



**Rīgas Tehniskā universitāte
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Elektroapgādes katedra**

7. laboratorijas darbs
priekšmetā „Elektrisko staciju un apakšstaciju elektriskā daļa”.

SPRIEGUMMAIŅI

Darba aprakstu sastādīja: **K.Timmermanis, J.Rozenkrons, A.Kutjuns**

Darba satura rādītājs

	Lpp.
1. Darba mērķis.....	2
2. Iepriekšēja sagatavošanās	2
3. Darbs laboratorijā	3
4. Metodiskie norādījumi.....	4
4.1. Spriegummaiņa vektoru diagramma	4
4.2. Spriegummaiņa polaritātes noteikšana.....	6
4.3. Spriegummaiņa tiešās un nullsecības pretestības noteikšana.....	7
5. Protokola nobeigšana	8
6. Kontroljautājumi.....	9
7. Ieteicamā literatūra.....	9

1. Darba mērķis

Darba izpildes laikā studentiem:

- jāapgūst spriegummaiņu darbības principi, jāiepazīstas ar to raksturlielumiem un vektoru diagrammām;
- jāiemācās novērtēt spriegummaiņa kļūdas un to novēršanas paņēmieni;
- jāiepazīstas ar spriegummaiņu konstruktīvo izpildījumu un raksturīgākajām slēguma shēmām;
- praktiski jāveic spriegummaiņu pārbaude dažādos darba režīmos.

2. Iepriekšēja sagatavošanās

- 2.1. Iepazīties ar norādīto literatūru un šajā aprakstā dotajiem metodiskajiem norādījumiem; pārdomāt atbildes uz visiem kontroljautājumiem.
- 2.2. Sagatavot protokola formu, norādot uzdevuma variantu (sk. 7.2. tabulu). Pēc 7.1. tabulā dotajiem datiem (atbilstoši variantam) uzkonstruēt spriegummaiņa vektoru diagrammu, parādot protokolā konstrukcijas gaitu un izdarītos palīgaprēķinus. No vektoru diagrammas noteikt sprieguma un leņķa kļūdu skaitliskās vērtības un zīmi; novērtēt, kādā precizitātes klasē darbojas spriegummainis (sk. [1], 274. lpp., [2], 295. lpp. un metodisko norādījumu 4.1. punktu).
- 2.3. Sastādīt un iezīmēt protokolā laboratorijas darba veikšanai nepieciešamās principshēmas (sk. uzdevuma punktus 3.3.; 3.4.; 3.5.).
- 2.4. Sastādīt un iezīmēt protokolā tabulas eksperimentos gūto rezultātu pierakstam.

7.1. tabula

Izejas dati vektoru diagrammas konstrukcijai.

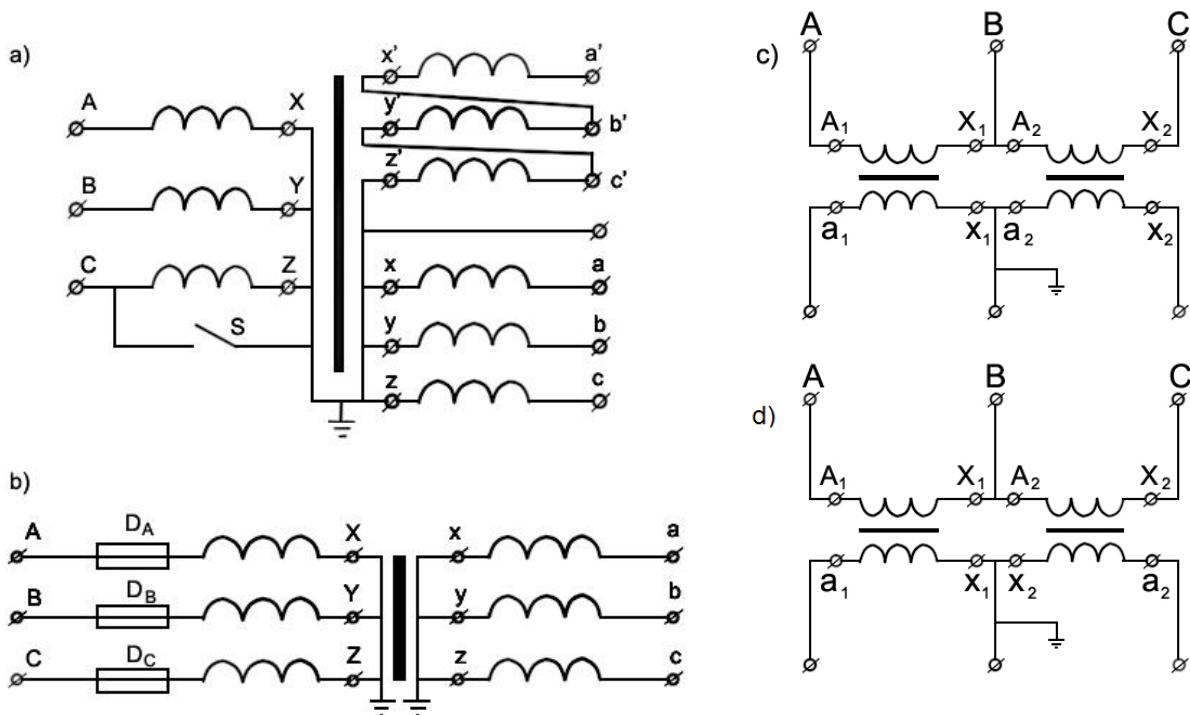
Varianta Nr.	U_{1n} , kV	Magnētiz. strāvas leņķis (el.grad.)	I_0 , A	I_2 , A	$\cos\phi$	Prim. tinuma pretestības		Sek. tinuma pretestības	
						r_1 , Ω	x_1 , Ω	r_2 , Ω	x_2 , Ω
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3	10	0,005	0,3	0,5	350	600	0,5	1,0
2	3	20	0,006	0,5	0,8	340	550	0,4	0,9
3	3	30	0,005	1,2	1,0	350	600	0,5	1,0
4	3	0	0,006	1,5	0	340	550	0,4	0,9
5	3	10	0,005	2,4	0,5	350	600	0,5	1,0
6	6	20	0,020	0,5	0,8	1500	2500	0,6	0,8
7	6	30	0,025	0,8	1,0	2000	3000	0,5	0,7
8	6	0	0,020	1,0	0	1500	2500	0,6	0,8
9	6	10	0,025	1,5	0,5	2000	3000	0,5	0,7
10	6	20	0,020	2,0	0,8	1500	2500	0,6	0,8

Piezīme: 1. Aprēķinos pieņem, ka $k_u = k_w$ un sekundārais spriegums $U_{2n} = 100V$.

2. Konstruējot vektoru diagrammas, jāizvēlas pietiekoši liels sprieguma un strāvas mērogs (noteikti tas jāatzīmē uz lapas). Primārā un sekundārā sprieguma vektoriem drīkst parādīt tikai sākumu un beigas (sk. 7.2.b. att.).

3. Darbs laboratorijā

- 3.1. Iepazīties ar laboratorijā esošajiem spriegummaiņiem un pierakstīt to pases datus.
- 3.2. Uzskicēt primāro un sekundāro izvadu novietojumu uz:
- 1) HTMI tipa spriegummaiņa vāka;
 - 2) HTMK tipa spriegummaiņa vāka.
- 3.3. Noteikt sekundāro tinumu galu apzīmējumu polaritāti (vienāda nosaukuma galus) HTC – 0,5 tipa trīsfāžu spriegummainim:
- 1) paraugam Nr.1;
 - 2) paraugam Nr.2;
 - 3) paraugam Nr.3.
- Protokolā jāieskicē teritoriālais tinumu izvadu novietojums uz spaiļu plāksnes, parādot eksperimenta gaitā iegūtos gala apzīmējumus (sk. metodisko norādījumu 4.2. punktu).
- 3.4. Izmērīt tiešās secības un nullsecības pretestību spriegummainim, kuram:
- 1) magnētiskā sistēma izveidota no 3 stieņiem;
 - 2) magnētiskā sistēma izveidota no 4 stieņiem;
 - 3) magnētiskā sistēma izveidota no 5 stieņiem.
- Visos gadījumos spriegummaiņa tinumi savienoti zvaigznē.



7.1. att. Spriegummaiņu eksperimentālās pārbaudes slēguma shēmas

- 3.5. Dotajam trīsfāžu spriegummainim vai triju vienfāzes spriegummaiņu grupai izmērīt primāros un sekundāros līnijas un fāzes spriegumus (pārtrauktā trīsstūra slēgumā izmērīt arī spriegumu $3U_0$) sekojošām slēgumu shēmām un darba režīmiem, kā arī uzzīmēt vektoru diagrammas: [1], 280.-283. lpp.
- 1) normāls darba režīms piecstieņu spriegummainim:
 - 7.1.a. attēlā slēdzis S atslēgts. Shēma barojas no 380V tīkla, jo tas laboratorijā darbojas ar izolētu neitrāli;
 - 2) piecstieņu spriegummainim primārajā pusē noticis fāzes C zemesslēgums:
 - 7.1.a. attēlā slēdzis S ir ieslēgts. Shēma barojas no 380V tīkla;

- 3) piecstieņu spriegummainim primārajā pusē noticis fāzes B zemesslēgums:
7.1.a. attēlā slēdzis S ir ieslēgts, tikai tā nekustīgais kontakts pievienots B fāzei. Shēma barojas no 380V tīkla;
- 4) piecstieņu spriegummainim primārajā pusē noticis fāzes A zemes slēgums:
7.1.a. attēlā slēdzis S ir ieslēgts, bet tā nekustīgais kontakts pievienots A fāzei. Shēma barojas no 380V tīkla;
- 5) zvaigznes slēgumam, kas izveidots no trim vienfāzes spriegummaiņiem (7.1.b. att.) primārajā pusē A fāzē pārdedzis drošinātājs. Drošinātāja pārdegšanu imitēt, atvienojot A fāzi no sprieguma;
- 6) zvaigznes slēgumam, kas izveidots no trim vienfāzes spriegummaiņiem (7.1.b. att.) primārajā pusē B fāzē pārdedzis drošinātājs;
- 7) zvaigznes slēgumam, kas izveidots no trim vienfāzes spriegummaiņiem (7.1.b. att.) primārajā pusē C fāzē pārdedzis drošinātājs;
- 8) normāls darba režīms vienfāzes spriegummaiņiem nepilnā trīsstūra slēgumā (7.1.c. att.);
- 9) slēdzot nepilno trīsstūri no diviem vienfāzes spriegummaiņiem, vienam no tiem sekundārajā pusē sajaukti gali (7.1.d. att.).

4. Metodiskie norādījumi

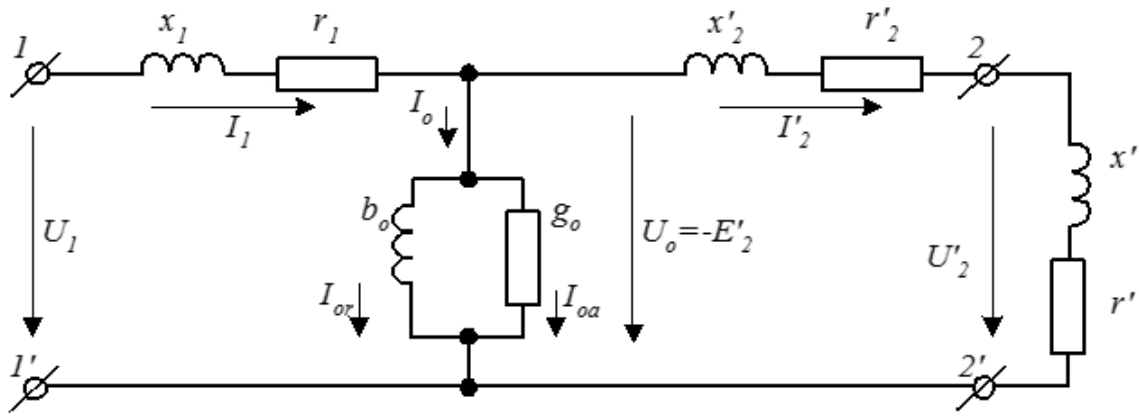
4.1. Spriegummaiņa vektoru diagramma parādīta 7.2.b. attēlā. Tā konstruēta atbilstoši 7.2.a. attēlā dotajai aizvietošanas shēmai.

Lai konstruētu vektoru diagrammu, jāzina:

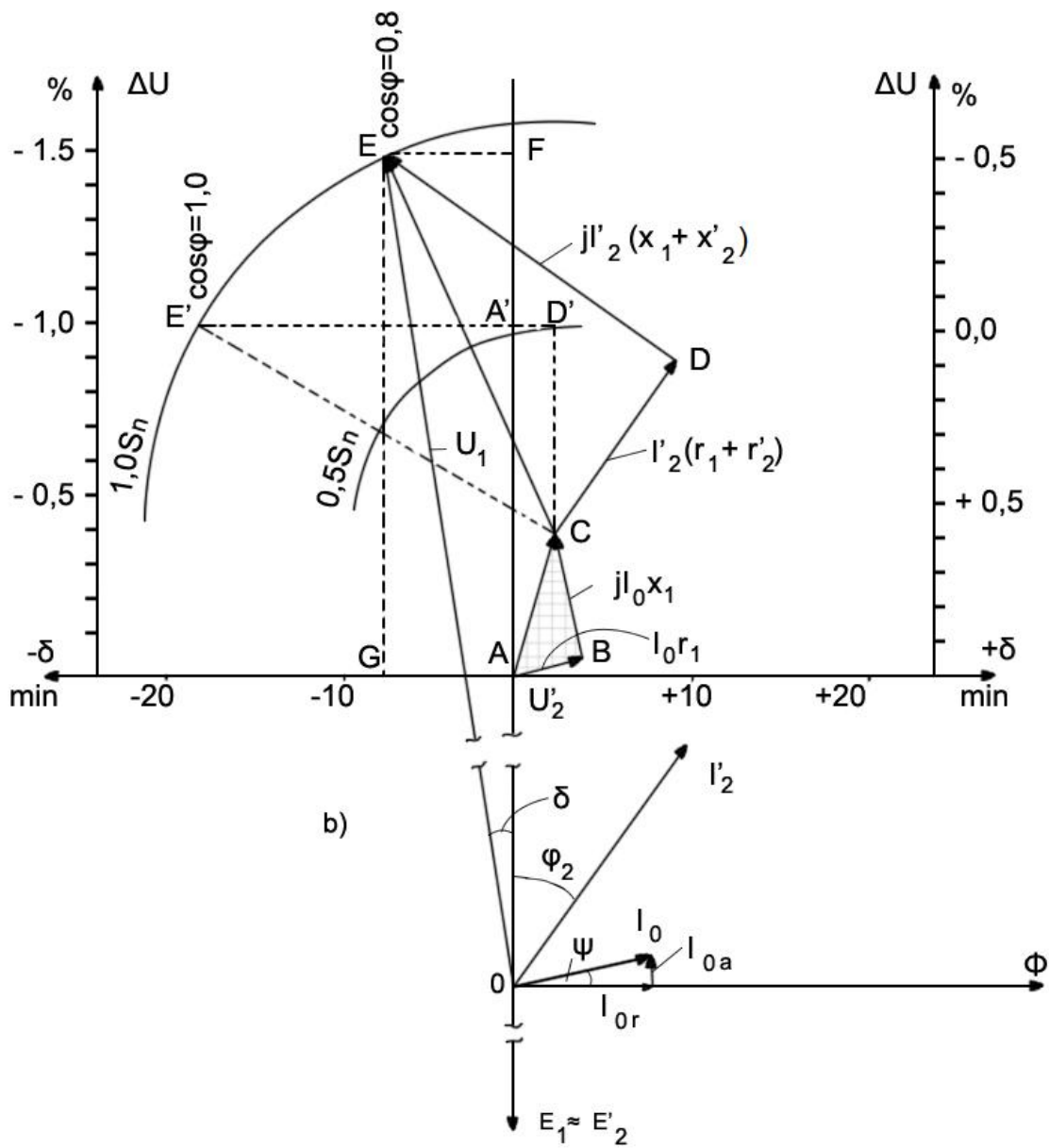
- spriegumu attiecība $k_u = U_1/U_2$
- vijumu attiecība $k_w = w_1/w_2$. Mērījumu precizitātes paaugstināšanai izvēlas $k_w < k_u$ (sk. [1], 272. lpp. un turpmāko tekstu);
- magnetizēšanas strāva $I_0 = I_{0r} + jI_{0a}$,
kur
 $I_{0r} = b_0 U_0$ – magnetizēšanas strāvas reaktīva komponente, kura rada magnētisko plūsmu serdē, kas, savukārt, inducē EDS $E_1 \approx E_2'$;
- $I_{0a} = g_0 U_0$ – magnetizēšanas strāvas aktīva komponente, kuru rada zudumi dzelzī;
- slodzes strāva sekundārajā pusē $I_2 = I_{2r} + jI_{2a}$;
- sekundārais spriegums U_2 ;
- uz primāro pusi reducēti aizvietošanas shēmas parametri
 $r_2' = r_2 \cdot k_w^2$; $x_2' = x_2 \cdot k_w^2$; $I_2' = I_2 / k_w$; $U_2' = U_2 \cdot k_w$ (7.1.)

Spriegummaiņa vektoru diagramma visumā neatšķiras no jaudas transformatora vektoru diagrammas. Vienīgi, lai labāk izsekotu kļūdu atkarībai no sekundārās slodzes, 7.2.b. attēlā īpaši izdalīti sprieguma krituma trīsstūri no magnetizēšanas un slodzes strāvas. Magnetizēšanas strāvas reaktīvā komponente rada magnētisko plūsmu Φ , ko savietojam ar kompleksās plaknes reālo asi. Plūsmas savukārt izsauc abos tinumos par 90° atpaliekošus EDS $E_1 \approx E_2'$. Reducētais sekundārais spriegums $U_2' = -E_2'$ (tukšgaitā) un tamdēļ to atliekam imaginārās ass pozitīvajā virzienā.

Trīsstūra ABC malas nosaka spriegumu kritumu primārajā tinumā no magnetizēšanas strāvas I_0 , resp., tukšgaitā primāro spriegumu U_1 izteiktu vektors OC (attēlā nav parādīts).



a)



b)

7.2. att. Spriegummaiņa shēma (a) un vektoru diagramma (b)

Trīsstūris CDE nosaka sprieguma kritumu primārajā un sekundārajā tinumā no slodzes strāvas I_2' . Pie kam attēlā parādīts gadījums, kad slodzes jaudas koeficients $\cos\varphi = 0,8$. Vektors OE izsaka slogota spriegummaiņa primāro spriegumu U_1 . Ar raustīto līniju ieskicētais trīsstūris CD'E' raksturo sprieguma kritumu gadījumā, kad $\cos\varphi = 1$.

Ja spriegummaiņa slodze ir mazāka par nominālo, tad trīsstūra malas proporcionāli samazinās (sk. loku 0,5 S_n).

Pēc 7.2.b. attēlā dotās vektoru diagrammas var noteikt spriegummaiņa kļūdas. Vispirms aplūkosim gadījumu, kad spriegummainim nav vijumu labojuma, resp., $k_u = k_w$. Tad sprieguma kļūda

$$\Delta U = \frac{U_2 \cdot k_u - U_1}{U_1} = \frac{U_2 \cdot k_w - U_1}{U_1} = \frac{0A - 0E}{0E} \quad (7.2)$$

jeb tuvināti

$$\Delta U = \frac{AF}{OF} \cdot 100\%$$

Nogriežņa OE aizvietošana iepriekšējā izteiksmē ar tā projekcija nerada kaut cik ievērojamu kļūdu, jo leņķis starp šiem nogriežņiem δ ir mazāks par 1 elektrisko grādu. Izteiksmē (7.2) iegūtā sprieguma kļūda ir negatīva, tāpēc, ka $U_2 \cdot k_w < U_1$ un slodzei ir induktīvs raksturs.

Nosakot spriegummaiņa leņķa kļūdu δ , leņķis AOE aizstājams ar tā sinusu. Tad

$$\delta = \frac{EF}{0E} \text{ rad.} \quad (\delta [\text{min}] = 3440 \cdot \delta [\text{rad}]) \quad (7.3)$$

7.2.b. attēlā šo kļūdu skaitliski raksturo nogriežņa EF projekcija uz nograduētās leņķa kļūdu ass, resp., nogrieznis GA. Vektoru diagrammā parādītā leņķa kļūda arī ir negatīva, jo vektors U_2' atpaliek no U_1 .

No teiktā izriet, ka no vektoru diagrammas viegli varam noteikt spriegummaiņa kļūdas. Tāpat 7.2.b. attēlā dotās vektoru diagrammas analīze ļauj secināt, ka šīs kļūdas galvenokārt atkarīgas no slodzes lieluma un jaudas koeficienta $\cos\varphi$. Svarīgi atzīmēt, ka ne visi spriegummainim pieslēgtie aparāti vienādi reaģē uz abām kļūdām. Tā, piemēram, voltmetra tipa aparātus ietekmē tikai sprieguma kļūda, bet vatmetra tipa – abas, jo leņķa kļūda δ iespaido jaudas koeficientu.

4.2. Saskaņā ar uzdevuma 3.3. punktu, laboratorijā jāpētī HTC – 0,5 trīsfāžu spriegummainis, kuram primārā puse savienota zvaigznē ar izvestu nullpunktu un doti galu apzīmējumi uz spaiļu plāksnes. Par sekundārajiem tinumiem un to polaritāti nekas nav zināms – ir tikai izvesti 6 nenosaukti gali uz sekundāro spaiļu plāksnes.

Vispirms jānosaka, starp kuriem izvadiem atrodas katras fāzes sekundārais tinums. To var izdarīt ar ommetru, bet, ja tāda nav, pievadot pēc kārtas katras fāzes primārajam tinumam maiņspriegumu un izdarot ar voltmetru sekundārajā pusē nepieciešamos mērījumus.

Sekundāro tinumu polaritāti nosaka pēc tās pašas metodes kā strāvmaiņiem (sk. 6. darba metodisko norādījumu 4.2. punktu). Tikai šajā gadījumā līdzstrāvas ķēdē papildpretestība nav vajadzīga. Spriegummaiņa katras fāzes primāro tinumu var pieslēgt tieši nelielam (līdz 24V) līdzspriegumam.

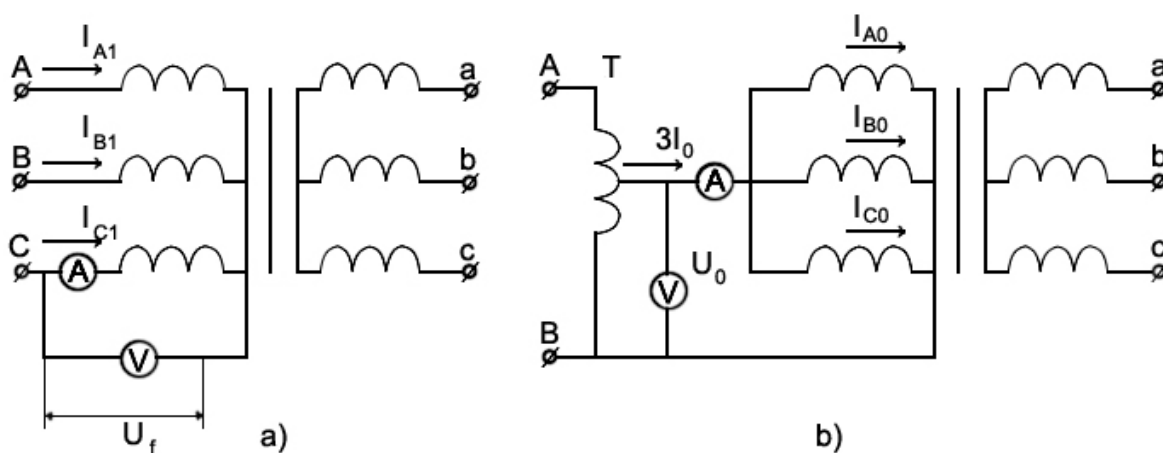
4.3. Pretestību mērīšanai laboratorijas darbā izmantots HTMIИ–6 tipa spriegummainis, kuram:

- 1) darba drošības labad 6 kV primārais tinums nomainīts pret 380 V primāro tinumu;
- 2) nogriezti magnētiskās sistēmas malējie stieņi, kas ļauj pēc vajadzības izveidot trīsstieņu, četrstieņu vai picstieņu serdi.

Trīsfāžu spriegummaiņa primārā tinuma tiešās un nullsecības pretestības nosaka pēc 7.3. attēlā dotajām shēmām.

Spriegummaiņa tiešās secības pretestības noteikšanai izmanto 7.3. att. a) doto shēmu. Primāros tinumus baro ar simetrisku tīkla spriegumu un fāzes pretestību atrod no voltmetra un ampērmetra rādījumiem. Ņemot vērā, ka $I_{A1} = I_{B1} = I_{C1} = I_{f1}$, tiešās secības pretestība

$$Z_1 = \frac{U_f}{I_{f1}}. \quad (7.4)$$



7.3. att. Shēmas tiešās un nullsecības pretestības noteikšanai

Nullsecības pretestību Z_0 eksperimentāli nosaka pēc 7.3.b. att. dotās shēmas

$$Z_0 = \frac{U_0}{I_0}. \quad (7.5)$$

Spriegummaiņa primārā tinuma visās fāzēs padod vienu un to pašu spriegumu, kas nodrošina magnētisko plūsmu momentāno vērtību vienlīdzību tajos spriegummaiņa stieņos, uz kuriem novietoti tinumi.

5. Protokola nobeigšana

Sastādot izpildatskaiti, pamatojas uz iepriekš sagatavoto protokolu, kurā ar pildspalvu rūpīgi ierakstīti eksperimentu gaitā iegūtie rezultāti. Bez tam protokols jāpapildina ar šādiem materiāliem:

- 5.1. Jāparāda spriegummaiņa iekšējais slēgums un kuri tinumu gali pievienoti uz spriegummaiņa vāka izvestajām spailēm (sk. uzdevuma 3.2. punktu).
- 5.2. Pēc uzdevuma 3.4. punktā iegūtajiem mērījumiem jāaprēķina spriegummaiņa tiešās un nullsecības pretestība, kā arī jāpaskaidro, kāpēc tīklos līdzās trīsstieņu spriegummaiņiem lieto vairākstieņu spriegummaiņus.

- 5.3. Jāuzzīmē vektoru diagrammas dažādiem spriegummaiņu slēgumiem un režīmiem, atbilstoši uzdevuma 3.5. punktā iegūtajiem rezultātiem. Jāparāda ne tikai sekundāro spriegumu vektoru diagrammas, bet arī primāro spriegumu vektori. Īpaša vērība jāvelti savstarpēji pareizai primāro un sekundāro sprieguma vektoru orientācijai.
- 5.4. Atbilstoši variantam rakstiski jāatbild uz trim kontroljautājumiem.

Uzdevumu varianti, kuri jāizpilda katram studentam atsevišķās laboratorijas darba stadijās, sagrupēti 7.2. tabulā.

7.2. tabula

Uzdevuma varianti

Varianta Nr.	Darba stadija			
	Iepriekšēja sagatavošanās	Darbs laboratorijā	Protokola nobeigšana	
			Eksperimenta apstrāde	Atbildes uz kontroljautājumiem
1	2.1; 2.2; 2.3; 2.4.	3.1; 3.2.1; 3.3.1; 3.4.1,2; 3.5.1,2,5.	5.1; 5.2; 5.3.	1; 2; 3
2	2.1; 2.2; 2.3; 2.4.	3.1; 3.2.2; 3.3.2; 3.4.1,3; 3.5.1,3,6.	5.1; 5.2; 5.3.	4; 5 ;6
3	2.1; 2.2; 2.3; 2.4.	3.1; 3.2.1; 3.3.3; 3.4.1,2; 3.5.1,4,7.	5.1; 5.2; 5.3.	7; 8; 9
4	2.1; 2.2; 2.3; 2.4.	3.1; 3.2.2; 3.3.1; 3.4.1,3; 3.5.1,2,8.	5.1; 5.2; 5.3.	10; 1; 2
5	2.1; 2.2; 2.3; 2.4.	3.1; 3.2.1; 3.3.2; 3.4.1,2; 3.5.1,3,9.	5.1; 5.2; 5.3.	3; 4; 5
6	2.1; 2.2; 2.3; 2.4.	3.1; 3.2.2; 3.3.3; 3.4.1,3; 3.5.1,4,5.	5.1; 5.2; 5.3.	6; 7; 8
7	2.1; 2.2; 2.3; 2.4.	3.1; 3.2.1; 3.3.1; 3.4.1,2; 3.5.1,2,6.	5.1; 5.2; 5.3.	9; 10; 1
8	2.1; 2.2; 2.3; 2.4.	3.1; 3.2.2; 3.3.2; 3.4.1,3; 3.5.1,3,7.	5.1; 5.2; 5.3.	2; 3; 4
9	2.1; 2.2; 2.3; 2.4.	3.1; 3.2.1; 3.3.3; 3.4.1,2; 3.5.1,4,8.	5.1; 5.2; 5.3.	5; 6; 7
10	2.1; 2.2; 2.3; 2.4.	3.1; 3.2.2; 3.3.1; 3.4.1,3; 3.5.1,2,9.	5.1; 5.2; 5.3.	8; 9; 10

6. Kontroljautājumi

1. Kādas ir spriegummaiņu konstruktīvās un darba režīma īpatnības salīdzinājumā ar spēka transformatoriem?
2. Kas ir spriegummaiņa precizitātes klase? Vai viens un tas pats spriegummainis var strādāt vairākās precizitātes klasēs?
3. Kādas kļūdas mērījumos ienes spriegummainis un no kā tās atkarīgas?
4. Kādus paņēmienus praksē pielieto spriegummaiņa kļūdu samazināšanai?
5. Kāpēc vienmēr jāsamazina spriegummaiņa sekundārie tinumi neatkarīgi no slēguma shēmas?
6. Kā izskaidrot to, ka trīsfāžu trīsstieņu spriegummaiņiem uz vāka nav izvests primāro tinumu neitrāles punkts?
7. Kādus trīsfāžu spriegummaiņus izmanto izolācijas kontrolei un kāpēc?
8. Kāpēc HTMIИ tipa spriegummaiņos galvenajam un papildus tinumam nav vienāds vijumu skaits?
9. Ko izsaka jēdziens „spriegummaiņa nominālā jauda” un „spriegummaiņa maksimālā jauda”?
10. Sākot ar kādu spriegumu un kāpēc pielieto kaskādes spriegummaiņus?

7. Literatūra

1. K. Timmermanis, J. Rozenkrons. „Elektrisko staciju un apakšstaciju elektriskā daļa”. Rīga, Zvaigzne, 1988., 272.-284. lpp.
2. Васильев А.А. „Электрическая часть электростанций и подстанций”, Часть 1, Москва, ГЭИ, 1963, 292.-312. lpp.
3. „Электрические сети и станции”. Под ред. Л.Н.Баптиданова, Москва, ГЭИ, 1963, 207.-211. lpp.