звено

За да може експериментално да се изследва поведението и характеристиките на пропорционалното, интегриращото, диференциращото, апериодичното и колебателното звено, се използват електронни аналогови модели, съставени с помощта на операционни усилватели (*OU*). По този начин се изследват звена, 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 харастеристики и свойства, които се отнасят за звената, реализирани с *OU*, могат да бъдат пренесени към другите физически обекти, които съответстват на даденото

звено. Базовата схема на инвертиращ усилвател с *OU* е показана на фиг.2.



Фиг.2. Базовата схема на инвертиращ усилвател с *OU*

Преходната характеристика на усилвателя е:

$$h(p) = \frac{u_{изх.}(p)}{u_{вх.}(p)} = \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)} \quad (1)$$

В зависимост от това какви елементи се използват за комплексните съпротивления  $Z_1$  и  $Z_2$ , се получават различни преходни характеристики на основните типове звена, реализирани с *OU*. Тук  $p = j\omega$  е комплексната променлива.

Пропорционалното звено ( $Z_1 = R_1$  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, звеното се разглежда като пропорционално. Честотният обхват може да се разшири като се използва друг модел, например аperiодично звено.

Преходната характеристика на интегриращото звено е ( $Z_1 = R_1$  и  $Z_2 = -\frac{1}{pC_2}$ ):

$$h(p) = -\frac{1}{pR_1C_2} \quad (2)$$

Преходната характеристика на реалното диференциращо звено е ( $Z_1 = R_1 - \frac{1}{pC_2}$  и  $Z_2 = R_2$ ):

$$h(p) = -\frac{pR_2C_1}{1+pR_1C_1} \quad (3)$$

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.

Преходната характеристика на аperiодичното звено е ( $Z_1 = R_1$  и  $Z_2 = -\frac{R_2}{1+pR_2C_2}$ ):

$$h(p) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1+pR_2C_2} \quad (4)$$

Преходната характеристика на колебателното звено е:

$$h(p) = -\frac{u_{изх.}(p)}{u_{вх.}(p)} = \frac{R_4 + R_5}{p^2C_1C_2R_2R_3(R_4 + R_5) + pC_1(R_1R_5 + R_2R_4 + R_2R_5) + R_5} \quad (5)$$

Тези звена са реални и тяхното заместване с преходните характеристики е валидно само при определени условия, които са: ограничен честотен диапазон, ограничено входно и изходно въздействие и краен коефициент на усилване.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИИЗСЛЕДВАНИЯ

### Схема на опитната постановка

На фиг.3 е дадена схемата на опитната постановка за изследване на преходните характеристики на пропорционално, интегриращо, диференциращо, апериодично и колебателно звено, реализирани с *OU*.

Преходната характеристика на интегриращото звено е:

$$h(p) = -\frac{1}{p \cdot 10 \cdot 10^{-6}}$$

Преходната характеристика на реалното диференциращо звено е:

$$h(p) = -\frac{p \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{1 + p \cdot 10 \cdot 10^{-6}}$$

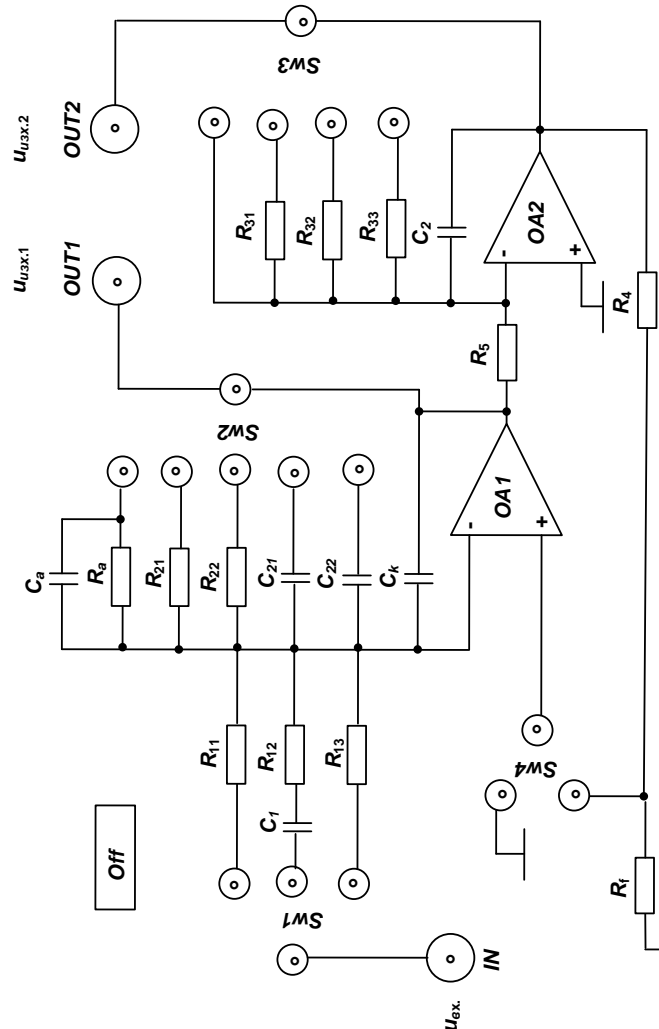
Преходната характеристика на апериодичното звено е:

$$h(p) = -\frac{0,45}{1 + p \cdot 10 \cdot 10^{-6}}$$

Преходната характеристика на колебателното звено е:

$$h(p) = \frac{20 \cdot 10^3}{p^2 \cdot 0,44 \cdot 10^{-3} + p \cdot 5,4 + 10 \cdot 10^3}$$

От образите на преходните характеристики се определят техните оригинали.



Фиг.3. Схема на опитната постановка

С помощта на усилвателя *OU1* се свързват схемите на звената. Входът е обозначен с *IN* и към него се подава сигнал с правоъгълна форма от функционален генератор с честота  $1000 \text{ Hz}$  и се наблюдава чрез електронен осцилоскоп формата на изходния сигнал. Чрез къс проводник с банан-щекери се свързва подходящата входна верига (превключвател *Sw1*),

която съответства на комплексното съпротивление  $Z_1$  от фиг.2.



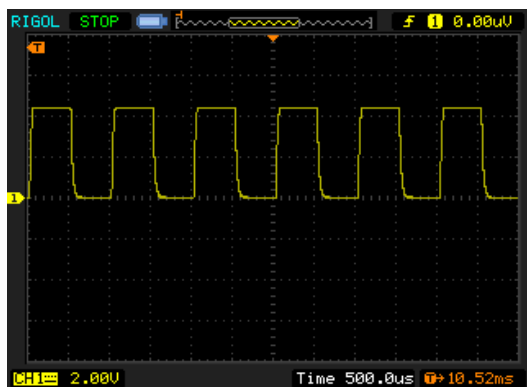
фиг.4. *Опитна постановка*

С помощта на превключвателя  $Sw2$  се избира веригата за комплексното съпротивление  $Z_2$  от фиг.2. Изходният сигнал се получава на  $OUT1$ , където се свързва сондата на осцилоскопа за канал 2 и се наблюдава формата на изходния сигнал (фиг.4 - фиг.8). За реализирането на колебателното звено се използва и вторият усилвател  $OY2$  като неинвертиращият вход на  $OY1$  се свързва към обратната връзка с  $R_4$  и  $R_f$ . В този случай изходният сигнал се получава на  $OUT2$ . Чрез  $Sw3$  се превключват стойностите на коефициента на затихване  $k$ .

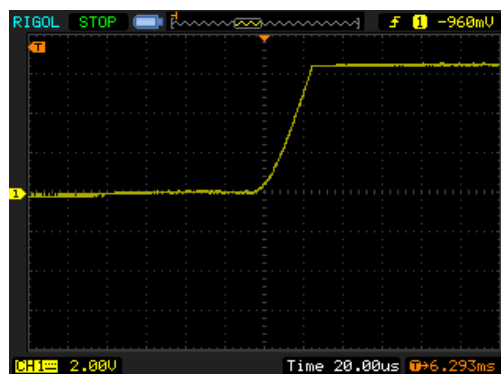
Честотата на собствените колебания се променя чрез  $Sw2$  като се избират  $C_{21}$  или  $C_{22}$ . При изследването на преходните характеристики на звената на входа се подават правоъгълни импулси от функционален генератор. Наблюдават се и се регистрират формите на изходния сигнал чрез осцилоскоп при входно въздействие правоъгълни импулси. Формата на изходния сигнал при всички схеми с инвертиращ усилвател е завъртяна на  $180^\circ$ . При схемата на колебателното звено фазата не се променя, защото то не е инвертиращо. Изходният сигнал се инвертира с помощта на осцилоскопа за по-голямо удобство при работа.

### Резултати от експерименталните изследвания

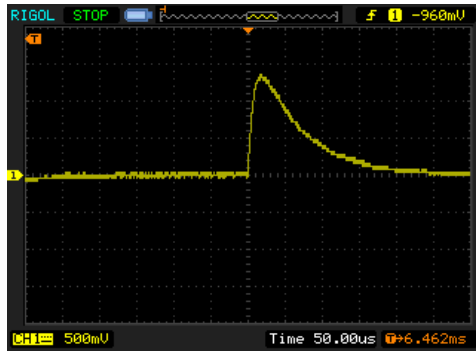
Получените осцилограми за изходния сигнал при подаване на правоъгълни импулси на входа са дадени на фиг.4 – фиг.8:



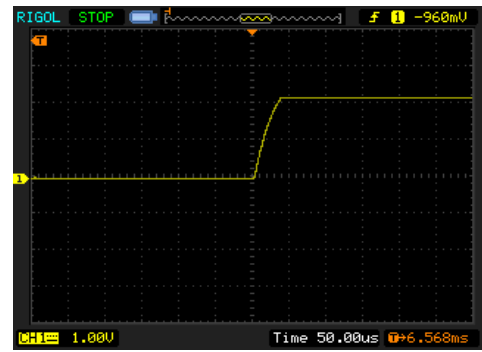
Фиг.4. *Форма на изходното напрежение на пропорционално звено*



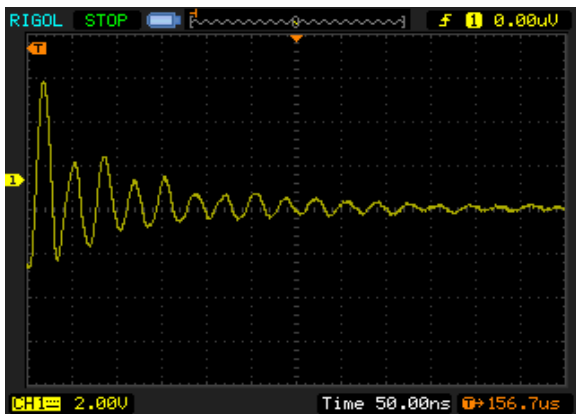
Фиг.5. *Форма на изходното напрежение на интегриращо звено*



Фиг.6. Форма на изходното напрежение на диференциращо звено



Фиг.7. Форма на изходното напрежение на аperiodично звено



Фиг.8. Форма на изходното напрежение на колебателно звено

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изработено е действащо лабораторно устройство за изследване на основните градивни елементи на системите за автоматично управление и автоматично регулиране.

2. Реализирана е схемата на опитната постановка за изследване на преходните характеристики на пропорционално, интегриращо, диференциращо, аperiodично и колебателно звено, с ОУ.

3. Заснети са осцилограмите на  $u(t)$  на изходния сигнал по време на преходният процес при включване на правоъгълни импулси, чрез електронен осцилоскоп.

4. Изчислени са преходните характеристики на пропорционално, интегриращо, диференциращо, аperiodично и колебателно звено, реализирани с ОУ.

5. Лабораторното устройство и експерименталните изследвания са направени под ръководството на доц. Стоянова. Те могат да се използват за обучение на студентите от специалностите „Електротехника“, „Електроника“ и „Компютърни системи и технологии“, Образователно-квалификационни степени „Магистър“, „Бакалавър“ и „Професионален бакалавър“ в Университет „Проф. д-р Асен Златаров“ по дисциплините Теоретична електротехника и Електрозадвижване.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Брандински, К. и др., Ръководство за лабораторни упражнения по теоретична електротехника, ИК „Кинг“, София, 2004.

2. Сотиров, Д., Ръководство за лабораторни упражнения по електрозадвижване, Издателство на Технически университет София, 2005.

3. Стоянова, С., Теоретична електротехника част втора, Университет „Проф.д-р Асен Златаров“, Бургас, 2015.

4. Стоянова, С., Ръководство за лабораторни упражнения по теоретична електротехника, Университет „Проф.д-р Асен Златаров“, Бургас, 2014.

5. Стоянова, С., Приложна електротехника част първа, Издателство „Божич“, Бургас, 2012.

6. Фархи, С., С. Папазов, Теоретична електротехника част 1, ДИ „Техника“, София, 1987.