

Mācību līdzekļi relejaizsardzības laboratorijā

Jevgenijs Kozadajevs¹, Aleksandrs Dolgicers², ¹⁻²Riga Technical University

Kopsavilkums. Tiek realizēts projekts - laboratorijas mācību stendu veidošana. Tā galvenais mērķis ir paaugstināt apmācības kvalitāti, dot praktiskas iemaņas, ieinteresēt studentus jauna materiāla apgūšanai. Jaunu mācību stendu izveide ir nepieciešama laboratorijas iekārtu atjaunošanai. Dotais stends konkrēti ir paredzēts virzītas nullsecības strāvas aizsardzības izpētei. Ar tā palīdzību tiek plānots veikt laboratorijas darbus, kuros studentiem tiks dota iespēja patstāvīgi uzdot aizsardzības iestatījumus, kā arī izsekot notikumu attīstību dažādu bojājumu gadījumos.

Atslēgas vārdi: apmācības līdzekļi, releju aizsardzība, mācību stends, programmējamais loģiskais kontroleris.

I. IEVADS

Kvalificētu speciālistu zināšanu kvalitāte ir tieši atkarīga no apmācības procesa. Ļoti svarīga šī procesa daļa ir teorētisko zināšanu pielietošana praksē. Mūsdienās apmācības procesā pielieto daudzveidīgu simulācijas programmatūru. Programmās studenti ievada sākuma datus, tā risina vajadzīgo uzdevumu, ļauj apskatīt atbildes datus, veidot diagrammas, taču īstenībā topošajam speciālistam netiek dota iespēja reāli vērot enerģētiskās, releju un automatizācijas iekārtas darbībā.

Viens no visslabākajiem apmācības veidiem ir specializēto laboratorijas stendu un kompleksu integrēšana mācību procesā. Tie praktisko nodarbību un laboratorijas darbu izpildi padara aizraujošu, kas pozitīvi ietekmē jaunā materiāla uztveri un ļauj labāk izpētīt automatizācijas mikroprocesoru rīku tehnisko bāzi, automatizēto tehnoloģisko procesu vadības sistēmu algoritmisko un programnodrošinājumu, kā arī iegūt praktiskās prasmes darbā ar mūsdienu automatizācijas līdzekļiem. Tikai ar mācību stendu palīdzību ir iespējams droši, bet maksimāli tuvināti realitātei strādāt ar virtuāliem un reāliem objektiem un izzināt jaunas tehnoloģijas.

Mācību stendi ar sarežģītu objektu simulācijas iespēju un īstām automatizētās sistēmas komponentēm – tas ir jauns ceļš mācību procesa organizācijas problēmas risināšanā. Mācību stendi paaugstina studentu ieinteresētību, tātad arī apmācības efektivitāti. Konteksta apmācība balstās uz darbības teoriju, saskaņā ar kuru pieredzes ieguve tiek īstenota aktīvas, ieinteresētas darbības rezultātā [3].

II. MĀCĪBU STENDU ATTĪSTĪBAS VĒSTURE

Mācību laboratorijas aprīkojums savā attīstības vēsturē ir daudz mainījies. Padomju laikā, 50-60. gados, mācību procesā tika aktīvi iesaistīti laboratorijas stendi, kas sastāvēja no reāli eksistējošām daļām – dzinējiem, elektromotoriem, komutācijas aparātiem, elektromehāniskajiem relejiem un citiem - , kas ļāva efektīvi paaugstināt studentu prasmju līmeni, palīdzēja iegūt praktiskas iemaņas darbā ar iekārtām.

Galvenais laboratorijas iekārtu trūkums, ka tās aizņēma ļoti daudz vietas telpā, bija sarežģītas, grūti uzskatāmas, nebija transportējamas un to funkcionalitāte bija ierobežota. Iekārtu milzīgo izmēru dēļ nevarēja parādīt automātikas kopējo darbību, kā arī tās iedarbību uz energosistēmu vai tās daļu.

Elektronikas attīstības laikā 80. gados vecos laboratorijas stendus, kas aizņēma daudz vietas, nomainīja uz jauniem, kompaktākiem ciparu stendiem, kas bija spējīgi modelēt procesus un ļāva paplašināt laboratorijas darbu iespēju spektru. Rezultātā, pēc elektromehānisko ierīču darbības teorijas apguves, uz analogajiem ciparu stendiem studentiem bija iespēja redzēt automātikas, aizsardzības darbību kopumā, kā arī katra atsevišķa elementa darbības ietekmi uz sistēmu kopumā.

Šo stendu galvenais trūkums - to darbības algoritms tika veidots ar aparātiem un bija gandrīz nemainīgs. Rezultāta apmācamais faktiski varēja redzēt tikai vienu vai divus automātikas darbības scenārijus.

90. gados sākās strauja automātikas un aizsardzības ierīču attīstība uz mikroprocesoru bāzes. Tās bija analogas, daudzfunkcionālas ierīces, kuru apguvei un izpētei ir nepieciešama dažādu situāciju modelēšana, kā arī ir iespējama darbības algoritmu maiņa dotajai ierīcei.

Viss iepriekš minētais liecina par to, ka mācību aprīkojumu ir jāpildina līdz nākamajam attīstības līmenim, kas atbilst mūsdienu tehnoloģijas attīstības tendencēm.

III. MĀCĪBU STENDU RAŽOŠANA MŪSDIENĀS

Mūsdienās valstīs, kur enerģētika ir augsti attīstīta nozare, tiek ražoti laboratorijas mācību stendi. Kā piemēru var minēt Vācijas firmas Lucas-Nuelle [2], kas piedāvā augstas kvalitātes laboratorijas stendus enerģētikas nozarē, tādus kā EPH-2, kas parādīts 1.attēlā.



1. att. Mācību stands EPN-2.

Zīmējumā parādīts laboratorijas stands atjaunojošās enerģijas izpētei, šajā gadījumā saules enerģijas.

Tas ir interaktīvs daudzfunkcionāls laboratorijas stands, kas tika izstrādāts, lai teorētiskās zināšanas saistītu ar praktiskām iemaņām, izmantojot datora bāzi.

Ar šī aprīkojuma palīdzību var veikt sekojošus eksperimentus :

- Pārbaudīt vislabāko iespējamo saules baterijas atrašanās vietu, veikt fiksāciju un saules baterijas parametru pierakstu;
- Izpētīt ēnu ietekmi, dažādus saules baterijas savienojumu, montāžas un konfigurācijas veidus.

Diemžēl šāda tipa laboratorijas standi ir ļoti dārgi un bieži vien neatbilst vajadzīgajai funkcionalitātei, jo atkarībā no mācību iestāžu darbības specifikas, tiem tiek izvirzītas dažādas prasības. Starp zināmo ražotāju piedāvātajiem stendiem nav analoģu iekārtu, kas piedāvātu tik lielu iespēju klāstu lietotājam, kā mūsu izstrādātais virzītas nullsecības strāvas aizsardzības mācību līdzeklis.

IV. DATORMODELĒŠANA

Datormodelēšana – tas ir eksistējošā vai perspektīvā loģiski matemātiskā modeļa izveides process [3]. Datoru modelēšana ietver sevī gan modeļa uzbūves stadiju, gan arī plānošanas un atbilstošo eksperimentu realizācijas stadiju.

Modelēšana ir reālas sistēmas imitācija. Imitācijas rezultātā mēs saņemam sistēmu, kas var būt nepieejama, vai reālajā dzīvē to nevar ietekmēt, vai ietekme uz to būtu riskanta vai neatļauta.

Daudzās inženierzinātniskajās disciplīnās, it īpaši automātikā, mašīnmodelēšanu jau sen izmanto kā neatņemamu mācību procesa daļu. Automātikas un aizsardzības iedarbības uz sistēmu novērtēšanā, kā arī darba nosacījumu uzdošanā bez modelēšanas nevar iztikt.

Neatņemama modelēšanas iezīme ir resursu ierobežojums, kas noved pie tā, ka modelis tikai daļēji atspoguļo realitāti, tas nozīmē, ka apzināti vai neapzināti tiek izslēgti tā saucamās reālās pasaules elementi.

Tā kā modelis ir sistēmas tuvinājums, tas ir tās abstrakts attēlojums. Abstrakcijas procesam ir jāvadās no mērķa, kura dēļ tiks izveidots modelis. Pie lēmuma pieņemšanas par sistēmas elementa svarīgumu un par tā iekļaušanu modelī, ir jāņem vērā tieši šis mērķis. Modelēšanas kvalitāte ir atkarīga no tā, cik pareizi tiks izvēlēti svarīgie elementi un tiks organizēta saite starp tiem.

Imitācija dod vajadzīgo elastību stipri agregēto vai ļoti detalizēto modeļu uzbūvei. Vienā modelī dažādas komponentes var tikt izvietotas dažādos detalizācijas līmeņos. Imitācija pieļauj arī modeļa interaktīvo uzbūvi, no vieglā uz sarežģīto, pārbaudot un pakāpeniski ievieojot modelī jaunus elementus.

Mācību stenda realizācijā visefektīvāk ir izmantot jauktus nepārtrauktus diskrētos modeļus [3], kuros mainīgie var mainīties kā diskrēti, tā arī nepārtraukti. Sistēmas uzvedība tiek imitēta saskaitot nepārtrauktos mainīgos mazos diskrētos laika intervālos un atkārtos laika lielumus, kas mainās tikai notikumu rezultātā.

No vienas puses, tie vislabāk piemēroti datorrealizācijai. No otras puses, atbilst reāliem procesiem, kuri pēc savas būtības ir analoģu procesi.

Jauktā modelēšana izskata divus notikumu veidus – laika notikumus un stāvokļa notikumus. Pie pirmā tipa pieder tie notikumi, kas izmantojami diskrētos modeļos, otrā tipa notikumi tiek plānoti iepriekš un notiek tad, kad sistēmas mainīgais sasniedz noteiktu stāvokli.

Tāpat iegūtā modeļa pielietošanas diapazons atkarīgs no tā, cik lielā mērā dotais modelis attēlo sistēmu.

V. MĀCĪBU STENDA PROJEKTA NOSTĀDNE

Kā eksperimentālu piemēru Rīgas Tehniskajā universitātē, Enerģētikas institūtā, Energosistēmu automatizācijas un modelēšanas laboratorijā tika lemts izveidot mācību laboratorijas stendu virzītas nullsecības strāvas aizsardzības izpētei.

Projektējot šo laboratorijas iekārtu, tika izvirzītas sekojošas prasības:

- Dot studentiem priekšstatu par to, kas ir virzītas nullsecības strāvas aizsardzība ;
- Iespēja modelēt pēc iespējas vairāk dažādu zemesslēgumu scenāriju;
- Ļaut studentam patstāvīgi uzdot iestatījumus, izsekot notikumu attīstību bojājumu gadījumā;
- Vienkārša pielietošana un uzskatāmība.

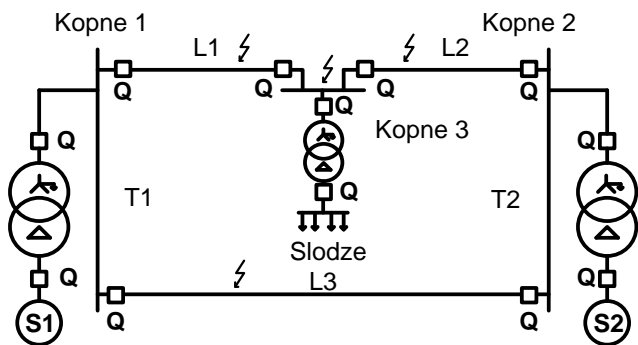
Ir pieņemts, ka mācību stendā tiek modelēts 110 kV tīkls ar divpusēju barošanu.

Tīkla konfigurācija sastāv no 3 līnijām (3.att.), kas veido cilpu, un 2 neatkarīgiem barošanas avotiem. Tā rezultātā



2. att. Kontrolleris FX3U.

dotā konfigurācija ir vienkārša un vienlaicīgi ļauj veikt vairākus izmēģinājumus visizplatītākajos zemslēguma gadījumos 110 kV līnijās. Par diviem neatkarīgiem barošanas avotiem tiek izvēlētas 2 bezgalīgas jaudas sistēmas, kas savienotas caur transformatoriem Δ /zvaigzne ar zemi (trīsstūra savienojums tiek lietots, lai tajā saslēdzas nullsecības strāva). Lai parādītu pēc iespējas vairāk dažādu scenāriju, tīklā ir ievietoti 12 jaudas slēdži, ar kuru palīdzību var mainīt tīkla konfigurāciju.



3. att. Aizsargājamā tīkla shēma.

VI. MĀCĪBU STENDA PROJEKTA REALIZĀCIJA

Mācību stendā ir 3 pamatbloki: tīkla modelēšanas bloks, aizsardzības bloks un indikācijas bloks. Tīkla modelēšanas bloks un aizsardzības bloks ir veidoti uz programmējama loģiskā kontrolera bāzes. Indikācijas bloks ir veidots uz gaismas diodžu indikatoru bāzes.

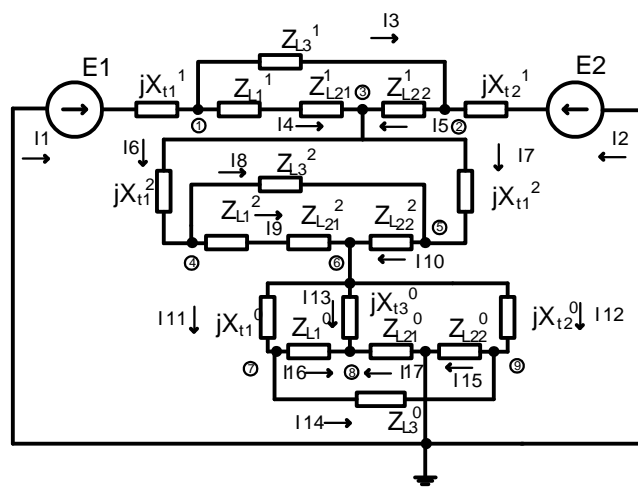
Programmējamais loģiskais kontroleris (turpmāk - PLC) ir mikroprocesora ierīce bez tajā ierakstītas programmas, kura pielietošanas iespēja tiek ierobežota tikai ar atmiņas apjomu un darbības ātrumu.

Faktiski PLC ir gatava ierīce vadīšanai vai aizsardzībai ar ielādējamo darba algoritmu. Ievērojot iepriekš minēto, kā arī ņemot vērā salīdzinoši zemo cenu, PLC ideāli der laboratorijas stenda bāzei.

Japāņu firmas Mitsubishi Electric kontrolera FX3U sērijas PLC [6], kas parādīts 2. attēlā, ļauj realizēt matemātiskas operācijas ar peldošo punktu, kas dod iespēju izmantot to kā tīkla un aizsardzības modelēšanas mašīnu.

Reālā dzīvē aizsardzības funkcijām kontroleris nav pielietojams, tā lēnās darbības dēļ. Tomēr mācību stendam ātrdarbība nav nepieciešama, tādēļ tas ir piemērots dotajam uzdevumam.

Tīkla modelēšanas bloka galvenais uzdevums ir aprēķināt nullsecības strāvas un sprieguma vērtības, kas plūst tīklā zemslēguma gadījumā. Tās realizācijai tika izveidotas 4 programmas. Atkarībā no bojājuma rašanās vietas (1,2,3 līnija vai uz kopnes 3 (3.att.)) sāk darboties no četrām programmām vajadzīgā. Programma strādā pēc mezglu sprieguma potenciālu metodes [7]. Tajā ir sastādītas trīs matricas: EDS matrica (E), kas atspoguļo EDSus (6.attēls), mezglu matrica (pirmā incidences matrica) 5. att., kurā tiek kodēta tīkla konfigurācija un pretestību matrica (Z), kas ir tīkla ekvivalentās shēmas sastāvdaļu pretestības matrica (6. att). Ar Zeideļa metodi tiek aprēķinātas strāvas un sprieguma simetriskās sastāvdaļas, kas tiek padotas uz aizsardzības bloku un uz indikācijas bloku.



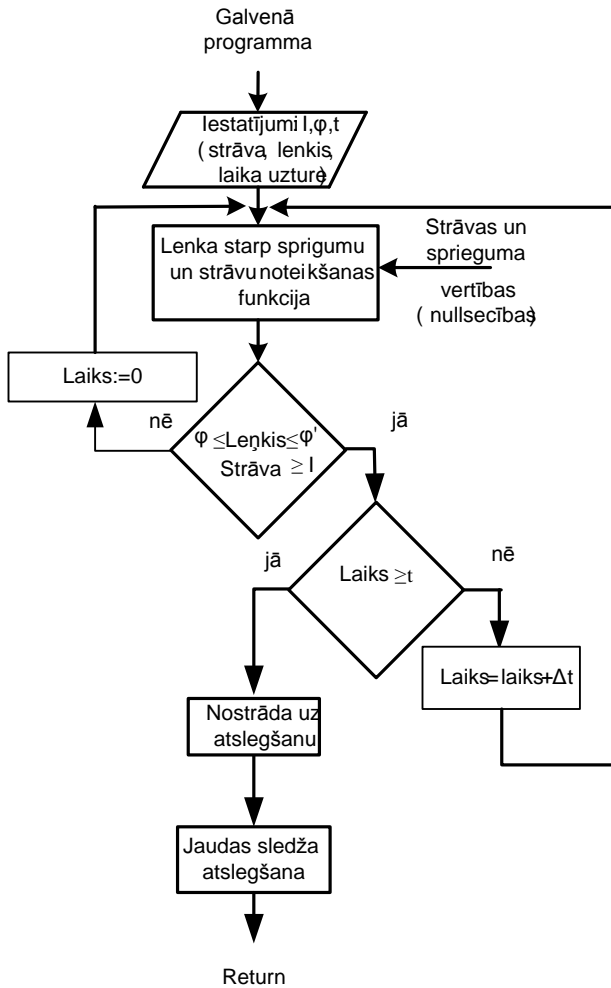
4. att. Aizvietošanas shēma.

	Branch																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	-		+	+													
2		-	-		+												
3				-	-	+	+										
4						-		+	+								
5								-	-		+						
6										-	-	+	+				
7												-		+			+
8													-	-			-
9													-	-	+		
Node																	

5. att. Mezglu matrica.

Aizsardzības bloks realizē virzītu zemesslēguma aizsardzību dotajam tīklam. Aizsardzības ierīces ir uzstādītas katras līnijas sākumā un beigās. Katra aizsardzība ir realizēta ciparu formā un sastāv no 3 apakšblokiem: strāvas releju, jaudas virziena, laika aiztures. Aizsardzības bloka darbības princips ir parādīts 9.att.

Strāvas releja bloks kontrolē nullsecības strāvas parādīšanos. Jaudas virziena bloks kontrolē nullsecības strāvas virzienu. Laika iztures bloks nodrošina aizsardzības darbības selektivitāti.

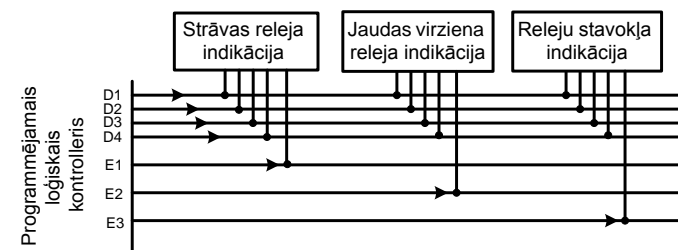


9. att. Piedāvāts aizsardzības darbības algoritms.



11. att. Izvēlnes atzīme, kas parāda jaudas slēdža stāvokli.

Papildus aizsardzības blokiem un līnijas parametru noteikšanai, stendā ir realizēts arī indikācijas bloks, kas ļauj izsekot nullsecības strāvas vērtību izmaiņai, kā arī jaudas slēdža un releja stāvokļiem. Šai realizācijai izmanto speciālo 4 bitu kopnes sistēmu (10.att.).



10. att. Datu organizācija ar kopņu sistēmas palīdzību.

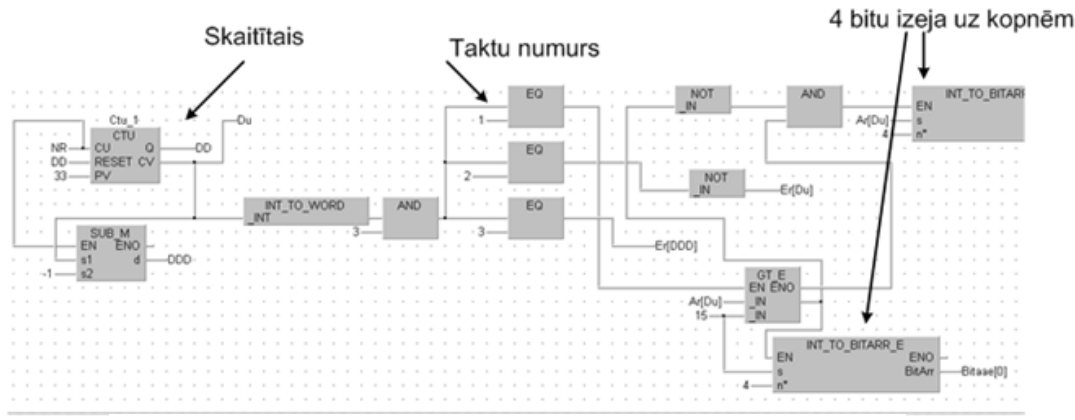
Galvenā 4 bitu kopne, pa kuru iet signāls visiem releja indikatoriem un atļaujas signāli, kas iet atsevišķi (katram savs) katram releja indikatoram. Atļaujas signāli norāda, kādam releja indikatoram ir paredzēta informācija, kas iet pa 4 bitu galveno kopni un atļauj vai bloķē signāla pieņemšanu.

Lietotāja saziņai ar PLC tiek izmantots firmas Mitsubishi Electric skārienekrāna panelis (touchscreen panel). Ar to tiek ievadīti modelējamās shēmas parametri, kā arī uz tā tiek parādīti izejas dati, tādi kā spriegums, jaudas slēdža stāvoklis, relejs. 11. attēlā parādīta izvēlnes atzīme, kas atspoguļo spēka transformatoru 1., 2. jaudas slēdža stāvokli, kā arī spriegumus uz kopnēm 1 un 2 (4.att.).

VII. IESTATĪJUMU APRĒĶINĀŠANAS METODIKA

Laboratorijas gaitā studentiem pašiem jāaprēķina visus iestatījumus un jāielādē tos mācību stendā, lai pēc tam viņi varētu novērtēt aizsardzības darbību.

Iestatījumu aprēķināšanas secības algoritms ir sekojošs: strāvas bloka iestrādes strāva tiek izvēlēta no strāvas drošas darbības noteikuma pie īsslēguma nākošā posma beigās un no nebilances strāvas noregulēšanas. Pēc pirmā nosacījuma $I_{nostrādes} = 0,9 \cdot 3 I_{0k.min}$, bet pēc otrā $I_{nostrādes} = 1.1 \cdot I_{nebilances.max}$,



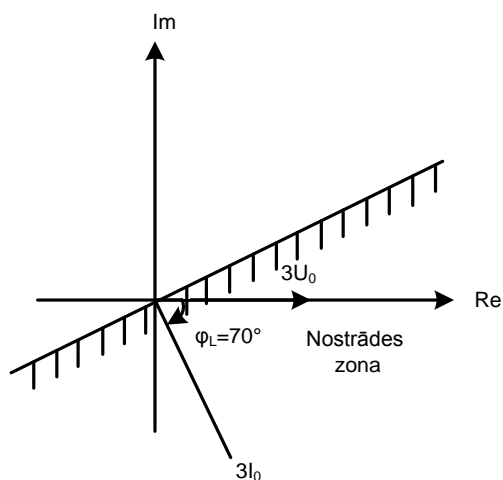
12. att. Aizsardzības bloka daļa, kas ir realizēta ar FBD valodu

kur $I_{nb} = k_{idn} f_i I_k^3$, kur k_{idn} atkarībā no identiskuma parametriem un strāvas transformatoru slodzes tiek izvēlēts no 0.5-1; f_i – strāvas transformatoru kļūda, pie atlases pēc 10% raksturojumiem, to pieņem par 0,1; I_k – maksimāla strāvas vērtība trīsfāžu īsslēgumam pie nākamā bojājuma posma. Jūtīguma pārbaudi formulē $k_j = 3I_{0min} / I_{nostrāde}$, kur I_0 – minimālā nullsecības strāva pie vienfāžu vai divfāžu zemesslēguma otrā posma beigās. Drošums tiek uzskatīts par pietiekamu, ja $k_j \geq 1,5$.

Virzītas strāvas laika izturi izvēlas pēc principa, ka katra aizsardzība tiek noregulēta no blakus esošās aizsardzības, kas darbojas pie viena jaudas virziena [8].

Jaudas virziena orgānam maksimālo jutīguma leņķi pieņem atbilstoši vidējam 110 kv līnijas leņķim, kas ir 70 grādi (13.att.).

Visi algoritmi mācību stendā operē ar ideāliem signāliem, tāpēc histerēzes ieviešana strāvas orgānos nav nepieciešama, tāpēc atgriešanas koeficients ir pieņemts vienāds ar vienu.



13. att. Jaudas virziena bloka darbības zona.

VIII. STENDA PIELIETOJUMS

Laboratorijas darba laikā studentam jāievada līniju, transformatoru un slodzes parametrus, teorētiski jāaprēķina iestatījumi, jāielādē tos mācību stendā, nākamajā solī jāveic iestatījumu pārbaude, veicot vairākus zemesslēguma izmēģinājumus pie dažādām tīkla konfigurācijām, jāpārliedz, vai tie ir izvēlēti pareizi.

IX. SECINĀJUMI

Piedāvātais mācību stends ir ekonomiski izdevīgs un plaši pielietojams risinājums mācību procesa kvalitātes paaugstināšanā. Ar nelieliem finansiāliem izdevumiem, izmantojot mūsu zināšanas un praktiskās iemaņas un pieredzi, tiek veidots stends, kuram nav analoģu starp zināmo ražotāju produkcijām. Laboratorijas stends ir roku darbs, kas ļauj pilnveidot un labot nepilnības, pielāgot to lietotāja vajadzībām, tāpēc tam ir ļoti liela vērtība. Laika gaitā tiek plānots mūsu izveidoto stendu integrēt apmācības procesā un pierādīt tā efektivitāti.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] **Papkovs, B., I. Zicmane.** Elektromagnētiskie pārejas procesi elektriskās sistēmas, Rīga 2007.
- [2] Electrical Power engineering, Lucas-Null, 2009.
- [3] **Salvandy, G.** Fear Factors, Purdue University, 1991.
- [4] **Graybeal, W. Pooch, U.V.** Simulations: principles and methods, Winthrop, Cambridge, MA, 1980.
- [5] **Russell, E.S.** Building simulation models, Los Angeles, CA, 1983.
- [6] Series Melsec FX3U manual, Mitsubishi Electric 2009.
- [7] **Бессонов, Л.А.** Теоретические основы электротехники, Москва 1996.
- [8] **Чернобровов, Н.В.** Релейная защита М., Энергия, 1971.



Jevgenijs Kozadajevs received B. Sc. degree in electrical engineering from Riga Technical University, Riga, Latvia, in 2009. He is M. Sc. student at Riga Technical University, Power Engineering Institute. Address: Kronvalda Blv., LV-1010 Riga, Latvia, Phone: +37126038553, e-mail: kozadajevs@eef.rtu.lv



Aleksandrs Dolgicers received Dipl. Eng. degree, and PhD degree from Riga Technical University in 1996 and 2000 respectively. He continued working with Electrical Power Plants, Networks and Systems group as a postdoc and, since 2002, he is an Assoc. Prof. at the Faculty of Electrical and Power Engineering. Address: Kronvalda Blv., LV-1010 Riga, Latvia, Phone: +37167089936, e-mail: dolgicers@eef.rtu.lv

Jevgenijs Kozadajevs, Aleksandrs Dolgicers. Training Facilities in the Relay Protection Laboratory

It is very important for people to get not only theoretical knowledge but also practical skills. Practical skills may be obtained by integration of the student into a real process or by participation in some kind of process simulation. It is proven that manual communication with a device encourages further cognition better than observing its operations on the screen. That means that the advantage of the laboratory training facilities is the possibility of manual contact and integration of the student in the process. The development of laboratory facilities began in the middle of the 20th century, when these were huge devices that occupied a large amount of place and consisted of real objects, the main disadvantages were limited functionality and low transportation possibility. Later the facilities were improved, they became more compact and the range of their opportunities grew. In the 1990s devices based on microprocessor basis were created, it was necessary to model different situations to learn them. So we came to the conclusion that it is time to improve the existing training facilities so that it could become possible to prepare further electrical engineering specialists properly in our country. Foreign companies produce training facilities, but we can not afford them because of the high price, also it is very difficult to find the device according to necessary specifications. Considering the facts that laboratory training facilities are very necessary for specialist training, foreign facilities are too expensive and old laboratory devices can not provide practical experience in working with modern electrical devices, to produce new laboratory facilities corresponding to the necessary specifications is an optimal solution..

Евгений Козадаев, Александр Долгицер. Средства обучения в лаборатории релейной защиты

В процессе обучения для обучающегося важно получить не только теоретические знания, но и практические навыки. Практические навыки можно получить, интегрируя обучаемого в реально происходящий процесс или позволяя участвовать и наблюдать симуляцию реального процесса. Доказано, что контакт с устройством больше способствует освоению его работы, чем наблюдение за этим устройством со стороны или на экране. Поэтому преимуществом лабораторного стенда перед компьютерной симуляцией является прямой контакт с объектом и реальное участие человека в процессе. Учебные стенды начали использовать еще в середине двадцатого века, тогда они представляли собой огромные установки и состояли из настоящих объектов. Их недостатком являлось то, что они были не транспортабельны и имели ограниченную функциональность. В 80-е годы стенды модернизировали и сделали более компактными, увеличили спектр возможностей. В 90-е годы появились устройства на микропроцессорной базе, которые открыли новые возможности моделирования. Мы пришли к выводу, что настало время усовершенствовать существующие лабораторные стенды для того, чтобы помочь качественно подготовить специалистов в сфере энергетики в нашей стране. Заграничные фирмы производят учебные стенды, но они чрезмерно дорогие, и сложно найти оборудование, соответствующее нужной специфике. В нашей лаборатории было решено создать стенд для изучения направленной токовой защиты нулевой последовательности на базе программируемого логического контроллера. С учетом того, что лабораторные стенды необходимы для подготовки специалистов, а производимые за границей установки очень дороги, в то время, как имеющееся оборудование устарело, производство новых, соответствующих нашей специфике лабораторных стендов – оптимальное решение данной проблемы.