

Доц. д-р инж. Румен Б. Пранчов
Гл. ас. инж. Димитър Г. Рашков

Гл. ас. д-р инж. Боянка М. Николова
Гл. ас. инж. Месроб Х. Палабикян

**РЪКОВОДСТВО
ЗА ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ
ПО МАТЕРИАЛОЗНАНИЕ В ЕЛЕКТРОНИКАТА**

Издателство НОВИ ЗНАНИЯ
София, 2005 г.

освен че имат по-малки загуби, феритите притежават много по-разнообразни свойства в сравнение с металните магнитни материали. Според функцията, която изпълняват, феритите се разделят на магнитномеки, с правоъгълен хистерезисен цикъл, СВЧ-ферити и магнитотвърди. Феритите се разделят на групи и съобразно състава им – никел-цинкови (Ni-Zn), манган-цинкови (Mn-Zn), манган-магнезиеви (Mn-Mg), манган-медни (Mn-Cu), литий-никелови (Li-Ni) и др.

Упражнение № 3

I. Тема: "Изследване на магнитни материали"

II. Задание

1. Да се снее експериментално и да се построи графично за всеки един от изследваните магнитни материали основната крива на намагнитване $B_m = f(H_m)$.

2. Да се определят коерцитивният интензитет H_c и остатъчната магнитна индукция B_r и да се начертае граничния хистерезисен цикъл за всеки един от образците.

3. Да се изчисли за всяка мостра динамичната относителна магнитна проницаемост μ_r като получените зависимости $\mu_r = f(H_m)$ се представят графично.

III. Указания за изпълнение на заданието

По т. 1: За да се снее експериментално основната крива на намагнитване, трябва:

Да се свърже коректно опитната постановка за съответния магнитен материал.

Да се еталонира (калибрира) "X" – усилвателя на осцилоскопа (виж Инструкцията за работа с осцилоскоп). Определянето на k_X се прави еднократно за всички мостри и за всички стойности на тока I .

С помощта на генератора Г и амперметъра А да се зададе желания ток.

От екрана на осцилоскопа да се отчетат точките X_m и Y_m с помощта на дадените по-долу указания. Стойностите на B_m и H_m се изчисляват с помощта на формули (1а) и (1б).

По т. 2: Отчитането на X_{H_c} и Y_{B_r} става чрез описаните по-долу указания, след което по формули (2) се изчисляват H_c и B_r .

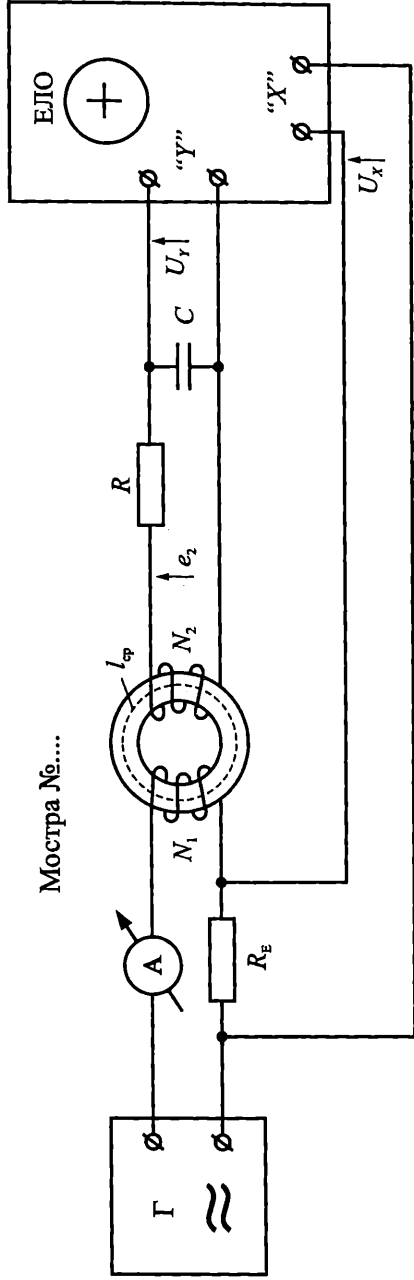
По т. 3: Изчисляването на динамичната относителна магнитна проницаемост μ_r става по формула (3).

Резултатите от измерванията и изчисленията да се нанесат в приложената таблица. Графичното представяне на резултатите от точки 1, 2 и 3 става за дадена мостра в обща координатна система, имаща обща абсцисна ос за интензитета на магнитното поле H и две отделни числени ординатни оси – една за магнитната индукция B , а другата за относителната магнитна проницаемост μ_r .

Таблица

№	Данни за образеца	Параметри											
		I , А	k_X , V/дел	X_{m3} дел	H_{m3} A/m	k_{y1} , V/дел	Y_{m3} дел	B_{m3} Т	μ_{r1} -	X_{Hc1} дел	H_{c1} A/m	Y_{B1} дел	B_{r1} Т
1	Ферит: $N_1 = ; N_2 =$ $l_{cp} = ; S =$ $f =$ $k_{H1} = ; k_{B1} =$												
2													
...													

IV. Схема на опитната постановка



Γ – нискофреkwотен генератор на напрежение

A – променливотоков амперметър (стрелкови или цифров)

R_E – еталонен резистор

$N_1; N_2$ – първична и вторична намотки

$R; C$ – резистор и кондензатор, които образуват интегрираща верига

ЕЛО – електронно-лъчев осцилоскоп

Показаната схема на опитната постановка има за цел да изобрази върху екрана на двуканален осцилоскоп динамичните хистерезисни криви $B = f(H)$ на изследвания магнитен материал. Образците от този материал са най-често с тороидална форма, което означава, че магнитният поток в тях е затворен. Върху тороида са навити две намотки със съответния брой навивки - N_1 и N_2 .

Чрез генератора на синусоидален сигнал Γ в изследвания материал се създава магнитно поле, чийто интензитет H е пропорционален на тока, протичащ през първичната намотка I съгласно закона за пълния ток на Ампер:

$$H(t) \cdot l_{cp} = N_1 \cdot I(t) \text{ или } H(t) = \frac{N_1}{l_{cp}} I(t),$$

където l_{cp} е дължината на средната магнитна силова линия.

Чрез амперметъра A се следи промяната на тока I , а оттам и промяната на интензитета H .

Като се има предвид, че на входа "X" на осцилоскопа трябва да се подаде напрежение, най-лесния начин за преобразуването на тока I в напрежение U_X е чрез резистора R_E . От закона на Ом се получава, че:

$$U_X(t) = R_E \cdot I(t) = R_E \frac{l_{cp}}{N_1} H(t).$$

По този начин подаденото на входа "X" на осцилоскопа напрежение е право пропорционално на интензитета на магнитното поле H чрез константата

$$k_1 = R_E \frac{l_{cp}}{N_1}.$$

За преобразуване на магнитната индукция в материала B в напрежение се използва следния подход. Във вторичната намотка на образеца се индуцира напрежение e_2 , което съгласно закона на Фарадей е пропорционално на скоростта на изменение на индукцията $\frac{dB}{dt}$:

$$e_2(t) = N_2 S \frac{dB(t)}{dt},$$

където S е напречното сечение на магнитопровода.

За да може да се получи напрежение пропорционално на магнитната индукция B , имайки предвид горният израз, трябва e_2 да се интегрира във времето t . За целта се използва интегрираща верига, съставена от резистора R и кондензатора C . Ако е спазено условието стойностите на съпротивлението R

и на капацитета C да са достатъчно големи, изходното напрежение U_Y на RC веригата е интеграл на входното e_2 :

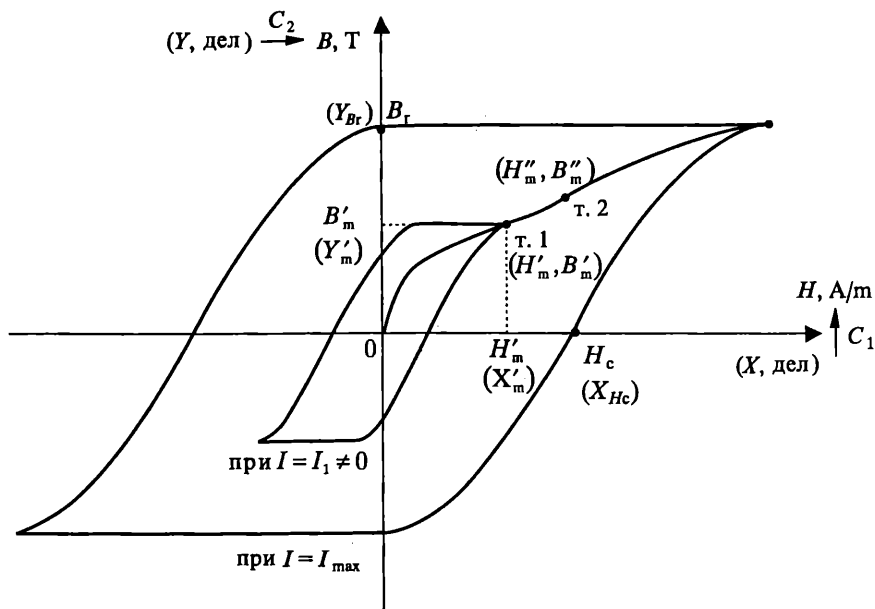
$$U_Y(t) = \frac{1}{RC} \int_0^t e_2(t) dt = \frac{N_2 S}{RC} \cdot B(t).$$

По този начин напрежението на вход "Y" на осцилоскопа е право пропорционално на магнитната индукция в изследвания материал B чрез константата $k_2 = \frac{N_2 S}{RC}$.

$$k_2 = \frac{N_2 S}{RC}.$$

V. Методически указания за снимане на хистерезисен цикъл с осцилоскоп

Кривата на първоначалното намагнитване $B_m = f(H_m)$ е разположена в I^{ви} квадрант на координатната система "H - B" и представлява геометрично място на точки, всяка една от които е връх на частен хистерезисен цикъл, снет при съответната стойност на задавания променлив ток I . Тъй като наблюденията на студента стават върху екрана на осцилоскопа, т. е. в координатната система "X - Y", явно е че снетите експериментално стойности в деления за H_m и B_m следва да се прехвърлят посредством коефициентите на подобие C_1 и C_2 от едната координатна система в другата. Или с други думи деленията следва да се прехвърлят в A/m за интензитета H и в T за магнитната индукция B (виж фиг. 4.5) според дадените по-долу формули.

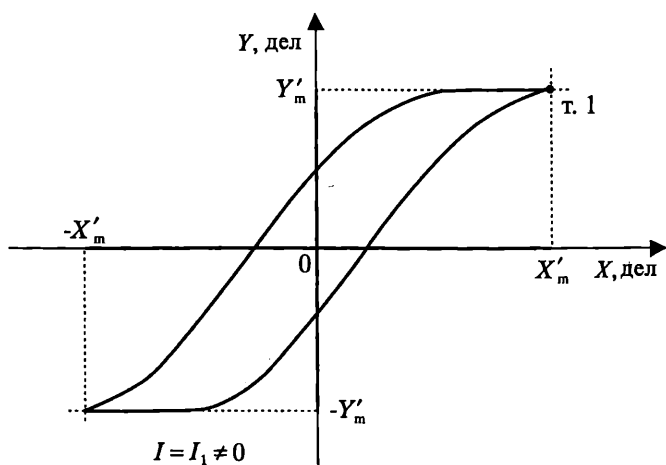


Фиг. 4.5

Класическият начин за снемане на основната крива на намагнитване $B_m=f(H_m)$ предполага прецизно симетриране (центриране) спрямо началото на координатната система (т. "0") на получения върху екрана на осцилоскопа частен хистерезисен цикъл и визуалното отчитане на координатите на върха му, разположен в I^{ви} квадрант, т. е. на X_m и Y_m , респ. H_m и B_m (другият връх, намиращ се в III^{ти} квадрант, е със симетрични координати: $-X_m$ и $-Y_m$). Така се получават и координатите на отделните точки, съставляващи кривата на първоначално намагнитване: т. 0 (0; 0); т. 1 ($H'_m; B'_m$); т. 2 ($H''_m; B''_m$) и т. н. (виж фиг. 4.5).

За по-удобно, по-точно и по-бързо отчитане на координатите на тези точки може да се процедира и по следния начин. Ако е необходима абсцисата на даден връх (примерно X'_m), след като е зададена необходимата стойност на тока $I = I_1 \neq 0$, се изключва сигнала към входа "Y" на осцилоскопа (достатъчно е да се прекъсне само "активния" проводник) и на екрана на уреда остава светлинна отсечка, равна на удвоената абсциса, т. е. на $2X'_m$. Аналогично се постъпва и при определянето на ординатата Y'_m . Този метод покрай останалите си предимства не изисква и симетриране на светлинната отсечка спрямо началото на координатната система, а само отчитане на нейната дължина (виж фиг. 4.6).

Коерцитивният интензитет на магнитното поле H_c и остатъчната магнитна индукция B_r се дефинират за граничен хистерезисен цикъл, т. е. при максимален ток $I = I_{max}$. Тук вече, задължително трябва получения на екрана хистерезисен цикъл да се симетрира спрямо началото на координатната система и да се отчетат съответните пресечни точки с двете оси X_{Hc} и Y_{Br} (виж фиг. 4.5). Симетрирането става посредством съответните регулатори на осцилоскопа, преместващи образа върху екрана му по осите "X" и "Y".



Фиг. 4.6

Използвани формули и означения

$$(1a) \quad H_m = C_1 X_m, \text{ където } C_1 = k_H k_X \text{ и } k_H = \frac{N_1}{R_E l_{cp}};$$

$$(1b) \quad B_m = C_2 Y_m, \text{ където } C_2 = k_B k_Y \text{ и } k_B = \frac{R \cdot C}{N_2 S};$$

$$(2) \quad H_c = C_1 \cdot X_{H_c} \quad B_r = C_2 \cdot Y_{B_r};$$

$$(3) \quad \mu_r = \frac{B_m}{\mu_0 H_m},$$

където H е интензитетът на магнитното поле, A/m;

B – магнитната индукция в изследвания материал, T;

X_m и Y_m – максималното отклонение на лъча съответно по абсцисата и по ординатата при дадена стойност на електрическия ток I , дел. ;

k_X и k_Y – константите, съответно на "X" – канала и на "Y" – канала на използвания осцилоскоп, V/дел;

k_H – константа на изследвания образец и на макета, $(\Omega \cdot m)^{-1}$;

k_B – константа на изследвания образец и на макета, T/V;

C_1 и C_2 – коефициентите на подобие, чрез които става преминаването от координатна система "X – Y", т. е. от геометричната равнина върху екрана на осцилоскопа, в координатната система "H – B";

N_1 и N_2 – навивките на първичната и вторичната намотки на изследвания образец;

l_{cp} – дължината на средната магнитна силова линия, m;

S – напречното сечение на магнитопровода, m^2 ;

R_E – еталонен резистор, Ω ;

R – интегриращ резистор, Ω ;

C – интегриращ кондензатор, F;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, H/m – магнитната константа.

5. РЕЗИСТОРИ И КОНДЕНЗАТОРИ

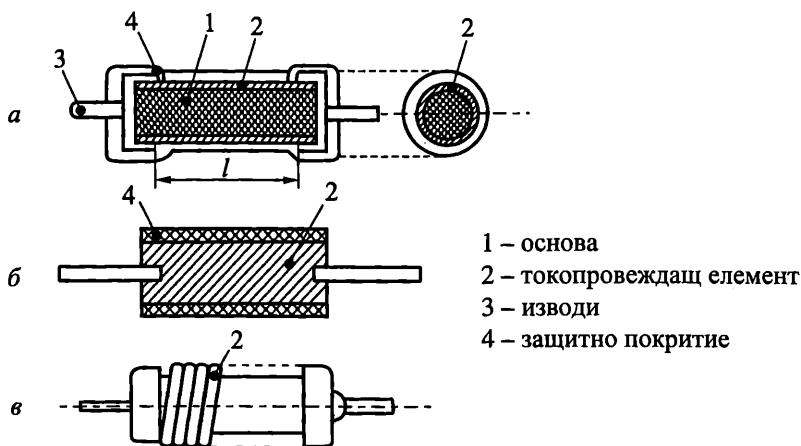
Кратки теоретични бележки

Резисторите са едни от най-употребяваните в електронните апаратури пасивни електронни елементи. Главното предназначение на резисторите е да намаляват енергията на сигнала и по този начин участват в разпределението и регулирането ѝ в многобройните вериги и елементи на схемата.

Резисторите могат да бъдат класифицирани по различни признаци.

В зависимост от конструктивното изпълнение на токопроводещия елемент 2 (фиг. 5.1) резисторите се разделят на:

- слойни (фиг. 5.1 а);
- обемни (фиг. 5.1 б);
- жични (фиг. 5.1 в).



Фиг. 5.1

За изработването на токопроводещия елемент на резистора се използват пиролитичен въглерод, метали, сплави, метални оксиди, полупроводникови и композиционни материали.

Друга класификация на резисторите е по обединен признак – конструкцията на токопроводещия елемент и използван материал. Според тази класификация се различават:

- ◆ въглеродослойни;
- ◆ металослойни;
- ◆ композиционни – слойни и обемни;
- ◆ полупроводникови – слойни и обемни;
- ◆ жични.

Основните параметри на резисторите са:

- номинално съпротивление и допустими отклонения (толеранс);

- номинална мощност;
- температурен коефициент на съпротивлението на резистора.

Съпротивлението на всеки резистор зависи от геометричните размери и свойствата на материала на токопроводещия елемент и се изчислява по известния израз:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

където ρ е специфичното електрическо съпротивление на материала на токопроводещия елемент, $\Omega \cdot m$;

l – дължината на токопроводещия елемент, m ;

S – площта на напречното му сечение, m^2 .

Проводниковите материали за слойни резистори са отложени като тънки слоеве и имат зърнеста структура, която зависи от технологията на производство и микрорелефа на изолационната основа, върху която са нанесени. При тях специфичното съпротивление ρ зависи освен от използвания материал и от дебелината на слоя d . Затова за изчисляването на съпротивлението на такива резистори вместо ρ се използва съпротивлението на повърхностен слой от проводниковия материал с форма на квадрат – повърхностно съпротивление R_{\square} , Ω/\square . Тогава съпротивлението на слойния резистор се изчислява по израза:

$$R = R_{\square} \frac{l}{b}, \Omega,$$

където l е дължината на слоя, m ;

b – широчината на слоя, m .

Резисторите се произвеждат с номинални стойности на съпротивлението и толеранси съгласно параметричните редове Е6 до Е192.

За маркиране на номиналните стойности на съпротивленията и толерансите им се използват буквено-цифров или цветен код. Съгласно БДС 7024-80 буквено-цифровият код се състои от цифри, показващи номиналното съпротивление и от две букви – първата от тях показва единицата за измерване на съпротивлението, а втората – толеранса. В табл. 5.1 и 5.2 е даден буквено-цифровия код.

Под номинална мощност на резистора се разбира най-голямата мощност, която резисторът може да разсейва продължително време при дадени експлоатационни условия със запазване на параметрите в допустимите граници. Разсейваната в резистора мощност се превръща в топлина, която се предава в околното пространство.

Температурният коефициент на съпротивлението α_R характеризира температурната стабилност на резистора и се определя по израза

$$\alpha_R = \frac{dR}{RdT}, \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Таблица 5.1

Буквено-цифров код

Единица за измерване	Означение на единицата	Пълно означение	Съкратено означение
Ом	R	0,15 Ω	R15
		1,5 Ω	1R5
		15 Ω	15R
Килоом	K	0,15 kΩ	K15
		1,5 kΩ	1K5
		15 kΩ	15K
Мегаом	M	0,15 MΩ	M15
		1,5 MΩ	1M5
		15 MΩ	15M

Таблица 5.2

Код на толерансите

Толеранс, %	±0,1	±0,25	±0,5	±1	±2	±5	±10	±20	±30
Код	B	C	D	F	G	J	K	M	N

Като се има предвид израза за съпротивлението на резистора се получава, че

$$\alpha_R = \alpha_p + \alpha_l - \alpha_s,$$

където α_p е температурният коефициент на специфичното съпротивление на резистивния материал, с който е изграден резистора;

α_l , α_s – температурни коефициент на линейно разширение на резистора.

Двата коефициента са приблизително равни – $\alpha_l \approx \alpha_s$ и тогава се получава, че $\alpha_R \approx \alpha_p$, т.е. съпротивлението на резистора се изменя под влияние на температурата, защото проводниковия материал, от който е изграден токопроводящия елемент на резистора се характеризира с определен температурен коефициент на специфичното съпротивление. В зависимост от избрания проводников материал температурният коефициент на резисторите може да бъде положителен или отрицателен и има стойности от $\pm 10 \cdot 10^{-6}$ до $\pm 2000 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

В таблица 5.3 са дадени стойностите на α_R на някои типове резистори.

Таблица 5.3

Тип на резистора	$\alpha_R \cdot 10^6, \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	
	Температурен интервал	
	-60 °C ÷ +20 °C	+20 °C ÷ +125 °C
РПМ (металослойни)	± 1200	± 700
Ж1 и Ж2 (жични)	(-200 ÷ +400)	
Слоен композиционен	± 20	

Термисторите са полупроводникови резистори, които изменят значително съпротивлението си от температурата. Те се разделят на термистори с отрицателен температурен коефициент на съпротивлението (NTC – Negative Temperature Coefficient) и с положителен температурен коефициент на съпротивлението (PTC – Positive Temperature Coefficient).

Термисторите (NTC) се характеризират с голям, отрицателен температурен коефициент. Тъй като зависимостта на съпротивлението на термистора от температурата е нелинейна, в каталозите е прието да се указва стойността на α_R , изчислена със съпротивленията, измерени при 292,5K и 293,5K. Тази стойност е 5+14 пъти по-голяма от стойностите на температурните коефициенти на обикновените резистори.

Зависимостта на съпротивлението от температурата термистора се описва с формулата

$$R_T = A \exp\left(\frac{B}{T}\right),$$

където R_T е съпротивлението при температура T ;

A – константа, определена от физическите свойства на материала;

B – коефициент на температурна чувствителност, изразяващ изменението на концентрацията на носителите на заряди от температурата.

Стойността на коефициента B се определя по израза

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2},$$

където R_1 и R_2 са стойностите на съпротивлението на термистора, измерени при температури T_1 и T_2 , K.

За различни материали B може да има стойности от 2000 до 5500 K.

Определянето на константата A е елементарно при известна стойност на B .

Температурният коефициент на термистора, се изчислява по израза

$$\alpha_R = \frac{dR}{RdT} = -\frac{B}{T^2}.$$

Забележка: В горните формули температурата T задължително се замества в K.

Кондензаторите, заедно с резисторите са основни градивни пасивни електронни елементи за електронните апаратури. Техните свойства да не пропускат постоянен и пропускат променлив ток, да натрупват електрически заряди и по този начин да съхраняват енергия, с индуктивни бобини да образуват трептящи кръгове определят и приложението им. Кондензаторите се използват за изграждане на трептящи кръгове за ниски и високи честоти, за честотни и фазови коректори, като блокиращи и разделителни елементи, за получаване на импулси с голяма мощност, като постоянни и променливи капацитивни делители на напрежение, в искрогасителни схеми и др.

Кондензаторите с постоянен капацитет могат да се класифицират по два основни признака:

- по вида на диелектрика;
- по конструктивни показатели.

Класификацията по вида на диелектрика е основна. Според нея, кондензаторите се разделят на следните видове:

1. Кондензатори с газообразен диелектрик: въздушни, газонапълнени, вакуумни.
2. Кондензатори с течен диелектрик.
3. Кондензатори с твърд органичен диелектрик: полимерни (полистиролни, полиетилентерефталатови, полиестерни, полипропиленови, поликарбонатни и др.).
4. Кондензатори с твърд неорганичен диелектрик – керамични.
5. Кондензатори с оксиден диелектрик (електролитни и оксидно-полупроводникови): алуминиеви, танталови, ниобиеви.

Основните параметри на постоянните кондензатори са:

- номинален капацитет и допустими отклонения (толеранс);
- номинално напрежение;
- температурен коефициент на капацитета на кондензатора;
- изолационно съпротивление;
- коефициент на загубите;

Кондензаторът представлява система от два електрода, разделени с диелектричен материал (фиг. 5.2). Капацитетът на такава система се изчислява по израз

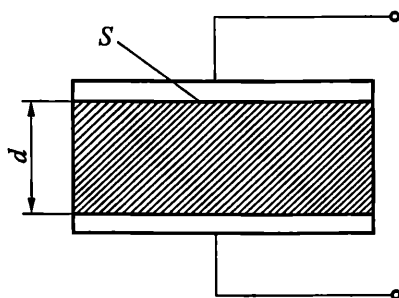
$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d},$$

където ϵ_r е относителната диелектрична проницаемост на диелектрика;

S е повърхнината на взаимно припокриване на двата електрода;

d е дебелината на диелектрика.

Кондензаторите се произвеждат с номинални стойности на капацитета и толеранси съгласно параметричните редове Е6 до Е192.



Фиг. 5.2

Номиналното напрежение е постоянното напрежение или ефективната стойност на променливото синусоидално напрежение с номинална честота, което може да бъде приложено непрекъснато към изводите на кондензатора, при която и да е температура от температурния обхват на съответната климатична категория.

Температурният коефициент на капацитета на кондензатора α_C е мярка за температурната му стабилност. α_C се изчислява по известния израз

$$\alpha_C = \frac{dC}{CdT}, \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Като се има предвид израза за капацитета на кондензатора, лесно може да се получи, че

$$\alpha_C = \alpha_\epsilon + \alpha_S - \alpha_d.$$

където α_ϵ е температурният коефициент на диелектричната проницаемост на диелектрика, с който е изграден кондензатора;

α_d и α_S – температурни коефициенти на линейно разширение на кондензатора.

Тъй като $\alpha_S \approx \alpha_d$, следва че $\alpha_C \approx \alpha_\epsilon$, т.е. температурният коефициент на кондензатора зависи от температурния коефициент на диелектричната проницаемост диелектрика, от който е изграден.

За кондензатори с линейна зависимост $C = f(T)$ в работния температурен интервал, температурният коефициент е постоянна величина и може да се изчисли по израза

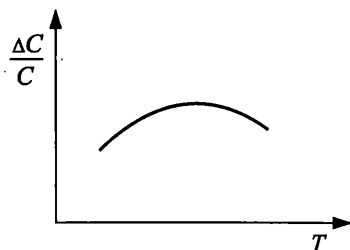
$$\alpha_C = \frac{C_2 - C_1}{C_1(T_2 - T_1)},$$

където C_1 е капацитетът на кондензатора при температура T_1 ;

C_2 – капацитетът на кондензатора при температура T_2 .

Очевидно температурният коефициент може да има положителни или отрицателни стойности, доколкото α_ϵ на използваните диелектрични материали може да бъде положителен или отрицателен. Произвеждат се и кондензатори с нулев температурен коефициент – $\alpha_C = 0 \pm 30 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

За кондензатори с нелинейна зависимост $C = f(T)$ в работния температурен интервал се посочва зависимостта на относителното изменение от температурата $\Delta C/C = f(T)$ (фиг. 5.3).



Фиг. 5.3

В таблица 5.4 са дадени стойностите на α_c на някои керамични кондензатори.

Таблица 5.4

Тип на кондензатора	Стойност на $\alpha_c \cdot 10^{+6}$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$
Керамични монолитни – Клас I	
КрМП-IV или ЧМ-IV	
NPO	(0 ± 30)
N150	(-150 ± 30)
N750	(-750 ± 120)
Керамични монолитни – Клас II	
КрМП-III ₁ или ЧМ-III ₁	(+2000 ÷ -2000)
КрМП-III ₂	(+13000 ÷ -7000)
Керамични дискови – Клас I – КрД-IV	
NPO	(± 30)
N150	(-150 ± 30)
N750	(-750 ± 120)
N450	(-450 ± 120)
N1200	(-1200 ± 250)
N1500	(-1500 ± 250)
Керамични дискови – Клас II	
КрД-IIВ	(+2500 ÷ -2500)
КрД-IIД ₁	(+5000 ÷ -5000)
КрД-IIФ ₂	(+22000 ÷ -22000)
Полиетилентерефталатни	(+600 ÷ +800)
Стирофлексни	(-60 ÷ -220)

Изоляционното съпротивление е електрическото съпротивление на изводите на кондензатора, измерено при определено постоянно напрежение след като процесите на поляризация в диелектрика са завършили, т.е. и изоляционното съпротивление на кондензатора се измерва при условията за изпитване на изоляционното съпротивление на диелектричните материали.

Коефициентът на загубите $\text{tg} \delta$ характеризира загубите на енергия в кондензатора. При определянето му трябва да се има предвид, че освен загуби от поляризация на диелектрика, има и загуби в металните електроди вследствие на изоляционното съпротивление на кондензатора.

Упражнение № 4

I. Тема: „Изследване на температурните коефициенти на параметрите на пасивни електронни елементи”.

II. Задание

1. Да се изследва зависимостта на съпротивлението от температурата на различни видове резистори в температурен интервал от стайна температура T_A до 70°C . Да се определят температурните коефициенти на съпротивлението на изследваните резистори и въз основа на тях да се изчислят стойностите на съпротивлението при 0°C и при 100°C . Да се представи графично зависимостта $\frac{\Delta R}{R} = f_1(T)$.

2. Да се изчислят коефициентът на температурна чувствителност B и константата A на термистор (NTC). Да се определят температурният коефициент на термистора при 20°C и стойностите на съпротивлението на термистора при 0°C и при 100°C .

3. Да се определят температурните коефициенти на капацитета на различни видове кондензатори в температурен интервал от стайна температура T_A до 70°C . Да се представи графично зависимостта $\frac{\Delta C}{C} = f_2(T)$.

III. Указания за изпълнение

Измерването на стойността на съпротивлението R на изследваните резистори се прави с прецизен цифров омметър, а на капацитета на кондензаторите – с цифров LCR измервателен уред. Указанията за работа с посочените уреди са дадени отделно.

Изчисленията на параметрите α_X и ΔX се прави по следните формули:

$$(\alpha_X)_{T_n} = \frac{X_{n+1} - X_n}{X_n} \cdot \frac{1}{T_{n+1} - T_n}; \left(\frac{\Delta X}{X} \right)_{T_n} = \frac{X_n - X_{20}}{X_{20}} \times 100, \%$$

Резултатите от измерванията и изчисленията се нанасят в таблица 5.5

Таблица 5.5

	Образец				
	№ 1			№ 2	...
Температура	X	$\Delta X/X$	$\alpha_X \cdot 10^{+6}$...	
$^\circ\text{C}$	$[X]$	%	$^\circ\text{C}^{-1}$...	
T_A					
...					
T_{\max}					
0					
100					

Теоретичното прогнозиране на стойностите на резисторите за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ се извършва чрез линейна екстраполация, а за термистора – като се заместят съответните температури (изразени задължително в К) във формула (4.4), чийто константи A и B се предполага, че вече са уточнени.

За линейната екстраполация е необходимо да се преобразува формулата за α_R :

$$(\alpha_R)_{T_n} = \frac{R_{n+1} - R_n}{R_n} \cdot \frac{1}{T_{n+1} - T_n}.$$

Горната формула се развива в явен вид за R_{n+1} :

$$R_{n+1} = R_n [1 + \alpha_{R_n} (T_{n+1} - T_n)] = R_n (1 + \alpha_{R_n} \Delta T).$$

За прогнозиране на $R_{0^{\circ}\text{C}}$ се използва измерената стойност на съпротивлението при най-близката до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура, т. е. стайна R_{T_A} , а за $R_{100^{\circ}\text{C}}$ – при най-високата достигната температура, т. е. $R_{70^{\circ}\text{C}}$:

$$R_{0^{\circ}\text{C}} = R_{T_A} (1 + \alpha_{R_{T_A}} \Delta T),$$

където $\Delta T = 0 - T_A$.

$$R_{100^{\circ}\text{C}} = R_{70} (1 + \alpha_{R_{70}} \Delta T),$$

където $\Delta T = 100 - 70 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Забележка: Величините α_R и ΔT са алгебрични, т. е. те участват в горните формули със своя знак ("+" или "-").

Към упражнение № 1

1. Избройте основните свойства на проводниковите материали.
2. Обяснете физически електропроводимостта в чистите метали.
3. Напишете израза за изчисляване на специфичното съпротивление ρ според закона на Ом.
4. Напишете израза, даващ връзката между специфичната проводимост σ и специфичното съпротивление ρ .
5. Как се променя специфичното съпротивление ρ на чистите метали при увеличаване на температурата и защо?
6. Каква е общата формула за изчисляване на температурния коефициент на специфичното съпротивление α_ρ ? Каква е дименсията на α_ρ ?
7. Каква е стойността на температурния коефициент на специфичното съпротивление α_ρ на проводници от чисти метали в работния температурен интервал?
8. Когато зависимостта $\rho = f(T)$ е линейна и α_ρ може да се изчисли по формулата $\alpha_\rho = \frac{\rho_T - \rho_A}{\rho_A(T - T_A)}$, изведете израза за ρ_T .
9. Какъв по знак може да е температурният коефициент на специфичното съпротивление на сплав от метали?
10. Какъв е механизма за предаване на топлина в чистите метали?
11. Опишете закона, по който се определя коефициентът на топлопроводност на металните проводници.
12. Избройте някои от основните приложения на медта в електрониката.
13. Какви са основните приложения на проводникови материали с малък температурен коефициент на специфичното им съпротивление α_ρ ?

Към упражнение № 2

1. Дайте дефиницията за процеса на поляризация в диелектричните материали.
2. Кои са основните видове поляризации?
3. Как температурата влияе върху основните видове поляризации?
4. Дайте дефиниция за диелектрични загуби.
5. Избройте видовете диелектрични загуби.
6. Какво представлява ъгълът на диелектричните загуби δ според векторната диаграма на напрежението и тока?
7. Могат ли диелектричните загуби, които се наблюдават в постоянно електрическо поле да се оценят с $\text{tg}\delta$?
8. От какво се определя температурната зависимост на $\text{tg}\delta$?
9. Как зависят загубите от електропроводимост от температурата?
10. В кои диелектрици и при какви условия могат да се наблюдават йонизационни загуби?

11. Какви основни параметри трябва да притежава материал, който ще се използва като високочестотен кондензаторен диелектрик?
12. Какви основни параметри трябва да притежава диелектрик, който ще се използва като изолационен материал?

Към упражнение № 3

1. Напишете изразът за магнитната индукция B , създадена от магнитно поле с интензитет H в материална среда.
2. Кои параметри и характеристики описват поведението на материалите в магнитно поле?
3. Обяснете доменната структура на магнитните материали.
4. Избройте основните феромагнитни материали.
5. Опишете двата процеса на намагнитване, които настъпват в магнитния материал при прилагане на външно магнитно поле.
6. Начертайте кривата на първоначалното намагнитване и означете върху нея основните ѝ области.
7. Какви процеси настъпват в магнитен материал при прилагане на външно магнитно поле с малък интензитет?
8. Какво представлява параметъра индукция на насищане B_s ?
9. Дайте израза за диференциалната магнитна проницаемост μ_{rd} .
10. Каква е разликата между параметрите диференциална магнитна проницаемост μ_{rd} и амплитудна магнитна проницаемост μ_{ra} ?
11. Начертайте в обща координатна система кривата на първоначалното намагнитване $B = f(H)$ и зависимостта на диференциалната магнитна проницаемост $\mu_{rd} = f(H)$.
12. Начертайте и обяснете получаването на хистерезисен цикъл в магнитните материали.
13. Кой хистерезисен цикъл се нарича граничен?
14. Начертайте и обяснете кривата на размагнитване.
15. Направете класификация на материалите съобразно магнитната им енергия.
16. Каква е стойността на индукцията на насищане B_s на магнитномеките материали спрямо тази на магнитнотвърдите?
17. В какъв честотен обхват може да се използват ферити с тесен хистерезисен цикъл?
18. Избройте някои основни приложения на магнитномеките ферити.

Към упражнение № 4

1. Какво е главното предназначение на резисторите?
2. Направете класификация на резисторите според конструктивното изпълнение на токопроводящия елемент.
3. Начертайте и обяснете конструкцията на слоен резистор.
4. Избройте материалите, от които се изработват токопроводящите елементи на резисторите.

5. Кой са основните параметри на постоянните резистори?
6. Дайте израза съгласно, който се изчислява съпротивлението на резистора.
7. Дайте израза, съгласно, който се изчислява съпротивлението на слоен резистор.
8. Напишете израза съгласно, който се изчислява температурният коефициент на съпротивлението на резистора α_R .
9. Може ли температурният коефициент на съпротивлението α_R на резистор да бъде отрицателен?
10. Как влияе температурата върху съпротивлението на термисторите?
11. Какво е главното предназначение на кондензаторите с постоянен капацитет?
12. Направете класификация на кондензаторите според вида на диелектрика.
13. Дайте израза съгласно, който се изчислява капацитета на кондензатор.
14. Възможно ли е температурният коефициент на капацитета на кондензатор α_C да има нулева стойност?
15. Кой параметър или характеристика определя температурната стабилност на кондензатори с нелинейна зависимост $C = f(T)$ в работния температурен интервал?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Представки и техните означения, използвани за означаване на някои десетични кратни и дробни

Множител	Представка	Означе- ние	Множи- тел	Представка	Означение
10^{24}	йота	Y	10^{-1}	деци	d
10^{21}	сета	Z	10^{-2}	санци	c
10^{18}	екса	E	10^{-3}	мили	m
10^{15}	пета	P	10^{-6}	микро	μ
10^{12}	тера	T	10^{-9}	нано	n
10^9	гига	G	10^{-12}	пико	p
10^6	мега	M	10^{-15}	фемто	f
10^3	кило	k	10^{-18}	ато	a
10^2	хекто	h	10^{-21}	септо	z
10^1	дека	da	10^{-24}	йокто	y

Наименования и означения на основните единици SI

Величина	Единица	
	специално наименование	означение
Дължина	метър	m
Маса	килограм	kg
Време	секунда	s
Електричен ток	ампер	A
Термодинамична температура	келвин	K
Количество вещество	мол	mol
Интензитет на светлината	кандела	cd

Наименования, означения и изразяване на допълнителните единици SI и на производните единици SI

Величина	Единица		Изразяване	
	специално наименование	означение	в други единици SI	като функция на основни или допълнителни единици SI
Равнинен ъгъл	радиан	rad	-	$1 \text{ m/m} = 1$
Пространствен ъгъл	стерадиан	sr	-	$1 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 1$
Честота	херц	Hz	-	s^{-1}
Сила	нютон	N	-	m.kg.s^{-2}
Налягане, механично напрежение	паскал	Pa	N.m^{-2}	$\text{m}^{-1}.\text{kg.s}^{-2}$
Енергия, работа, количество топлина	джаул	J	N.m	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-2}$
Мощност, поток енергия	ват	W	J.s^{-1}	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-3}$
Количество електричество, електричен заряд	кулон	C	-	s.A
Електричен потенциал, потенциална разлика, електродвижещо напрежение	волт	V	W.A^{-1}	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-3}.\text{A}^{-1}$
Електрично съпротивление	ом	Ω	V.A^{-1}	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-3}.\text{A}^{-2}$
Проводимост (електрична)	сименс	S	A.V^{-1}	$\text{m}^{-2}.\text{kg}^{-1}.\text{s}^3.\text{A}$
Капацитет (електричен)	фарад	F	C.V^{-1}	$\text{m}^{-2}.\text{kg}^{-1}.\text{s}^4.\text{A}^2$
Магнитен поток	вебер	Wb	V.s	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-2}.\text{A}^{-1}$
Магнитна индукция	тесла	T	Wb.m^{-2}	$\text{kg.s}^{-2}.\text{A}^{-1}$
Индуктивност	хенри	H	Wb.A^{-1}	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-2}.\text{A}^{-2}$
Светлинен поток	лумен	lm	-	cd.sr
Осветеност	люкс	lx	lm.m^{-2}	$\text{m}^{-2}.\text{cd.sr}$
Активност (на радионуклид)	бекерел	Bq	-	s^{-1}
Погълната доза, специфична енергия на предаване, керма, индекс на погълната доза	грей	Gy	J.kg^{-1}	$\text{m}^2.\text{s}^{-2}$
Еквивалентна доза	сиверт	Sv	J.kg^{-1}	$\text{m}^2.\text{s}^{-2}$

Наредба за единиците за измерване (2002 г.), ПМС №275 от 29.11.2002 г., обн. В ДВ, бр. 115 от 10.12.2002 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пранчов, Р. Материалознание в електрониката. Изд. Нови знания, София, 2005.
2. Хлеббаров, З. и Р. Даскалов. Ръководство за лабораторни упражнения по радиоелектронни материали. Печатна база на ВМЕИ, София, 1981.
3. Кънчев, П. и др. Физика. София, Печатна база на ВМЕИ, 1980.
4. Миндова, Н. Физични величини и измерителни единици. София, Техника, 1985.
5. Taylor, B.N. Guide for the use of the International System of Units (SI). NIST Special Publication 811, 1995.
6. Föll, H. Electronic materials – Hyperscript. Kiel, University of Kiel, 2003.

РЪКОВОДСТВО ЗА ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ ПО МАТЕРИАЛОЗНАНИЕ В ЕЛЕКТРОНИКАТА

Автори: Доц. д-р инж. Румен Борисов Пранчов
Гл. ас. д-р инж. Боянка Маринова Николова
Гл. ас. инж. Димитър Георгиев Рашков
Гл. ас. инж. Месроб Хампик Палабибян

Българска. I издание. 2005 г. Формат 70/100/16. Печатни коли 3.

ISBN 954-9315-40-1

Издаелство НОВИ ЗНАНИЯ

1125, София

бул. "Г. М. Димитров" 54

тел. 02/971 95 39, факс: 02/971 36 00

e-mail: btel_eng@netbg.com