

621.3

EL 196



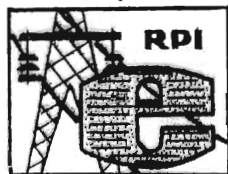
ELEKTROTEHNIKAS  
TEORĒTISKIE  
PAMATI

PIEMĒRI UN UZDEVUMI

II







RĪGAS POLITEHNISKAIS INSTITŪTS  
Teorētiskās elektrotehnikas katedra

NEĻINĀRĀS LĪDZSTRĀVAS  
ELEKTRISKĀS UN MAGNĒTISKĀS KĒDES

Sastādītāji: U.FREIMANIS un I.EIDRIŠS

Redaktors I.Dūmīšs

RIGA - 1970

S A T U R S

A. PIEMĒRI	5
I. Līdzstrāvas ķēdes ar nelineāriem elementiem	6
II. Magnētiskās ķēdes	25
B. UZDEVUMI	45
ATBILDES	55
PIELIKUMI	
1. Līdzstrāvas elektrisko un magnētisko ķēžu analogija	57
2. Magnētiskajās ķēdēs lietojamo lielumu un to mērvienību apzīmējumi	58
3. Nelineārajās elektriskajās un magnētiskajās ķēdēs lietojamie grafiskie apzīmējumi	59
4. Izmantoto magnētisko materiālu magnetizācijas līknes	60
LITERĀTŪRA	61

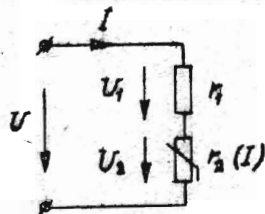
A. P I E M Ē R I

I. LĪDZSTRĀVAS KĀRĒS AR NELINEĀRIEM ELEMENTIEM

Literatūra.

4. 4.-1., 4.-2., 4.-4., 4.-6., 4.-7., 4.-8. §§  
1. 1.-6. §

A-1.1. Lineāra pretestība  $r_1 = 12 \Omega$  un nelineāra pretestība  $r_2(I)$ , kuras voltampēru rakstur-



1.1. zīm.

likne uzdota ar isteiksmi (pie pozitīvam  $U_2$  vērtībām)  
 $I = aU_2^2$ , kur  $a = 0,02 \frac{1}{\Omega \cdot V}$ ,  
slēgtas virknē. Kādes pieslēgu  
spriegums  $U = 4$  V.

Aprēķināt strāvu  $I$  un spriegumus uz katras pretestības  $U_1$  un  $U_2$ .

**A t r i s i n ā j u m s.**

Uzdevumus, kuros nelineāro elementu raksturliknes uzdotas ar analītisku isteiksmi, ja iespējams, risina analītiski.

1. Kādes pieslēgu spriegums pēc II Kirhofa likuma

$$U = U_1 + U_2.$$

Virknēs slēgumā caur visiem kādes elementiem plūst strāva  $I$ , tāpēc

$$U = U_1 + U_2 = I r_1 + U_2 = a r_1 U_2^2 + U_2$$

vai

$$a r_1 U_2^2 + U_2 - U = 0.$$

Ievietojot pēdējā isteiksmē skaitliskās vērtības, iegūstam

$$0,24 U_2^2 + U_2 - 4 = 0.$$

Atrisinot šo kvadrātvienādojumu, atrodam

$$U_2 = \frac{-1 + 2,2}{0,48} = 2,5 \text{ V}.$$

Otru - negatīvo kvadrātvienādojuma sakni atmetam, jo tā neatbilst uzdotajam raksturliknes posmam (kur  $U_2 > 0$ ).

2. Atrodam pārējās nezināmos lielumus:

$$I = a U_2^2 = 0,02 \cdot 2,5^2 = 0,125 \text{ A},$$

$$U_1 = I r_1 = 0,125 \cdot 12 = 1,5 \text{ V}.$$

A-1.2. Atrisināt uzdevumu A-1.1., ja nelineārās pretestības voltampēru raksturlikne uzdota tabulas veidā:

$U_2$ , V	0	1	2	3	4	5
$I$ , A	0	0,02	0,08	0,18	0,32	0,50

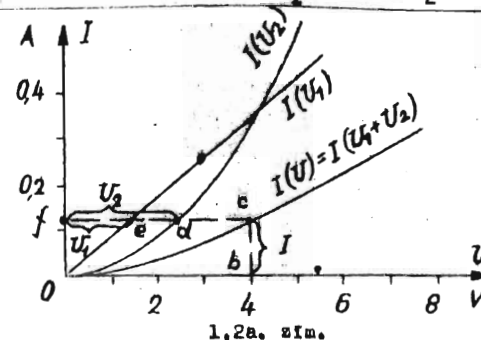
**A t r i s i n ā j u m s.**

Uzdevumus, kuros nelineāro elementu raksturliknes uzdotas tabulas vai liknes veidā, risina grafiski.

I. Lineārās pretestības  $r_1$  voltampēru raksturlikne ir taisne, kas iet caur koordinātu sākumu un punktu, kura koordinātes atrod pēc Oma likuma:

$$I = \frac{U_1}{r_1}; \text{ pieņemot } U_1 = 3 \text{ V, iegūstam } I = \frac{3}{12} = 0,25 \text{ A}.$$

Izvēlamies sprieguma un strāvas mērogius un uzšimšjam abu pretestību voltampēru raksturliknes  $I(U_1)$  un  $I(U_2)$ :



1.2a. zīm.

Grafiski summējot abu raksturliķņu abscisas, atrodam visas shēmas kopējo voltampēru raksturliķni  $I(U)$ , kur  $U=U_1+U_2$ .

Pieņemtajā sprieguma mērogā atliekam uz abscisu asis nogriezni  $Ob$ , kas vienāda ķēdes pieslēgu spriegumam  $U=4\text{ V}$ , un caur punktu  $b$  novelkam vertikālu taisni līdz krustpunktam  $c$  ar rezultējošo raksturliķni  $I(U)$ . Nogrieznis  $bc$  pieņemtajā strāvas mērogā skaitliski vienāds ar strāvu  $I$  ķēdē:

$$I = m_I \cdot bc = 0,125\text{ A}$$

Caurs punktu  $c$  novelkam horizontālu taisni  $cd$ , kas krusto līķnes  $I(U_1)$  un  $I(U_2)$  punktos  $e$  un  $d$ . Nogriežņi  $fe$  un  $fd$  pieņemtajā sprieguma mērogā skaitliski vienādi ar spriegumiem uz pretestībām  $r_1$  un  $r_2$ :

$$U_1 = m_U \cdot fe = 1,5\text{ V}$$

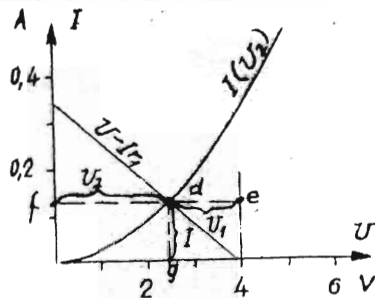
$$U_2 = m_U \cdot fd = 2,5\text{ V}$$

II. Divu elementu virķnes slēgumā pie noteiktas pieslēgu sprieguma  $U$  vērtības strāvu  $I$  ķēdē var atrast, neņemot rezultējošo raksturliķni.

Pēc II Kirhofa likuma no ķēdes shēmas (1,1. zīm.)

$$U_2 = U - U_1 = U - Ir_1$$

Ievietojot šajā izteiksmē dažādas strāvas vērtības, iegūstam līķnes  $U - Ir_1$  grafisko attēlu:



1,2b. zīm.

pie  $I = 0$   $U - Ir_1 = 4\text{ V}$ ,

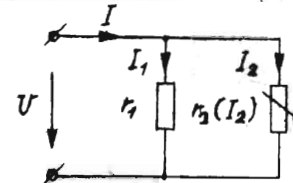
pie  $I = 0,3\text{ A}$   $U - Ir_1 = 4 - 0,3 \cdot 12 = 0,4\text{ V}$ .

Līķne  $U - Ir_1$  krustojas ar līķni  $I(U_2)$  punktā  $d$ , kura ordināte pieņemtajā strāvas mērogā skaitliski vienāda ar strāvu  $I$  ķēdē:

$$I = m_I \cdot gd = 1,25\text{ A}$$

Spriegumus  $U_1$  un  $U_2$  šajā gadījumā attēlo attiecīgi nogriežņi  $de$  un  $fd$ .

1.3. Lineāra pretestība  $r_1 = 25\ \Omega$  un nelineāra pretestība  $r_2(I_2)$ , kuras voltampēru raksturliķne uzdots ar analītisku izteiksmi (pie pozitīvām  $U$  vērtībām)



(kur  $I = I_2 = 0,02U^2$  (kur  $I$  - ampēros,  $U$  - volts),

slēgtas paralēli. Ķēdes nesakarotajā daļā plūst strāva  $I = 0,225\text{ A}$ .

Aprēķināt ķēdes pieslēgu spriegumu  $U$  un strāvas paralēlslājos saros  $I_1$  un  $I_2$ .

1,3. zīm.

A t r i s i n ā j u m s.

Pēc I Kirhofa likuma dotajai shēmai

$$I = I_1 + I_2$$

Paralēlā slēgumā uz visiem ķēdes elementiem ir spriegums  $U$ , tāpēc

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{r_1} + 0,02 U^2$$

Ievietojot skaitliskās vērtības, iegūstam

$$\frac{1}{25} U + 0,02 U^2 - 0,225 = 0$$

Atrisnot kvadrātvienādojumu, atrodam  $U = 2,5\text{ V}$ . Otru - negatīvo kvadrātvienādojuma sakni atmetam, tā neatbilst uzdotajam raksturliķnes posmam (kur  $U > 0$ ).

Zinot pieslēgu spriegumu, atrodam strāvas paralēlajos zarus:

$$I_1 = \frac{U}{r_1} = \frac{2,5}{25} = 0,1 \text{ A}$$

$$I_2 = \alpha U^2 = 0,02 \cdot 2,5^2 = 0,125 \text{ A}$$

A-1,4. Lineāra pretestība  $r_1 = 12 \Omega$  un nelineāra pretestība  $r_2(I_2)$ , kuras voltampēru raksturlikne uzdota tabulas veidā:

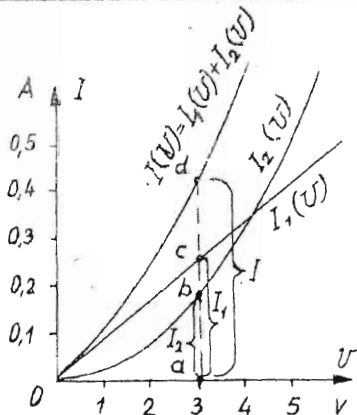
U, V	0	1	2	3	4	5
I, A	0	0,02	0,08	0,18	0,32	0,50

slēgtas paralēli (1-3. zīm.). Ķēdes pieslēgu spriegums  $U = 3 \text{ V}$ . Aprēķināt strāvas visos ķēdes zarus:  $I$ ,  $I_1$  un  $I_2$ .

A t r i s i n ā j u m s.

Uzzīmējam abu pretestību voltampēru raksturliknes (sk. uzdevumu A-1,2.). Grafiski summējot abu likņu ordinātes, atrodam visas shēmas kopējo raksturlikni

$$I(U) = I_1(U) + I_2(U)$$



1,4. zīm.

$$I_1 = m_1 \bar{ac} = 0,25 \text{ A}, \quad I_2 = m_1 \bar{ab} = 0,18 \text{ A},$$

$$I = m_1 \bar{ad} = 0,43 \text{ A}$$

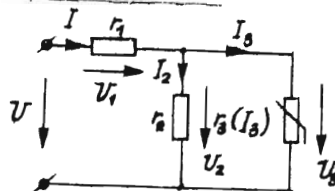
Pieņemtajā sprieguma mērogā atliekam uz abscisu ass nogriezni  $Oa$ , kas vienāds ar ķēdes pieslēgu spriegumu  $U = 3 \text{ V}$ , un caur punktu  $a$  novelkam vertikālu taisni līdz krustpunktam ar rezultējošo likni  $I(U)$ . Strāvas  $I_1$ ,  $I_2$   $I$  vienādas ar nogriežņu  $ac$ ,  $ab$  un  $ad$  garumu pieņemtajā strāvas mērogā:

Pārbaude. Pēc I Kirchofa likuma

$$I = I_1 + I_2 = 0,25 + 0,18 = 0,43 \text{ A}$$

Piezīme. Šo uzdevumu īsteicams atrisināt gadījumā, ja dota strāva ķēdes nesakarotajā daļā  $I = 0,43 \text{ A}$ , bet pieslēgu spriegums  $U$  nav zināms.

A-1,5. Divas lineāras pretestības  $r_1 = 20 \Omega$  un  $r_2 = 100 \Omega$  un nelineāra pretestība  $r_3(I_3)$ , kuras voltampēru raksturlikne dota tabulas veidā:

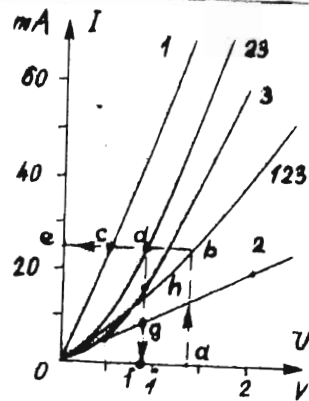


U <sub>3</sub> , V	0	0,5	1	1,5	2
I <sub>3</sub> , A	0	5	20	40	60

1,5a. zīm.

veido jauktu slēgumu. Ķēdes pieslēgu spriegums  $U = 1,4 \text{ V}$ .

Aprēķināt strāvas visos zarus  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ , spriegumus  $U_2$  un  $U_3$ , ķēdes ekvivalento ieejas pretestību  $r_{\text{ekv}}$  un nelineārā elementa pretestību  $r_3$  dotajā režīmā.



1,5b. zīm.

A t r i s i n ā j u m s.

1. Izvēlētajā mērogā uzzīmējam ķēdes elementu raksturliknes (1,5b. zīm.). Lineāro pretestību  $r_1$  un  $r_2$  raksturliknes ir taisnes, kas iet caur koordinātu sākumu un punktiem, kuru koordinātes aprēķina, pieņemot brīvi izvēlētus spriegumu vērtības, piemēram,  $U_1 = 1 \text{ V}$ ,  $U_2 = 2 \text{ V}$ .

Tad

$$I_1 = \frac{U_1}{r_1} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ A} = 50 \text{ mA},$$

$$I_2 = \frac{U_2}{r_2} = \frac{2}{100} = 0,02 \text{ A} = 20 \text{ mA}.$$

Nelineārās pretestības  $r_3(I_3)$  raksturliķni zīmējam pa punktiem, izmantojot doto tabulu.

2. Grafiski summējot likņu 2 un 3 ordinātes, atrodam paralēlā slēguma raksturliķni 23. Grafiski summējot likņu 1 un 23 abscisas, atrodam visas ķēdes rezultējošo raksturliķni 123.

3. Caur punktu a, kurā atbilst dotajam ķēdes pieslēgu spriegumam  $U=1,4 \text{ V}$ , velkam vertikālu līniju līdz krustpunktam b ar likni 123. Punkta b ordināte pieņemtajā strāvas mērogā nosaka strāvas I vērtību:

$$I = m_1 \cdot ab = 25 \text{ mA}.$$

Spriegumus  $U_1$  un  $U_2=U_3$  (sk. 1,5a. zīm.) nosaka nogriežņi ea un ed, kurus iegūstām, novelkot horizontālu taisni caur punktu b:

uz pretestības  $r_1$

$$U_1 = m_U \cdot e\bar{c} = 0,5 \text{ V},$$

uz paralēlā slēguma

$$U_2=U_3 = m_U \cdot e\bar{d} = 0,9 \text{ V}.$$

Strāvas  $I_2$  un  $I_3$  paralēlajos zarus nosaka punktu g un h ordinātes:

$$I_2 = m_I f\bar{g} = 9 \text{ mA},$$

$$I_3 = m_I f\bar{h} = 16 \text{ mA}.$$

Pārbaude:

$$U = U_1 + U_2 = I_1 r_1 + I_2 r_2 = 0,025 \cdot 20 + 0,009 \cdot 100 = 1,4 \text{ V}.$$

4. Ķēdes ekvivalentā pretestība pie atrastās strāvas I vērtības

$$r_{ekv} = \frac{U}{I_1} = \frac{1,4}{0,025} = 56 \Omega.$$

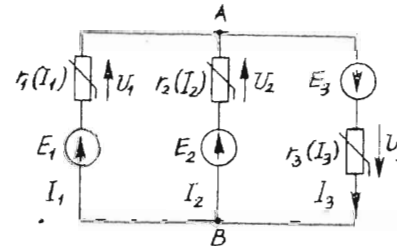
5. Nelineārā elementa ekvivalentā pretestība dotajā režīmā

$$r_3 = \frac{U_2}{I_3} = \frac{0,9}{0,016} = 56,25 \Omega.$$

Pārbaudām pretestības  $r_3$  aprēķina pareizību:

$$r_{ekv} = r + \frac{r_2 \cdot r_3}{r_2 + r_3} = 20 + \frac{100 \cdot 56,25}{156,25} = 56 \Omega.$$

A-1,6. Dots ķāde ar trim paralēliem aktīviem zariem, kuri satur vienādas nelineāras pretestības  $r_1(I_1)$ ,  $r_2(I_2)$ ,  $r_3(I_3)$  ar vōltampēru raksturliķņiem



$\pm U, \text{ V}$	0	20	50	100
$\pm I, \text{ mA}$	0	30	50	60

un EDS avotus

$$E_1=100 \text{ V}, E_2=10 \text{ V}, E_3=20 \text{ V}.$$

Aprēķināt strāvas visos ķēdes zarus, izmantojot divu mezglu metodi.

1,6a. zīm.

A tr i s i n ā j u m s.

Pieņemam strāvu pozitīvos virzienus (1,6a. zīm.). Pēc I Kirhoha likuma

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0.$$

Izstrādām četru strāvu kā funkciju no viena argumenta - sprieguma starp mezglu punktiem A un B. Sprieguma  $U_{AB}$  izteiksmes iegū-



tam, apejot katru shēmas zaru:

1. zaram  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = E_1 - U_1(I_1) = U_{AB}(I_1)$ ,
2. zaram  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = E_2 - U_2(I_2) = U_{AB}(I_2)$ ,
3. zaram  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = U_3(I_3) - E_3 = U_{AB}(I_3)$ .

Izmantojot iegūtās izteiksmes, aprēķinām līknes

$$I_1(U_{AB}), I_2(U_{AB}), I_3(U_{AB}).$$

Pirmajam zaram: pieņemam  $I_1=0$  un no pretestības  $r_1(I_1)$  volt-ampēru raksturlieknes (tabulas) atrodam tai atbilstošo sprieguma vērtību  $U_1=0$ . Šai strāvas vērtībai atbilstošā sprieguma  $U_{AB}$  vērtība

$$U_{AB1} = E_1 - U_1 = 100 - 0 = 100 \text{ V.}$$

Analogi atrodam  $U_{AB}$  pārējos zaros:

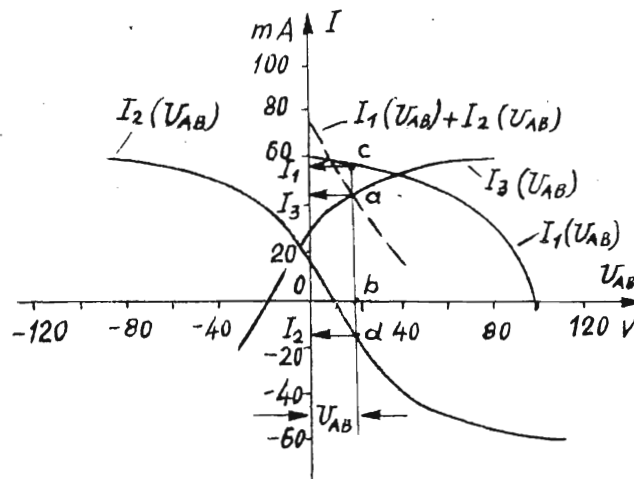
$$U_{AB2} = E_2 - U_2 = 10 - 0 = 10 \text{ V,}$$

$$U_{AB3} = U_3 - E_3 = 0 - 20 = -20 \text{ V.}$$

Šādu aprēķinu veicam dažādām strāvas vērtībām katrā zarā. Aprēķinu ērti izdarīt tabulas veidā:

$I_1=I_2=I_3$ mA	$U_1=U_2=U_3$ V	$U_{AB1}=100-U_1$ V	$U_{AB2}=10-U_2$ V	$U_{AB3}=U_3-20$ V
60	100	0	-90	80
50	50	50	-40	30
30	20	80	-10	0
0	0	100	10	-20
-30	-20	120	30	-40
-50	-50	150	60	-70
-60	-100	200	110	-120

Pieņemam strāvas un sprieguma mērogus un pēc aprēķina rezultātiem uzzīmējam visu zaru raksturlieknes (1,6b. zīm.).



1,6b. zīm.

Lai atrastu sprieguma  $U_{AB}$  vērtību, pie kuras ir spēkā I. Kirchofa likums

$$I_3 = I_1 + I_2,$$

jāatrod līknes  $I_3(U_{AB})$  krustpunkts ar palīglīkni

$$I_1(U_{AB}) + I_2(U_{AB}),$$

kuru iegūstam, grafiski summējot līkņu  $I_1(U_{AB})$  un  $I_2(U_{AB})$  ordinātes.

Vertikālā līnija, kas vilkta caur šo krustpunktu a, dod iespēju atrast spriegumu starp punktiem A un B:

$$U_{AB} = m_V \overline{ob} = 17 \text{ V}$$

un strāvas visos zaros:

$$I_1 = m_1 \bar{bc} = 58 \text{ mA}$$

$$I_2 = m_1 \bar{ba} = -15 \text{ mA}$$

$$I_3 = m_1 \bar{ba} = 43 \text{ mA}$$

Negatīvā strāvas  $I_2$  vērtība norāda, ka faktiskais strāvas virziens otrajā zarā ir pretējs sākumā pieņemtajam.

**Piezīmes.** 1. Palīgliknes  $I_1(U_{AB}) + I_2(U_{AB})$  vietā dažreiz ir ērtāk (no konstrukcijas viedokļa) izmantot palīgliknes

$$I_3(U_{AB}) - I_1(U_{AB}); I_2(U_{AB}) - I_1(U_{AB})$$

vai

$$I_1(U_{AB}) + I_2(U_{AB}) - I_3(U_{AB}),$$

kuras iegūst no I Kirhofa likuma apskatāmajai ķēdei. Spriegumu  $U_{AB}$  šajos gadījumos raksturo attiecīgi punktu c, d vai b abscisas.

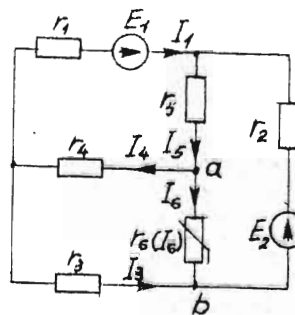
2. Ja nelineāro elementu voltampēru raksturliknes uzdotas grafiski, zaru raksturliknes var atrast arī bez analītiska aprēķina, pārbidot nelineāro elementu raksturliknes.

Kā redzams no 1,6b. zīm., piemēram, likne  $I_3(U_{AB})$  ir pretestības  $r_3$  voltampēru raksturlikne, pārbidīta par lielumu  $E_3$  negatīvajā virzienā (jo  $U_{AB} = U_3(I_3) - E_3$ ).

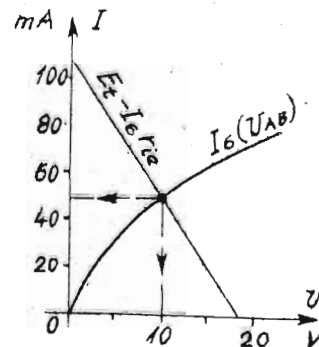
Tā kā  $U_{AB}(I_1) = E_1 - U_1(I_1)$ , tad to var iegūt, pārbidīdot likni  $-U_1(I_1)$  par vērtību  $E_1$  utt.

**A-1,7.** Dota sazarota ķēde ar vienu nelineāru pretestību  $r_6(I_6)$ , kuras raksturlikne dota zīmējumā, diviem EDS avotiem  $E_1 = 12 \text{ V}$ ,  $E_2 = 23 \text{ V}$  un piecām lineārām pretestībām:

$$r_1 = 250 \Omega, r_2 = 150 \Omega, r_3 = 700 \Omega, r_4 = 100 \Omega, r_5 = 50 \Omega.$$



1,7a. zīm.



1,7b. zīm.

Aprēķināt strāvas visos ķēdes zaros.

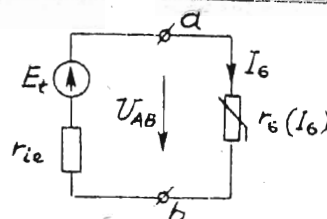
**A t r i s i n ā j u m s.**

Nelineāru elektrisku ķēdi, kura satur tikai vienu nelineāru elementu, var aprēķināt, izmantojot aktīvā divpola metodi.

Uzskatām visu ķēdes lineāro daļu par aktīvu lineāru divpolu attiecībā pret punktiem a un b. Tad aprēķinām ieejas pretestību  $r_{ie}$  un tukšgaitas spriegumu  $U_{abt}$ :

$$r_{ie} = 160 \Omega, U_{abt} = 18 \text{ V}.$$

Tādā gadījumā doto sazaroto ķēdi var aizstāt ar ekvivalentu shēmu (1,7c. zīm.).



1,7c. zīm.

Strāvas  $I_6$  aprēķinu izdarām grafiski. Pēc vienādojuma

$$U_{ab} = E_t - I_6 r_{ie} = 18 - 160 I_6$$

uzzīmējam taisni  $U_{ab}(I_6)$ , kurās krustpunkts ar nelineārās pretestības raksturlikni nosaka strāvas  $I_6$  un sprieguma  $U_{ab}$  vērtības:

$$I_6 = 50 \text{ mA} = 0,05 \text{ A}, U_{ab} = 10 \text{ V}.$$

Pārējās stāvās dotās ķēdes lineārajā daļā atrod analītiski. Izmantojot Kirchofa vienādojumus, sastādām sistēmu

$$\begin{cases} I_1 r_1 + I_5 r_5 + I_4 r_4 = E_1, \\ I_2 r_2 + I_5 r_5 + U_{ab} = E_2, \\ I_3 r_3 + I_4 r_4 = U_{ab}, \\ I_1 + I_2 + I_5 = 0, \\ I_4 - I_1 - I_3 = 0, \end{cases}$$

kur  $U_{ab} = 10 \text{ V}$  atrasts iepriekš.

Atrisinot šo sistēmu, iegūstam

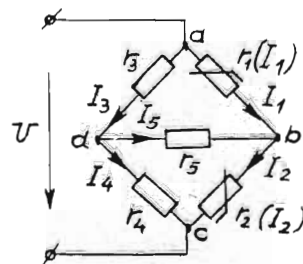
$$I_1 = 0,02 \text{ A}, I_2 = 0,06 \text{ A}, I_3 = 0,01 \text{ A},$$

$$I_4 = 0,03 \text{ A}, I_5 = 0,08 \text{ A}.$$

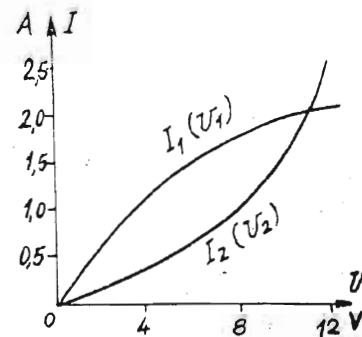
A-1,8. Dota sazarota ķēde (1,8a. zīm.), kura satur divas nelineāras pretestības  $r_1(I_1)$  un  $r_2(I_2)$  ar grafiski uzdotām voltampēru raksturliņām (1,8b. zīm.) un trīs lineāras pretestības

$$r_3 = 6 \Omega, r_4 = 12 \Omega, r_5 = 2 \Omega.$$

ķēdes pieslēgtā sprieguma  $U = 12 \text{ V}$ .



1,8a. zīm.

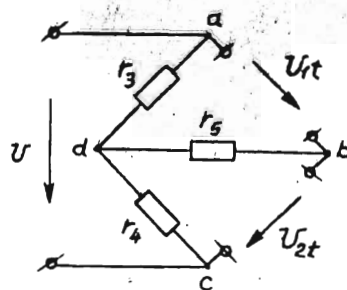


1,8b. zīm.

### A tr i s i n ā j u m s.

Lai aprēķinātu sazarotu ķēdi ar diviem nelineāriem elementiem, ķēdes lineāro daļu aizvieto ar aktīvu četrbolu, kura ieejai un izejai pieslēgtas nelineāras pretestības  $r_1$  un  $r_2$ .

1. Pārtraucot zarus ar nelineārajām pretestībām, dotās shēmas vietā iegūstam shēmu (1,8c. zīm.), kuras tukšgaitas spriegumi

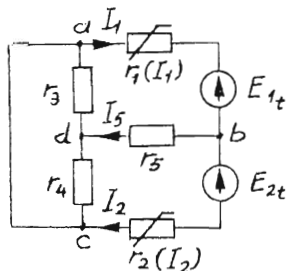


1,8c. zīm.

$$U_{1t} = \frac{U r_3}{r_3 + r_4} = \frac{12 \cdot 6}{6 + 12} = 4 \text{ V},$$

$$U_{2t} = \frac{U r_4}{r_3 + r_4} = \frac{12 \cdot 12}{6 + 12} = 8 \text{ V}.$$

2. Aizvietojot tukšgaitas spriegumus ar EDS avotiem, iegūstam aktīva četrpola ekvivalento shēmu, kurā iekšējais sprieguma avots (U) saslēgts isi (1,8d. zīm.).

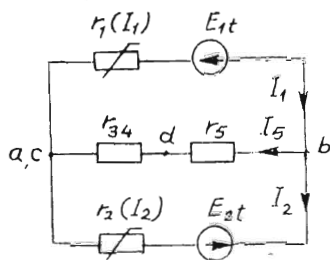


1,8d. zīm.

3. Iepriekšējā shēmā (1,8d. zīm.) pretestības  $r_3$  un  $r_4$  slēgtas paralēli. Aizvietojot tās ar ekvivalentu pretestību

$$r_{34} = \frac{r_3 r_4}{r_3 + r_4} = \frac{6 \cdot 12}{6 + 12} = 4 \Omega$$

iegūstam shēmu ar diviem mezgliem (1,8.e zīm.), kuros aprēķinu izdarām kā uzdevumā A-1,6.



$$I_1 = 1,15 A, I_2 = 1,05 A,$$

$$I_3 = 0,6 A, I_4 = 0,7 A,$$

$$I_5 = 0,2 A.$$

1,8e. zīm.

A-1.9. Nelineāra pretestība, kuras voltampēru raksturlikne uzdots tabulas veidā:

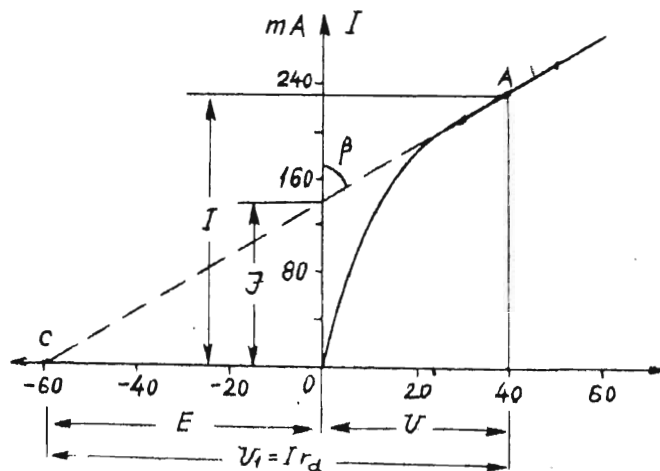
U, V	0	10	20	30	40	50	60
I, mA	0	120	175	210	235	255	280

strādā režīmā, pie kura spriegums uz tās var izmainīties robežās  $U = 30 \pm 50 V$ .

Aprēķināt lineāro pretestību un papildu enerģijas avotu, ar kuriem dotajā režīmā var ekvivalenti aizvietot nelineāro pretestību.

A t r i s i n ā j u m s.

Uzzīmējam dotās nelineārās pretestības raksturlikni un novel-



1,9a. zīm.

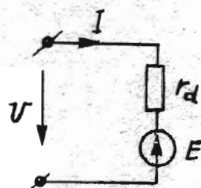
kam līknes pieskari punktā A ( $U=+40 V, I=235 mA$ ), 1,9a. zīm. Punkts A izvēlēts dotā sprieguma izmaiņas intervāla vidū. Nelineārā elementa diferenciālā pretestība punktā A

$$r_d = m_r \operatorname{tg} \beta = \frac{m_V}{m_I} \cdot \frac{CB}{AB} = 428 \Omega.$$

Pieskares vienādojums ir šāds:

$$U = E + Ir_d, \quad /1/$$

kuram atbilst shēma (1,9b. zīm.).

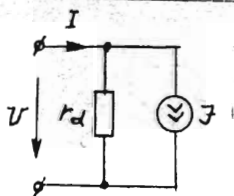


1,9b. zīm.

Uzrakstot pieskares vienādojumu formā

$$I = J + \frac{U}{r_d} = J + Ug_d, \quad /2/$$

kur  $g_d$  - nelineārā elementa diferenciālā vadāmība, varam uzziņēt otru nelineārās pretestības ekvivalento shēmu ar strāvas avotu (1,9c. zīm.).



1,9c. zīm.

No pieskares vienādojuma /1/, kā arī no 1,9a. zīm. izriet, ka

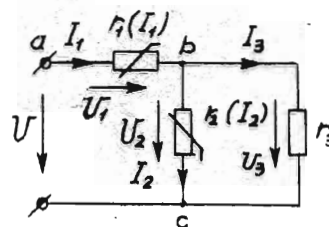
$$E = U - Ir_d = 40 - 0,235 \cdot 428 = -60 \text{ V}.$$

1,9b. zīm. EDS virziens (pretēji strāvai) izvēlēts atbilstoši vienādojumam /1/.

No pieskares vienādojuma /2/ un 1,9a. zīm. izriet, ka

$$J = I - \frac{U}{r_d} = 0,235 - \frac{40}{428} = 0,141 \text{ A} = 141 \text{ mA}.$$

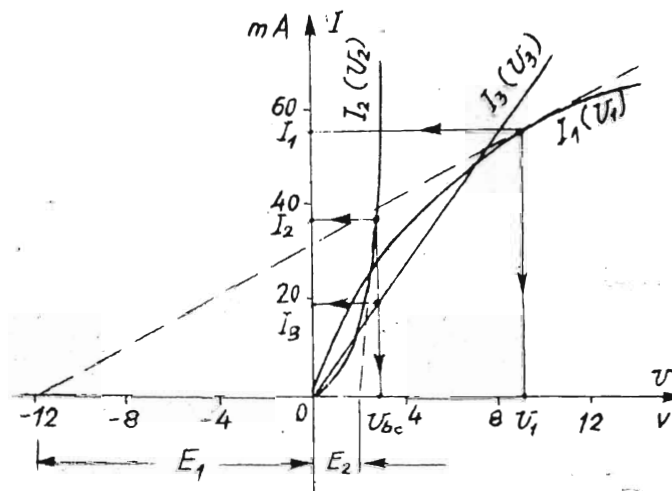
A-1,10. Dots jaukts slēgums (1,10a. zīm.) ar divām nelineārām pretestībām  $r_1(I_1)$ ,  $r_2(I_2)$  un vienu lineāru pretestību  $r_3 = 150 \Omega$ . Ķēdes pieslēgu spriegums  $U = 12 \text{ V}$ . Nelineāro pretestību voltampēru raksturliktnes uzdotas grafiku veidā (1,10b. zīm.). Zināms, ka sagaidāmajā režīmā raksturliktņu darba iecirkņi var tikt aizvietoti ar 1,10b. zīm. attēlotajām pieskares, no kurām



1,10a. zīm.

$$r_{1d} = 380, \quad E_1 = -12 \text{ V},$$

$$r_{2d} = 30, \quad E_2 = 1,8 \text{ V}.$$

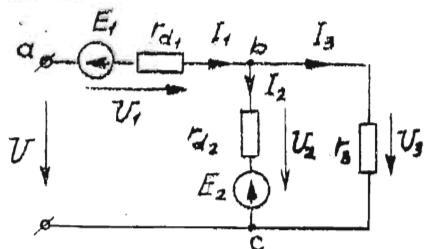


1,10b. zīm.

Aprēķināt strāvu un spriegumu sadalījumu šādā dotajā darba režīmā, izdarot nelineāro pretestību lineārizāciju.

A t r i s i n ā j u m s.

Pēc nelineāro pretestību ekvivalents aizvietošanas ar lineārām pretestībām un EDS avotiem, iegūstam shēmu (1,10c. zīm.).



Ekvivalentā shēma satur tikai lineārus elementus, tāpēc tās aprēķinu var izdarīt analitiski, izmantojot zināmās lineāro ķēžu aprēķina metodes.

1,10c. zīm.

Izmantojot Kirchofa vienādojumu metodi, iegūstam sistēmu

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ U = U_1 + U_{bc} = E_1 + I_1 r_{d1} + I_2 r_{d2} + E_2 \\ I_2 r_{d2} - I_3 r_{d3} = E_2, \end{cases}$$

no kurienes

$$I_1 = 0,0555 \text{ A} , \quad I_2 = 0,0362 \text{ A} , \quad I_3 = 0,0193 \text{ A} .$$

Spriegumi uz atsevišķiem ķēdes posmiem:

$$U_{bc} = I_3 r_3 = 2,9 \text{ V} ,$$

$$U_1 = U - U_{bc} = 12 - 2,9 = 9,1 \text{ V} .$$

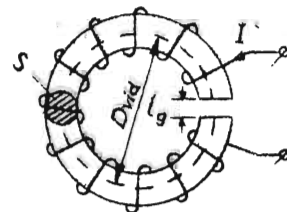
Pārbaude: aprēķinātās strāvas atrodas nelineāro pretestību linearizēto posmu robežās, tātad izdarītais aprēķins ir pareizs.

II. MAGNĒTISKĀS KĒDES

Literatūra.

2. 3.-2., 3.-3., 3.-4., 3.-5. §§
4. 5.-1., 5.-2., 5.-3., 5.-4., 5.-5. §§

A-2,1. Dots nesazarots magnētiskā ķēde, kuru veido dzelzs toroīds ar gaisa spraugu. Uz toroīda vienmērīgi uztīta spēle. Toroīda viduslīnijas diametrs  $D_{vid} = 22 \text{ cm}$ , šķērsgriezuma laukums  $S = 6 \text{ cm}^2$ , gaisa spraugas garums  $l_g = 0,5 \text{ mm}$ .



2,1a. zīm.

Aprēķināt toroīda magnētisko pretestību un strāvu spoļē, kāda nepieciešama  $6 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  lielas magnētiskās plūsmas radīšanai toroīdā, pieņemot, ka visa plūsma noslādzas pa laukumu  $S$  (t.i., neievērojot izkliedes plūsmu).

Toroīda materiāla (lieta dzelzs) magnetizācijas likne dota tabulas veidā:

B, T	0,30	0,45	0,71	0,90	1,1	1,2	1,3	1,4
H, A/m	100	200	400	600	1000	1300	1800	2400

A t r i s i n ā j u m s.

1. Ja neievēro izkliedes plūsmu, var uzskatīt, ka magnētiskā lauka indukcija pa visu magnētiskās ķēdes vidējo līniju (ieskaitot gaisa spraugu) ir vienāda. Tā kā magnētiskās ķēdes šķērsgriezuma laukums  $S$  salīdzinājumā ar vidējās magnētiskās līnijas garumu  $l_{vid}$  ir mazs, tad var uzskatīt, ka magnētiskā lauka indukcija ir vienāda pa visu magnētiskās ķēdes šķērsgriezuma laukumu. Strāvu aprēķina, izejot no pilnās strāvas likuma:

$$\sum I W = \sum H L .$$

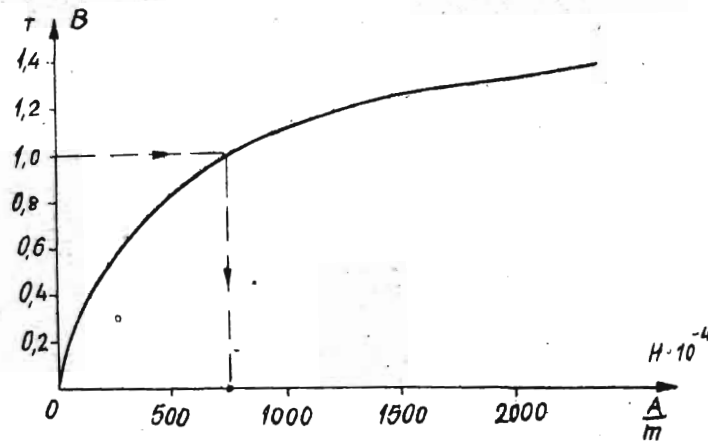
Magnētiskā lauka intensitāti feromagnētiskā materiālā atrod no tā magnetizēšanas liknes  $B=f(H)$ , bet gaisa spraugā pēc izteiksmes

$$H_g = \frac{B_g}{\mu_0} = \frac{B_g}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 0,8 \cdot 10^6 \frac{B_g}{m} = 0,8 \cdot 10^4 \frac{B_g}{cm},$$

kur  $B_g$  - magnētiskā lauka indukcija, izteikta teslās (T).  
Magnētiskā lauka indukciju serdē atrodam pēc formulas

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{0,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}}{6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 1 \text{ T},$$

bet magnētiskā lauka intensitāti serdē - no magnetizēšanas liknes, kuru zīmējam pēc dotās tabulas datiem.



2.lb. zīm.

No liknes  $H(B)$  pie  $B=1 \text{ T}$  iegūstam  $H=750 \frac{A}{m} = 7,5 \frac{A}{cm}$ .

Tā kā gaisa spraugas garums salīdzinājumā ar pārējiem magnētiskās ķēdes ģeometriskajiem izmēriem ir niecīgs, tad var neievērot magnētiskās plūsmas līniju izliekšanos ārpus laukuma S un pieņemt, ka magnētiskā lauka indukcija gaisa spraugā vie-

nāda ar indukciju serdē:

$$B_g = B = 1 \text{ T}.$$

Tad magnētiskā lauka intensitāti gaisa spraugā aprēķinām analitiski:

$$H_g = 0,8 \cdot 10^6 B_g = 0,8 \cdot 10^6 \cdot 1 = 800000 \frac{A}{m}$$

vai

$$H_g = 0,8 \cdot 10^4 \cdot 1 = 8000 \frac{A}{cm}.$$

Aprēķinām vidējo magnētiskās plūsmas līnijas garumu serdē:

$$l_{vid} = \pi D_{vid} - l_g = 3,14 \cdot 22 - 0,05 = 69,03 \text{ cm}.$$

Strāvu spoles vijumos atrodam no pilnās strāvas likuma:

$$IW = Hl_{vid} + H_g l_g,$$

$$I = \frac{Hl_{vid} + H_g l_g}{W} = \frac{75 \cdot 69,03 + 8000 \cdot 0,05}{200} = 4,58 \text{ A}.$$

2. Ķēdes magnētisko pretestību pie dotās indukcijas atrodam pēc formulas

$$R_m = R_{ms} + R_{mg} = \frac{l_{vid}}{\mu \mu_0 S} + \frac{l_g}{\mu_0 S} \frac{A}{Wb}.$$

Serdes relatīvo magnētisko caurlaidību  $\mu$  aprēķinām pēc formulas

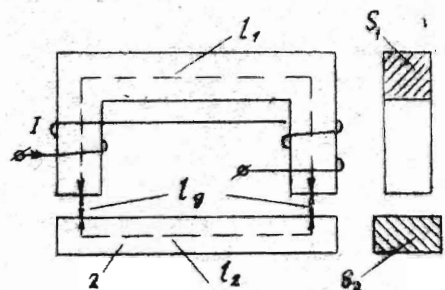
$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{1}{1,256 \cdot 10^{-4} \cdot 7,5} = 1065.$$

Visas ķēdes magnētiskā pretestība

$$R_m = \frac{69,03}{1,256 \cdot 10^{-4} \cdot 1065 \cdot 6} + \frac{0,05}{1,256 \cdot 10^{-4} \cdot 6} = 1,525 \cdot 10^6 \frac{A}{Wb}.$$

**Piezīme.** Uzdevumos, kuros jāatrod nepieciešamie ampērvijumi uzdotās magnētiskās plūsmas radiānai, dažkārt sauc par „tiesajiem” uzdevumiem. Šādu uzdevumu īpatnība ir tā, ka rezultātu parasti var iegūt analītiski no pilnās strāvas likuma.

**A-2.2.** Dots nesazarota magnētiskā ķēde ar divām gaisa spraugām. Uz serdes, kas izgatavota no elektrotehniskā tērauda  $\mathcal{J} 11$ , uztīti 250 vijumi, pa kuriem plūst 4,4 A stipra strāva. Posms "2" izgatavots no elektrotehniskā tērauda  $\mathcal{J} 42$ .



2,2a. zīm.

Magnētiskās ķēdes geometriskie izmēri ir šādi:

$$l_1 = 0,28 \text{ m},$$

$$l_2 = 0,16 \text{ m}, \quad l_{1g} = 0,0005 \text{ m},$$

$$S_1 = S_g = 0,0004 \text{ m}^2,$$

$$S_2 = 0,0005 \text{ m}^2.$$

Aprēķināt magnētiskā lauka indukciju ķēdes posmos ar šķērsgriezuma laukumiem  $S_1$  un  $S_2$ .

**A t r i s i n ā j u m s.**

Uzdevuma risināšanai izmantosim pakāpenisku tuvinājumu papēmienu:

- a) pieņem vairākas magnētiskās plūsmas vai indukcijas vērtības tuvas sagaidāmajai vērtībai un katrai no tām atrod ampērvijumus, kas radītu šādas plūsmas,
- b) tā magnētiskās plūsmas (vai indukcijas) vērtība, kuru atbilst dotajiem ampērvijumiem, ir uzdevuma atrisinājums.

1. Lai aptuveni noteiktu pieņemamo plūsmu vērtības, jāievēro, ka elektrotehniskajās ierīcēs B vērtības parasti atrodas robežās no 0,5 līdz 1,5 T. Uzskatot, ka dotajā ķēdē izkliedes plūsmas nav (visa plūsma noslēdzas pa magnētiskās ķēdes šķērsgriezuma laukumu), atrodam magnētiskās plūsmas izmaiņas robežas:

ja  $B = 0,5 \text{ T}$ , tad  $\Phi = BS_1 = 0,5 \cdot 0,0004 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ ;

ja  $B = 1,5 \text{ T}$ , tad  $\Phi = BS_1 = 1,5 \cdot 0,0004 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ .

Tātad dotajā uzdevumā plūsmas jāizvēlas robežās

$$\Phi = (2 \div 6) \cdot 10^{-4} \text{ Wb}.$$

Pieņemam  $\Phi = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  un aprēķinām šai plūsmas vērtībai atbilstošās indukcijas vērtības:

$$B'_1 = \frac{\Phi'}{S_1} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-4}} = 1,0 \text{ T},$$

$$B'_2 = \frac{\Phi'}{S_2} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}} = 0,8 \text{ T},$$

$$B'_g = \frac{\Phi'}{S_g} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-4}} = 0,8 \text{ T}.$$

Izmantojot elektrotehniskā tērauda  $\mathcal{J} 11$  un  $\mathcal{J} 42$  magnetizēšanas līknes (4. pielikums), atrodam intensitātes vērtības posmos "1" un "2":

$$H'_1 = f(B) = 200 \frac{\text{A}}{\text{m}}, \quad H'_2 = 120 \frac{\text{A}}{\text{m}}.$$

Intensitāte gaisa spraugās

$$H'_g = 0,8 \cdot 10^6 \cdot B'_g = 80 \cdot 10^4 \frac{\text{A}}{\text{m}}.$$

Pieņemtajai plūsmas  $\Phi'$  vērtībai atbilstošo ampērvijumu  $I'$  (jeb magnetodzinājspēku MDS) atrodam no pilnās strāvas likuma:

$$F' = I'W = H'_1 l_1 + H'_2 l_2 + 2 H'_g l_g =$$

$$= 200 \cdot 0,28 + 120 \cdot 0,16 + 2 \cdot 80 \cdot 10^4 \cdot 0,0005 = 875,2 \text{ A}.$$



Iegūtā ampērvijumu (MDS) vērtība ir mazāka par uzdevuma noteikumos doto:

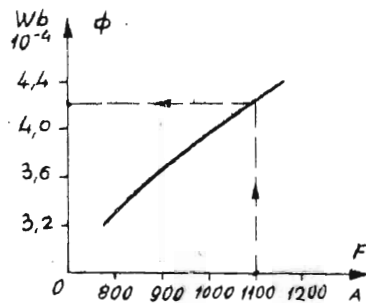
$$F = IW = 4,4 \cdot 250 = 1100 \text{ A}$$

Tādēļ jāpieņem lielāka plūsmas vērtība, piemēram,  $\Phi = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  un jāatkārto aprēķins.

Aprēķinu lietderīgi izdarīt tabulas veidā:

$\Phi$ Wb. $10^{-4}$	$B_1$ T	$H_1$ A/m	$B_2$ T	$H_2$ A/m	$B_g$ T	$H_g$ A/m	$F=IW$ A
4,0	1,0	200	0,80	120	1,0	$80 \cdot 10^4$	875,2
4,5	1,125	340	0,90	180	1,125	$90 \cdot 10^4$	1023,8
5,0	1,25	600	1,0	210	1,25	$100 \cdot 10^4$	1201,6

2. No tabulas redzams, ka meklējamā  $B_1$  vērtība atrodas starp 1,125 un 1,25 T. Tāpēc aprēķins būtu jāturpina pie plūsmas vērtībām  $\Phi = (4,5 + 5,0) \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ .



2,2b. zīm.

Vienkāršāk uzdevuma atbildi meklēt grafiski. Izmantojot tabulas datus, uzzīmējam līkni  $\Phi = f(F)$ , no kuras grafiski atrodam  $F=1100 \text{ A}$  atbilstošo  $\Phi$  vērtību:

$$\Phi = 4,75 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Magnētiskās indukcijas vērtības aprēķinām pēc šādām izteiksmēm:

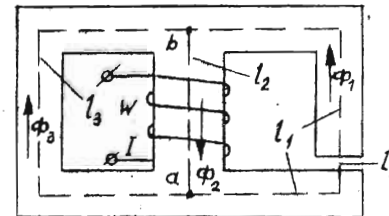
$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{4,75 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-4}} = 1,187 \text{ T}$$

$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{4,75 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}} = 0,95 \text{ T}$$

Parasti tehniskos aprēķinos magnētiskās indukcijas vērtības noapaļo līdz teslas simtdaļām:

$$B_1 = 1,19 \text{ T}, \quad B_2 = 0,95 \text{ T}$$

A-2,3. Dota sazarota magnētiska ķāde ar vienu MDS un gaisa spraugu. Serde izgatavota no elektrotehniskā tērauda 3 ll, uz vidējās serdes novietota spole ar 265 vijumiem. Aprēķināt strāvu  $I$ , pie kuras labās puses serdē (ar šķērsgrēzuma laukumu  $S_1$ ) magnētiskās plūsmas vērtība būtu



2,3a. zīm.

Aprēķināt strāvu  $I$ , pie kuras labās puses serdē (ar šķērsgrēzuma laukumu  $S_1$ ) magnētiskās plūsmas vērtība būtu

$$\Phi_1 = 16 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Izkliedes plūsmu aprēķinos neievērot. Magnētiskās ķādes atsevišķu posmu vidējo līniju garumi un šķērsgrēzuma laukumi ir šādi:

$$l_1 = 41,9 \text{ cm}, \quad l_2 = 16 \text{ cm}, \quad l_3 = 42 \text{ cm}, \quad l_g = 0,1 \text{ cm},$$

$$S_1 = S_3 = S_g = 20 \text{ cm}^2, \quad S_2 = 30 \text{ cm}^2$$

**A t r i s i n ā j u m s,**

Sazarotu magnētisko ķēžu aprēķinam izmanto ķēdes posmu magnētiskās raksturlielnes līdzīgi tam, kā nelineāru elektrisko ķēžu aprēķinam izmanto nelineāro elementu voltampēru raksturlielnes.

Aprēķinu pamatā ir jēdzieni un likumi, kuri iegūti, izmantojot formālu analogiju starp līdzstrāvas magnētiskajām un elektriskajām ķēdēm (sk. 4. pielikumu).

Sazarotas sarežģītas magnētiskās ķēdes aprēķina pamatā ir I Kirhofa likums magnētiskajām ķēdēm:

$$\sum \Phi = 0$$

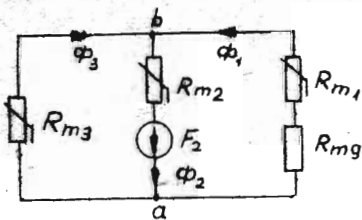
un pilnās strāvas likums (II Kirhofa likums magnētiskajām ķēdēm):

$$\sum I W = \sum \Phi R_M = \sum H l.$$

Aprēķinam ērti izmantot magnētiskās ķēdes ekvivalento shēmu, kuru iegūst, aizvietojojot ķēdes posmus ar nelineārām pretestībām, bet gaisa spraugas - ar lineārām pretestībām.

„Tiešo” uzdevumu risināšanai pielieto analītisku aprēķinu, izmantojot magnētisko materiālu magnetizēšanas raksturlielnes.

1. Brīvi izvēlamies magnētisko plūsmu pozitīvos virzienus ķēdes zaros (kā parādīts zīmējumā) un uzziņējam ekvivalento shēmu: Magnetodinājspēka (MDS)



2,3b. zīm.

$$F = I W$$

pozitīvo virzienu nosakām pēc labās skrūves likuma. Tas atkarīgs no spoļu tīšanas virziena un uzdotās strāvas I virziena spoļē.

2. Neievērojam magnētiskās plūsmas izkliedi, plūsmas posmā „1” un gaisa spraugā ir vienādas:

$$\Phi_g = \Phi_1$$

Tā kā posmā „1” un gaisa spraugas šķērsgriezumi  $S_1$  un  $S_g$  ir vienādi, arī magnētiskā lauka indukcijas ir vienādas:

$$B_g = B_1 = \frac{\Phi_1}{S_1} = \frac{16 \cdot 10^{-4}}{20 \cdot 10^{-4}} \frac{Wb}{m^2} = 0,8 T.$$

3. No elektrotehniskā tērauda 3 ll magnetizēšanas līknes (sk. 4. pielikumu) atrodam magnētiskā lauka intensitātes  $H_1$  vērtību:

$$\text{pie } B_1 = 0,8 T \quad H = f(B) = 150 \frac{A}{m}$$

Intensitāti gaisa spraugā aprēķinām analītiski:

$$H_g = 0,8 \cdot 10^6 B_g = 0,8 \cdot 10^6 \cdot 0,8 = 0,64 \cdot 10^6 \frac{A}{m}$$

4. Aprēķinām magnētisko spriegumu starp punktiem b un a posmā „1”:

$$U_{mab1} = H_1 l_1 + H_g l_g = 150 \cdot 0,419 + 0,64 \cdot 10^6 \cdot 0,001 = 703 A$$

Magnētiskā sprieguma  $U_{mab}$  vērtības visiem paralēlajiem zarjiem ir vienādas:

$$U_{mab1} = U_{mab2} = U_{mab3} = 703 A$$

5. No  $U_{mab}$  izteiksmes posmam „3” aprēķinām intensitāti  $H_3$ :

$$U_{mab3} = H_3 l_3,$$

$$H_3 = \frac{U_{mab3}}{l_3} = \frac{703}{0,42} = 1680 \frac{A}{m}$$

un no magnetizēšanas līknes atrodam indukciju posmā „3” :

$$\text{pie } H_3 = 1680 \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad B_3 = 1,52 \text{ T}.$$

Magnētiskā plūsma posmā „3” ir šāda:

$$\Phi_3 = B_3 S_3 = 1,52 \cdot 0,002 = 30,4 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}.$$

6. Zinot plūsmas  $\Phi_1$  un  $\Phi_3$ , plūsmu posmā „2” atrodam pēc I Kirhofa likuma:

$$\Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_3 = 16 \cdot 10^{-4} + 30,4 \cdot 10^{-4} = 46,4 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}.$$

Indukcija posmā „2” ir šāda:

$$B_2 = \frac{\Phi_2}{S_2} = \frac{46,4 \cdot 10^{-4}}{30 \cdot 10^{-4}} = 1,55 \text{ T},$$

un tās atbilstošā intensitātes vērtība (no magnetizēšanas līknes) ir šāda:

$$\text{pie } B_2 = 1,55 \text{ T} \quad H_2 = 2000 \frac{\text{A}}{\text{m}}.$$

7. Strāvas I aprēķinām izmantojam pilnās strāvas likumu kontūram, kurš ietver MDS saturošo posmu („2”):

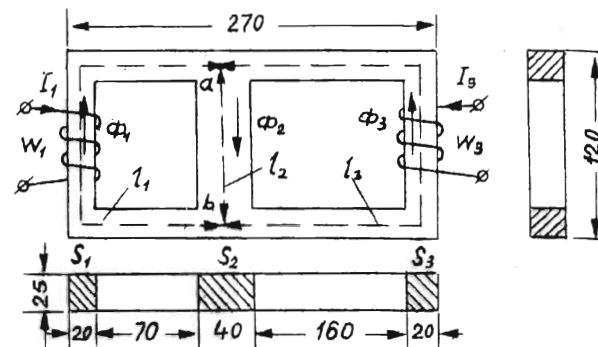
$$F_2 = IW = H_2 l_2 + H_3 l_3,$$

no kurienes

$$I = \frac{H_2 l_2 + H_3 l_3}{W} = \frac{2000 \cdot 0,16 + 1680 \cdot 0,42}{255} = 3,9 \text{ A}.$$

A-2.4. Magnetiskā ķēde izveidota no materiāla 342. Uz pirmās un trešās serdes uzstīti vijumi, kuri rada u.a.s.

$F_1 = I_1 w_1 = 440 \text{ A}$  un  $F_3 = I_3 w_3 = 280 \text{ A}$ . Ģeometriskie izmēri milimetros doti zīmējumā.



2,4a. zīm.

Aprēķināt magnētisko indukciju visos ķēdes posmos.

A t r i s i n ā j u m s.

„Apgrieztā” uzdevuma risināšanai sazarotās magnētiskās ķēdēs ar paralēliem zariem izmantojam t.s. divu mezglu metodi.

1. Aprēķinām atsevišķu dotās ķēdes posmu vidējo līniju garumus un šķērsgriezuma laukumus:

$$l_2 = 120 - 2 \frac{20}{2} = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm},$$

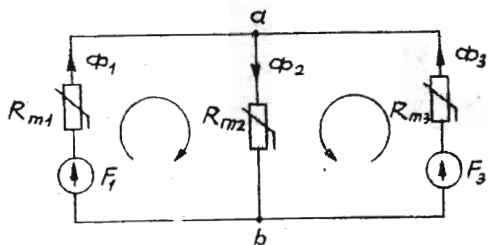
$$l_1 = l_2 + 2 \left( 70 + \frac{20}{2} + \frac{40}{2} \right) = 100 + 200 + 300 \text{ mm} = 30 \text{ cm},$$

$$l_3 = l_2 + 2 \left( 160 + \frac{20}{2} + \frac{40}{2} \right) = 100 + 300 = 400 \text{ mm} = 40 \text{ cm},$$

$$S_1 = S_3 = 20 \cdot 25 = 500 \text{ mm}^2 = 5 \text{ cm}^2,$$

$$S_2 = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ mm}^2 = 10 \text{ cm}^2.$$

Nosakām MDS  $F_1$  un  $F_2$  virzienus, pieņemam magnētisko plūsmu  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  un  $\Phi_3$  pozitīvos virzienus un uzzīmējam ekvivalento shēmu.



2,4b. zīm.

Aprēķinu izdarām grafoanalītiskā veidā, izmantojot magnētiskās ķēdes ekvivalento shēmu.

Saskaņā ar divu mezglu metodi magnētiskās plūsmas visos ķēdes posmos izsakām no viena argumenta - magnētiskā sprieguma starp mezglu punktiem a un b:

$$\Phi = f(U_{mab}).$$

Magnētiskais spriegums posmam „2” ir šāds:

$$U_{mab2} = \Phi_{ma} - \Phi_{mb} = H_2 l_2.$$

Magnētisko spriegumu izteiksmes posmiem „1” un „3” iegūstam, ievērojot, ka

$$H_2 l_2 = U_{mab};$$

$$F_1 = H_1 l_1 + U_{mab1} \rightarrow U_{mab1} = F_1 - H_1 l_1,$$

$$F_3 = H_3 l_3 + U_{mab3} \rightarrow U_{mab3} = F_3 - H_3 l_3.$$

Aprēķinu izdarām šādā secībā:

- 1) izvēlamies vairākas magnētiskās plūsmas vērtības;
- 2) atrodam atbilstošās indukcijas un intensitātes vērtības katrā ķēdes posmā;
- 3) aprēķinām atbilstošās  $U_{mab}$  vērtības.

Pieņemam

$$\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

un aprēķinām

$$B_1 = \frac{\Phi_1}{S_1} = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}} = 0,6 \text{ T},$$

$$B_2 = \frac{\Phi_2}{S_2} = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot 10^{-4}} = 0,3 \text{ T},$$

$$B_3 = \frac{\Phi_3}{S_3} = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}} = 0,6 \text{ T}.$$

No magnetizēšanas līknes (sk. 4. pielikumu) atrodam

$$H_1 = H_3 = 70 \frac{\text{A}}{\text{m}}, \quad H_2 = 40 \frac{\text{A}}{\text{m}}.$$

Aprēķinām

$$U_{mab1} = F_1 - H_1 l_1 = 440 - 70 \cdot 0,3 = 419 \text{ A},$$

$$U_{mab2} = H_2 l_2 = 40 \cdot 0,1 = 4 \text{ A},$$

$$U_{mab3} = F_3 - H_3 l_3 = 280 - 70 \cdot 0,4 = 252 \text{ A}.$$

Atkārtojam aprēķinu pie citām plūsmas vērtībām. Maksimālās plūsmas vērtības izvēlamies, izejot no atsevišķu posmu šķērsriezuma laukumiem, pieņemot, ka indukcija nepārsniedz 1,8 T:

$$\Phi_1 \text{ maks} = \Phi_3 \text{ maks} = B_{\text{maks}} \cdot S_1 = 1,8 \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ Wb},$$

$$\Phi_2 \text{ maks} = B_{\text{maks}} \cdot S_2 = 1,8 \cdot 10 \cdot 10^{-4} = 18 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}.$$

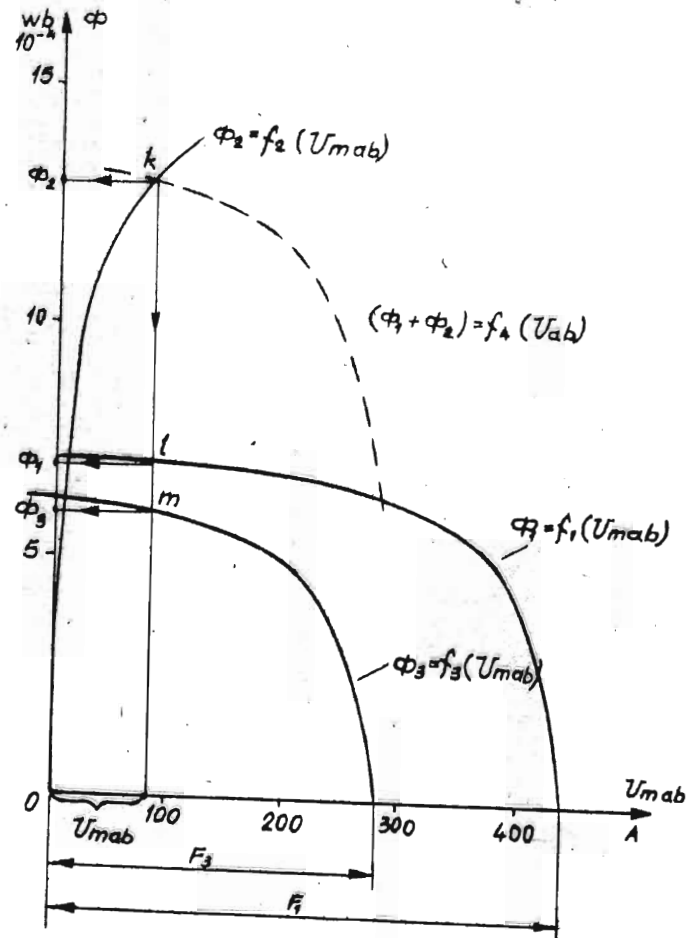
Atsevišķos gadījumos nepieciešams izvēlēties negatīvas plūsmas vērtības. Tā kā magnetizēšanas līknes ir simetriskas pret koordinātu sākuma punktu, tad šādos gadījumos arī indukcijas un intensitātes vērtības ir negatīvas.

Aprēķinu izdara tabulas veidā.

1. tabula

Nr. p/k	$\Phi = \Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3$ Wb · 10 <sup>-4</sup>	$B_1 = B_3 = \frac{\Phi_1}{S_1} = \frac{\Phi_3}{S_3}$ T	$H_1 = H_3 = f(B)$ A/m	$H_1 L_1$ A	$U_{\text{mab}_1} = F_1 - H_1 L_1$ A
1.	0	0	0	0	440
2.	3	0,6	70	21	419
3.	5	1,0	200	60	380
4.	7	1,4	1200	360	80
5.	10	-	-	-	-
6.	12	-	-	-	-
7.	14	-	-	-	-

$H_3 L_3$ A	$U_{\text{mab}_3} = F_3 - H_3 L_3$ A	$B_2 = \frac{\Phi_2}{S_2}$	$H_2 = f(B)$ A/m	$U_{\text{mab}_2} = H_2 L_2$ A
1.	0	0	0	0
2.	28	252	0,3	40
3.	80	200	0,5	6
4.	480	-200	0,9	15,5
5.	-	-	1,0	20
6.	-	-	1,2	50
7.	-	-	1,4	120



2,4c. sim.



$$B = -4\pi \cdot 10^{-9} \frac{2\pi \cdot r - l_g}{l_g} H_m = -4\pi \cdot 10^{-9} \frac{2\pi \cdot 5 - 1}{1} (-100) =$$

$$= 0,382 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Wb}}{\text{cm}^2} = 0,382 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 0,382 \text{ T}.$$

Novēlkt taisni caur punktiem  $H=0$ ,  $B=0$  un  $H=-100 \text{ A/cm}$ ,  $B=0,382 \text{ T}$ , iegūstam darba punktu a, kura koordinātes

$$B = 0,3 \text{ T}, H_m = -8 \text{ A/cm}$$

raksturo magnēta darba režīmu līdz feromagnētiskā materiāla ievietošanai.

2. Pēc feromagnētiskā ķermeņa ievietošanas gaisa spraugā tās garums izmainās:

$$l_g' = l_g - l_f = 1 - 0,5 = 0,5 \text{ cm}.$$

Šajā gadījumā darba punktu nosaka atgriešanās līknes un taisnes

$$B = -\mu_0 \frac{l_m}{l_g'} H_m \quad / 2 /$$

krustpunkts.

Atgriešanās līniju aa (2,5b. zīm.) iegūstam; novēlkt taisni caur punktu a zem leņķa

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta B}{m_B} \cdot \frac{m_H}{\Delta H} = \arctg K \frac{m_H}{m_B} = 20^\circ$$

pret horizontāli.

Pieņemot  $H_m = -80 \text{ A/cm}$ , no izteiksmes /2/ iegūstam

$$B = -4\pi \cdot 10^{-9} \cdot \frac{2\pi \cdot 5 - 0,5}{0,5} (-80) = 0,62 \text{ T}.$$

Darba punkta b koordināte

$$B' = 0,4 \text{ T}, H_m' = -52 \text{ A/cm}.$$

Magnētiskā lauka intensitāte gaisa spraugā

$$H_g' = 0,8 \cdot 10^6 B = 0,8 \cdot 10^6 \cdot 0,4 = 32 \cdot 10^4 \text{ A/m}.$$

Magnētiskā plūsma

$$\Phi_m' = \Phi_g' = B'S = 0,4 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}.$$

B. UZDEVUMI



B-1.1. Dots divu pretestību  $r_1=150 \Omega$  un  $r_2(I_2)$  virknes slēgums. Nelineārās pretestības voltampēru raksturliktne uzdots tabulas veidā:

$U_2, V$	0	20	40	60
$I_2, mA$	0	200	240	270

Ķādes pieslēgu spriegums  $U=60 V$ .

Aprēķināt strāvu ķēdē un spriegumu uz nelineārās pretestības.

B-1.2. Dots divu pretestību  $r_1(I_1)$  un  $r_2=600 k\Omega$  paralēls slēgums. Nelineārās pretestības voltampēru raksturliktne uzdots tabulas veidā:

$U_1, V$	0	100	200	300	400	500
$I_1, mA$	0	0,04	0,10	0,18	0,38	1,30

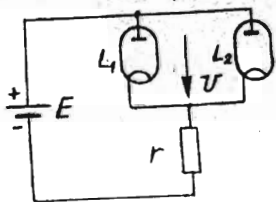
Ķādes pieslēgu spriegums  $U=380 V$ .

Aprēķināt strāvas visos ķēdes zaros.

B-1.3. Virknē ar pretestību  $r_1(I_1)$  un  $r_2$  paralēlo slēgumu (kā uzdevumā B-1,2.) papildus ieslēgta lineāra pretestība  $r=300 k\Omega$ . Ķādes pieslēgu spriegums  $U=380 V$ .

Aprēķināt strāvas visos ķēdes zaros.

B-1.4. Divas elektronu lampas, kuru voltampēru raksturliktnes ar pietiekamu precizitāti pie pozitīvam sprieguma  $U$  vērtībām apraksta vienādojumi



aparaksta vienādojumi

$$I_1 = 0,3U + 0,04U^2 \text{ mA}$$

$$I_2 = 0,2U + 0,06U^2 \text{ mA}$$

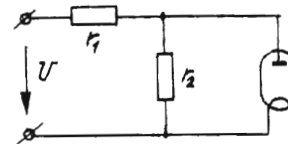
kur spriegums  $U$  voltos, ieslēgtas shēmā, kā parādīts zīmējumā.

Shēmas parametri:

$$r = 6 k\Omega, E = 320 V.$$

Aprēķināt strāvas visos zaros grafiski un analītiski.

B-1.5. Elektronu lampa, kuras voltampēru raksturliktne uzdots analītiski



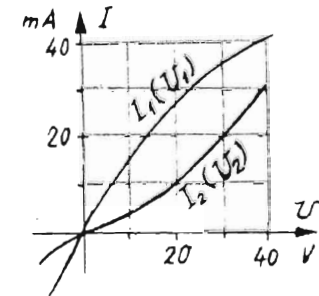
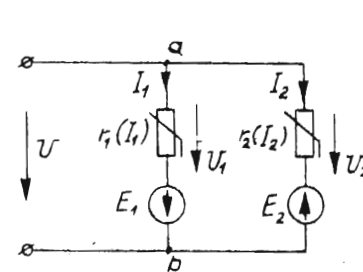
$$I = 0,3U + 0,04U^2 \text{ mA}$$

kur spriegums  $U$  voltos, ieslēgtas zīmējumā attēlotajā shēmā.

$$r_1 = 2 k\Omega, r_2 = 10 k\Omega, U=84V.$$

Aprēķināt strāvu lampā grafiski un analītiski.

B-1.6. Dots nelineāra aktīva ķēde, kurā  $E_1=15 V$ ,  $E_2=10 V$ . Nelineāro pretestību raksturliktnes uzdots grafiski. Ķēdes pieslēgumu spriegums  $U=25 V$ .

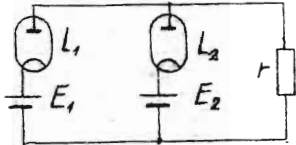


Uzzīmēt ķēdes voltampēru raksturliktni attiecībā pret punktiem a, b, noteikt strāvas visos zaros un spriegumus uz nelineārajām pretestībām.

B-1.7. Divas vienādas elektronu lampas, kuru voltampēru raksturliktnes ar pietiekamu precizitāti izsaka vienādojums

$$I = 0,4 U + 0,05 U^2 \text{ mA}$$

kur spriegums  $U$  voltos,

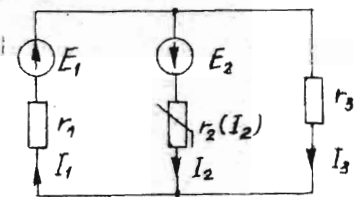


slēgtas paralēli ar lineāru pretestību  $r=500 \Omega$ .

$E_1 = 200 \text{ V}$ ,  $E_2 = 180 \text{ V}$ .

Aprēķināt strāvas abās lampās un pretestībā  $r$  grafiski un analītiski.

**B-1,8.** Nelineārās pretestības  $r_2(I_2)$  voltampēru raksturlikne uzdots tabulas veidā:



U, V	2	6	11	16	20	26
I, A	0,2	0,5	0,8	1	1,1	1,2

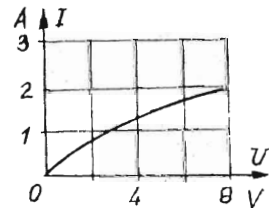
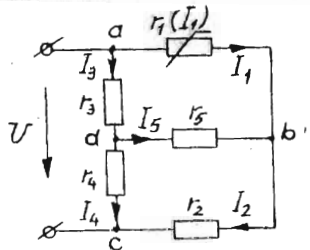
$r_1 = 4 \Omega$ ,  $r_3 = 6 \Omega$ ,  
 $E_1 = 24 \text{ V}$ ,  $E_2 = 4 \text{ V}$ .

Aprēķināt strāvas visos zaros un spriegumus uz visām pretestībām, izmantojot divu mezglu metodi.

**B-1,9.** Dots sazarota ķēde ar vienu nelineāru pretestību  $r_1(I_1)$  un četrām lineārām pretestībām:

$r_2 = 4 \Omega$ ,  $r_3 = 6 \Omega$ ,  $r_4 = 12 \Omega$ ,  $r_5 = 2 \Omega$ .

Nelineārās pretestības raksturlikne uzdots grafiski. Ķēdes pie-slēgu spriegums  $U=12 \text{ V}$ .

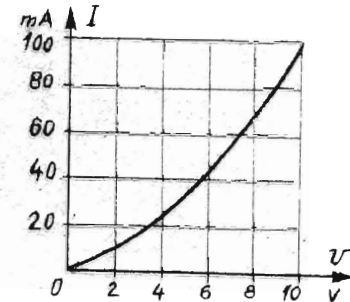
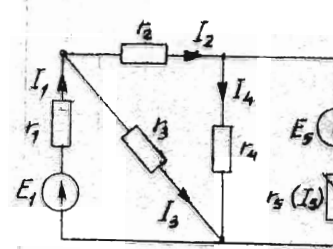


Aprēķināt strāvas visos ķēdes zaros, aizvietojojot ķēdes li-neāro daļu ar aktīvu divpolu.

**B-1,10.** Dots sazarota ķēde ar vienu nelineāru pretestību  $r_5(I_5)$ , kuras raksturlikne uzdots grafiski, četrām lineārām pretestībām:

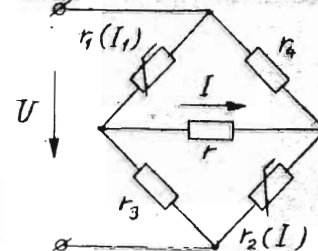
$r_1 = 50 \Omega$ ,  $r_2 = 100 \Omega$ ,  $r_3 = 500 \Omega$ ,  $r_4 = 40 \Omega$

un diviem EDS avotiem:  $E_1 = 14 \text{ V}$ ,  $E_2 = 10 \text{ V}$ .



Aprēķināt strāvas visos zaros.

**B-1,11.** Līdzstrāvas tilta divos plecos ieslēgtas lineāras pretestības  $r_3=r_4=1000 \Omega$ , bet divos pārējos plecos - vienādas nelineāras pretestības  $r_1(I)$  un  $r_2(I)$ , kuru voltampēru raksturliknes uzdots tabulas veidā:



U, V	0	20	40	60	80	100	110	120
I, mA	0	1,5	4	7,5	14	36	63	95

Tilta pieslēgu spriegums  $U=120$  V.

Aprēķināt strāvu  $I$  tilta diagonālē, ja tajā ieslēgta pretestība  $r=1000 \Omega$ .

**B-1.12.** Nelineāra pretestība, kuras voltampēru raksturlikne uzdots tabulas veidā:

U, V	0	100	200	300	400	500
I, mA	0	0,04	0,08	0,14	0,35	1,20

pieslēgta spriegumam, kurā mainās robežas no 400 līdz 500 V.

Aprēķināt ekvivalentas shēmas parametrus, aizvietojoš nelineāro pretestību ar lineāru pretestību un EDS avotu.

**B-1.13.** Dots nelineārā pretestība, kuras raksturlikne uzdots tabulas veidā:

U, V	0	10	20	30	40	50	60	70
I, mA	0	2	5	15	25	30	32,5	35

Izdarīt nelineārās pretestības voltampēru raksturliknes linearizāciju pie spriegumiem  $U_A=30$  V un  $U_B=60$  V, aizvietojoš nelineāro pretestību ar

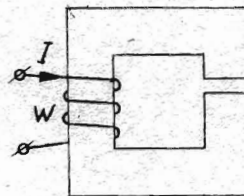
- 1) lineāru pretestību un EDS avotu,
- 2) lineāru pretestību un strāvas avotu.

Aprēķināt ekvivalento shēmu parametrus.

**B-2.1.** Atrisināt uzdevumu A-2,1. gadījumam; ja toroīdam nav gaisa spraugas.

**B-2.2.** Aprēķināt magnetodzinēj spēku  $MDS$ , kāds nepieciešams  $5,9 \cdot 10^{-4}$  Wb stipras magnētiskās plūsmas iegūšanai toroīdā, kas izgatavots no elektrotehniskā tērauda  $\varnothing 11$  ar šķērsgriezuma laukumu  $5 \text{ cm}^2$ . Magnētiskās indukcijas vidējās līnijas garums  $25 \text{ cm}$ .

**B-2.3.** Aprēķināt strāvu, kāda nepieciešama, lai elektromagnēta gaisa spraugā radītu magnētisko plūsmu ar indukciju  $B=0,8$  T.

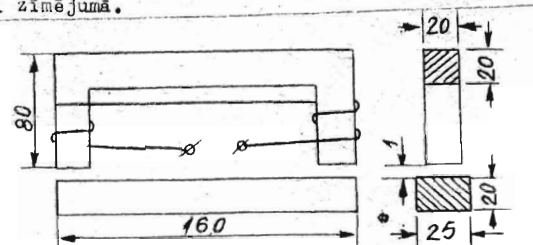


Spoles vijumu skaits  $w=525$ . Magnētiskās indukcijas vidējās līnijas garums  $100 \text{ cm}$ , gaisa spraugas garums  $1 \text{ mm}$ , serdes šķērsgriezuma laukums  $16 \text{ cm}^2$ . Magnētiskās plūsmas izkliedi aprēķinā neievērot.

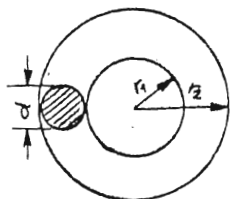
Serdes materiāla magnetizēšanas līkne uzdots tabulas veidā:

B, T	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
H, A/m	136	165	200	245	295	35	41	495	600

**B-2.4.** Elektromagnēta serde izgatavota no elektrotehniskā tērauda  $\varnothing 11$ , bet enkurs no  $\varnothing 42$ . Uz serdes uztiti 500 vijumi. Aprēķināt strāvu vijumos, ja indukcija gaisa spraugā vienāda ar  $0,84 \text{ T}$ . Magnētiskās ķēdes ģeometriskie izmēri milimetros doti zīmējumā.



**B-2.5.** Uz toroīda, kas izgatavots no dzelzs lējuma, vienmērīgi uztiņti 1000 vijumi, pa kuriem plūst 1A stipra strāva. Toroīda ģeometriskie izmēri attēloti zīmējumā:

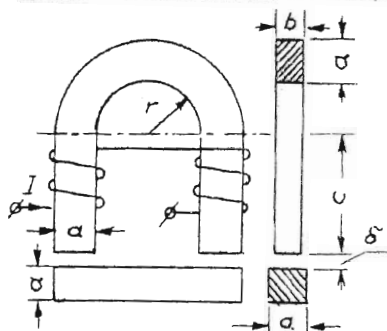


$$r_1 = 3,75 \text{ cm}, \quad r_2 = 8,75 \text{ cm}, \\ d = 5 \text{ cm}.$$

Aprēķināt magnētisko plūsmu un indukciju serdē.

**B-2.6.** Atrisināt uzdevumu B-2,5, ja serdē ir 2 mm plata gaisa sprauga, bet vijumu skaits  $w=1500$ .

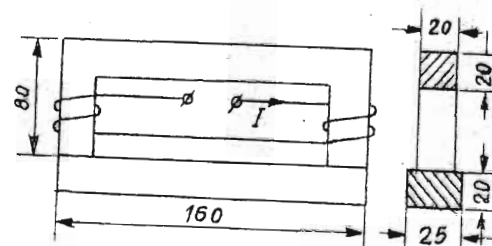
**B-2.7.** Aprēķināt magnētisko plūsmu elektromagnētā, kurš izgatavots no elektrotehniskā tērauda 311 skārda. Enkurs izgatavots no dzelzs lējuma. Elektromagnēta spole satur 250 vijumus, pa kuriem plūst strāva  $I=3 \text{ A}$ . Magnētiskās plūsmas izkliedi neievērot.



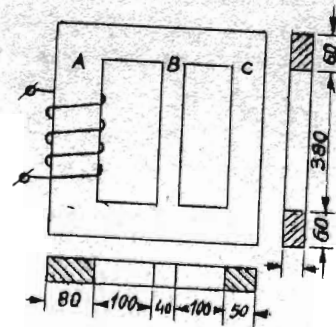
$$a = 2 \text{ cm}, \quad b = 1,6 \text{ cm}, \\ c = 4 \text{ cm}, \quad r = 1,5 \text{ cm}, \\ \delta = 0,5 \text{ mm}.$$

**B-2.8.** Uzdevuma B-2,3 apstākļos atrast magnētisko plūsmu, ja  $MDS \quad F = Iw = 1500 \text{ A}$ .

**B-2.9.** Aprēķināt magnētisko plūsmu un indukciju elektromagnēta serdē, kas izgatavota no elektrotehniskā tērauda 311, un enkura, kas izgatavots no 342. Elektromagnēta spole satur 150 vijumus, pa kuriem plūst 2 A stipra strāva.



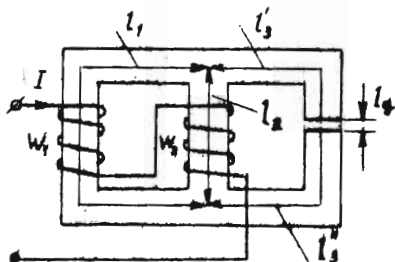
**B-2.10.** Magnētiskā ķēde izgatavota no elektrotehniskā tērauda 311 skārda. Uz kreisās serdes uztiņti 1000 vijumi, labajā serdē zināma magnētiskā plūsma  $\Phi = 19,2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ . Serdes izmēri milimetros attēloti zīmējumā. Aprēķināt strāvu spolē.



**B-2.11.** Atrisināt uzdevumu B-2,10, ja

- 1) posmā C ir 0,1 mm plata gaisa sprauga,
- 2) posmā A ir 0,1 mm plata gaisa sprauga,
- 3) posmos A un C ir 1 mm platas gaisa spraugas.

**B-2.12.** Bazarotās magnētiskās ķēdes serde izgatavota no elektrotehniskā tērauda 11. Spolēs plūst strāva  $I=10 \text{ A}$ . Pirmās spoles vijumu skaits  $w_1=50$ , otrās  $w_2=35$ .



$$l_1 = l'_3 + l''_3 = 30 \text{ cm,}$$

$$l_2 = 12 \text{ cm,}$$

$$l_g = 0,1 \text{ cm,}$$

$$S_1 = S_2 = S_3 = S_g = 15 \text{ cm}^2.$$

Aprēķināt magnētiskās plūsmas visos ķēdes posmos.

**2.13.** Starp pastāvīgi magnēta poliem pēc uzmagētizēšanas

līda piesātinājuma ievietots cilindrisks tērauda ķermenis. Magnētiskās ķēdes izmēri:

$$l_m = 24 \text{ cm, } a = 1 \text{ cm, } b = 3 \text{ cm,}$$

$$l_g = 0,6 \text{ cm, } S_g = 7,5 \text{ cm}^2.$$

Bez cilindriskā ķermeņa gaisa spraugas aprēķina garums

$l_g = 3,25 \text{ cm}$ . Magnētiskā materiāla atmagnetizēšanas līkne uzdots tabulas veidā:

B, T	0	2,8	5,4	7,0	9,0
H, A/cm	-190	-160	-120	-80	0

Atgriešanās koeficients  $K = 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ T/A/cm}$ .

Aprēķināt magnētisko indukciju, magnētiskā lauka intensitāti un magnētisko plūsmu gaisa spraugā pēc feromagnētiskā materiāla ievietošanas. Magnētiskās plūsmas izkliedi, cilindriskā ķermeņa un pola kurbju magnētiskās pretestības neievērot.

A T B I L D E S

- B-1,1.  $I = 220 \text{ mA, } U = 27 \text{ V.}$
- B-1,2.  $0,33 \text{ mA, } 0,63 \text{ mA, } 0,96 \text{ mA.}$
- B-1,3.  $0,12 \text{ mA, } 0,38 \text{ mA, } 0,5 \text{ mA.}$
- B-1,4.  $I_1 = 22 \text{ mA, } I_2 = 28 \text{ mA.}$
- B-1,5.  $28,1 \text{ mA.}$
- B-1,6.  $I_1 = 38 \text{ mA, } I_2 = 7 \text{ mA, } U_1 = 40 \text{ V, } U_2 = 15 \text{ V.}$
- B-1,7.  $194 \text{ mA, } 88,8 \text{ mA, } 282,8 \text{ mA.}$
- B-1,8.  $I_1 = 3 \text{ A, } I_2 = 1 \text{ A, } I_3 = 2 \text{ A, } U_1 = 12 \text{ V, } U_2 = 16 \text{ V, } U_3 = 12 \text{ V.}$
- B-1,9.  $I_1 = 1,5 \text{ A, } I_2 = 1,7 \text{ A, } I_3 = 0,8 \text{ A, } I_4 = 0,6 \text{ A, } I_5 = 0,2 \text{ A.}$
- B-1,10.  $I_1 = 0,008 \text{ A, } I_2 = 0,06 \text{ A, } I_3 = 0,05 \text{ A, } I_4 = 0,1 \text{ A, } I_5 = 0,04 \text{ A.}$
- B-1,11.  $I = 42 \text{ mA.}$
- B-1,12.  $r = 118 \text{ k}\Omega, E = 360 \text{ V.}$
- B-1,13.1)  $r_A = 1000 \Omega, E_A = 15 \text{ V, } J_A = 15 \text{ mA, } 2) r_B = 4315 \Omega, E_B = 80 \text{ V, } J_B = 18,7 \text{ mA.}$
- B-2,1.  $I = 2,59 \text{ A, } R_m = 0,86 \cdot 10^6 \text{ A/Wb.}$
- B-2,2.  $F = 200 \text{ A.}$
- B-2,3.  $I = 2 \text{ A.}$

- B-2,4.  $I = 3,66 \text{ A}$  .  
 B-2,5.  $B = 1,43 \text{ T}$  ,  $\Phi = 28 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  .  
 B-2,6.  $B = 0,82 \text{ T}$  ,  $\Phi = 16 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  .  
 B-2,7.  $\Phi = 2,62 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  .  
 B-2,8.  $\Phi = 17,40 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  .  
 B-2,9.  $\Phi = 5,65 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  ,  $B_1 = 1,42 \text{ T}$  ,  $B_2 = 1,13 \text{ T}$  .  
 B-2,10.  $I = 1,3 \text{ A}$  .  
 B-2,11. 1)  $1,68 \text{ A}$  , 2)  $1,38 \text{ A}$  , 3)  $1,78 \text{ A}$  .  
 B-2,12.  $\Phi_1 = 13,9 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  ,  $\Phi_2 = -7,2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  ,  
 $\Phi_3 = 6,7 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  .  
 B-2,13.  $B = 1,8 \text{ T}$  ,  $H_g = 14,4 \cdot 10^{-4} \text{ A/m}$  ,  $\Phi = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  .

1. pielikums

LĪDZSTRĀVAS ELEKTRISKO UN MAGNĒTISKO KĒZU  
 ANALOGIJA

Elektriskās ķēdes	Magnētiskās ķēdes
Elektrodzinājspēks (EDS) $E$ , $V$	Magnetodzinājspēks (MDS) $I_w = F$ , $A$
Elektriskā strāva $I$ , $A$	Magnētiskā plūsma $\Phi$ , $Wb$
Ipatnēja elektriskā pretestība $r$ , $1/\Omega m$	Absolūta magnētiskā caurlaidība $\mu_0$ , $H/m$
Elektriskā pretestība (vadām ar garumu $l$ un šķērsgriezuma laukumu $S$ ) $r = \frac{l}{\mu S}$ , $\Omega$	Magnētiskā pretestība (magnētiskās ķēdes posmam ar garumu $l$ un šķērsgriezuma laukumu $S$ ) $R_m = \frac{l}{\mu S}$ , $A/Wb$
Elektriskais potenciāls $\varphi$ , $V$	Magnētiskais skalārais potenciāls $\varphi_m$ , $A$
Oma likums elektriskās ķēdes noslēgtam kontūram (pie noteikuma, ka visā kontūrā tikai viena strāva) $I = \frac{\sum E}{\sum r}$	Oma likums magnētiskās ķēdes noslēgtam kontūram $\Phi = \frac{\sum I_w}{\sum R_m} = \frac{\sum F}{\sum R_m}$ $I_w = F$ virzienu nosaka pēc labās skrūves likuma
Oma likums elektriskās ķēdes posmam ab (elektriskais spriegums starp punktiem a un b) $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = I \sum r - \sum E$ , $V$	Oma likums magnētiskās ķēdes posmam ab (magnētiskais spriegums starp punktiem a un b) $U_{mag} = \varphi_{ma} - \varphi_{mb} = \sum Hl - \sum I_w = \sum Hl - \sum F$ , $A$
I Kirhofoa likums elektriskās ķēdes mezglam $\sum I = 0$	I Kirhofoa likums magnētiskās ķēdes mezglam $\sum \Phi = 0$
II Kirhofoa likums elektriskās ķēdes kontūram $\sum E = \sum I r$	II Kirhofoa likums magnētiskās ķēdes kontūram (pilnas strāvas likums) $\sum I_w = \sum \Phi R_m = \sum Hl$

2. pielikums

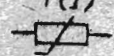
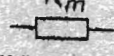


MAGNĒTISKAJĀS KĒDĒS LIETOJAMO LIELUMU  
UN TO MĒRVIENĪBU APZĪMĒJUMI

Baskapā ar valsts standartiem ГOCT 1494-61 un ГOCT 9867-61 magnētiskajās ķēdēs lietojami šādi lielumi un to mērvienību apzīmējumi.

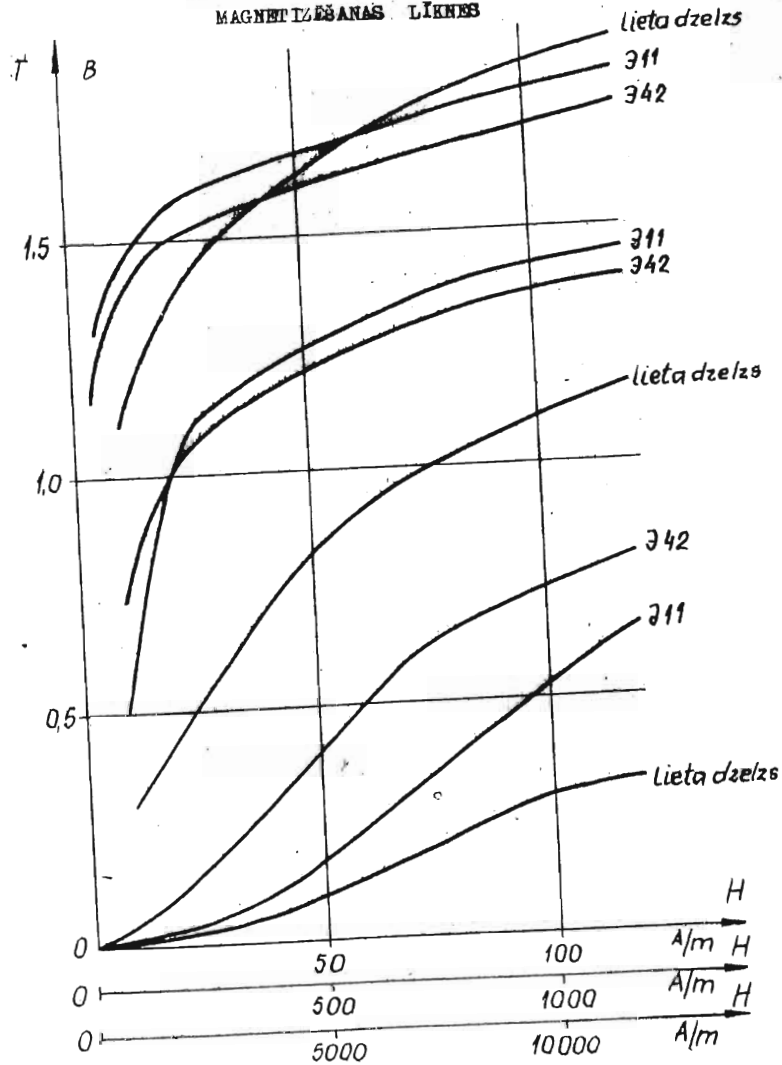
Lielums		Mērvienība	
Nosaukums	Apzīmējums	Krievu	Latīņu
Magnētiskā lauka intensitāte	H	A	A
Magnetodzinējspēks (MDS)	F	A	A
Magnētiskais spriegums	$U_m$	A	A
Magnētiskā indukcija	B	Tл	T
Magnētiskā plūsma	$\Phi$	ВВ	Wb
Absolūtā magnētiskā caurlaidība	$\mu_0$	ГН/м	H/m
Magnētiskā konstante	$\mu_0$	"	"
Relatīvā magnētiskā caurlaidība	$\mu$	-	-
Magnētiskā pretestība	$r_m (R_m)$	A/ВВ	A/Wb
Magnētiskā vadāmība	$g_m (G_m)$	ВВ/A	Wb/A

3. pielikums

NELINEĀRAJĀS ELEKTRISKAJĀS UN MAGNĒTISKAJĀS  
KĒDĒS LIETOJAMIE GRAFISKIE APZĪMĒJUMI

Nosaukums	Apzīmējums
Nelineārā elektriskā pretestība	$r(I)$ 
Lineārā magnētiskā pretestība	$R_m$ 
Nelineārā magnētiskā pretestība	$R_m$ 
Magnetodzinējspēks (MDS)	$F = Iw$ 

IZMANTOTO MAGNĒTISKO MATERIĀLU  
MAGNĒTIZĒŠANĀS LĪKĒS



L I T E R A T Ū R A

1. АТАБЕКОВ Г.И., КУПАНИН С.Д., ТИМОФЕЕВ А.Б., ХУХРИКОВ С.С. Теоретические основы электротехники, ч. II. М., Л., "Энергия", 1966, гл. I, §§ 1-2 + 1-7, гл. 2 §§ 2-1 + 2-6.
2. ВЕССОНОВ Л.А. Теоретические основы электротехники. М., "Высшая школа", 1967, гл. 2 §§ 26 + 36, гл. 3 §§ 42 + 65.
3. ХУХОВИЦКИЙ Б.Я., НЕГНЕВИЦКИЙ И.Б. Теоретические основы электротехники, ч. II. М., Л., "Энергия", 1965, гл. 6 §§ 6-1 + 6-6, гл. 7 §§ 7-1 + 7-6.
4. ЗВЕЖЕКЕ Г.В., ИОНКИН П.А., НЕГУШИЛ А.В., СТРАХОВ С.В. Основы теории цепей. М., Л., "Энергия", 1965, гл. 4 §§ 4-1 + 4-9, гл. 5 §§ 5-1 + 5-4.
5. ИОНКИН П.А., МЕЛЬНИКОВ Н.А., ДАРЬВСКИЙ А.И., КУХАРКИН Е.С. Теоретические основы электротехники. М., "Высшая школа", 1965, гл. 7 §§ 7.1 + 7.6, 7.9 + 7.11.
6. НЕЙМАН Л.Р., ДЕМИРЧЯН К.С. Теоретические основы электротехники, т. 2, ч. III. М., Л., "Энергия", 1966, гл. I §§ 1-2 + 1-5, гл. 2 §§ 2-1 + 2-5, 2-9 + 2-12.
7. Задачник по теоретическим основам электротехники (теория цепей), под ред. К.М. ПОЛИВАНОВА. М., "Энергия", 1967.
8. ИОНКИН П.А., КУРДЮКОВ Н.И., КУХАРКИН Е.С. Типовые примеры и задачи по теоретическим основам электротехники. М., "Высшая школа", 1965.



9. ШЕВЕС М.Р. Сборник упражнений и задач по теоретическим основам электрогеоэлектрики. М., "Высшая школа", 1962.
10. Сборник задач по расчету электрических цепей, под ред. С.И. КУРЕНЬВА и М.И. ПИНЕДА. М., "Высшая школа", 1967.

Редакторе В.Кайце, шаќалинекс В.Роѓиќ, техн.редакторе Г.Вераѓа

---

Редакцијата испрејана на 1970.г. 15.декември. Формат 60x90/16.  
4 испреједи, 3,5 издавања. Тиража 600 екса. Накава 18 кар.  
ОП Нр. 00831РР1. Ротспринте, Јединија Јелена. 1. Рачуна. Нр. 758