

EVALUATION OF SUBSTATIONS' POWER SUPPLY RELIABILITY

APAKŠSTACIJU ENERGOAPGĀDES DROŠUMA NOVĒRTĒŠANA

Aleksandrs Ļvovs, RTU student

Riga Technical University

Faculty of Power and Electrical engineering

Address: Kronvalda bulv. 1, Riga, LV-1010, Latvija

Phone: +371 708922

e-mail: aleksandrs.lvovs@inbox.lv

Armands Staltmanis, Ma. sc. ing

Riga Technical University

Faculty of Power and Electrical engineering

Address: Kronvalda bulv. 1, Riga, LV-1010, Latvija

e-mail: a_s@inbox.lv

Atslēgvārdi : atteice, darbnespējas varbūtība, drošums, elektroapgādes pārtraukumu izmaksas

Ievads

Elektroapgādes rezervēšanas un drošuma jautājums ar katru gadu kļūst arvien aktuālāks, jo cilvēku dzīvē ar katru gadu parādās vairāk ierīču, kurām ir nepieciešama elektroenerģija un līdz ar to cilvēka dzīve kļūst lielākā mērā atkarīga no elektroenerģijas. Mūsdienās elektroenerģijas pārtraukumi izsauc ne tikai diskomforta sajūtu, bet bieži vien rada ekonomiskus zaudējumus, kā arī tie var būt par iemeslu tehnogēnām katastrofām. Palielinoties cilvēku atkarībai no elektroenerģijas piegādēm arvien vairāk uzmanība tiek pievērsta elektrotīklu drošumam jo energoapgādes kompānijām ir jāreķinās zaudējumiem, ko var izraisīt energoapgādes pārtraukums. Palielinoties enerģijas patēriņam esošie tīkli nespēj nodrošināt visus patērētājus un līdz ar to tīkls ir jārekonstruē. Izstrādājot jauna energoobjekta projektu jāņem vērā tā iespāids uz citiem objektiem, piemēram, aktuāls ir jautājums par maksimāli pieļaujamo apakšstaciju skaitu līnijā starp diviem barošanas centriem. Rakstā ir apskatīts drošuma jēdziens un ar to saistīto lielumu aprēķini, ka arī dots pašlaik pielietojamo drošuma uzlabošanas pasākumu īss apskats. Darbā dots vīdsprieguma kopņu sekciju atteices varbūtības aprēķina modelis un īss augstsprieguma tīkla iespāida raksturojumu uz apakšstaciju drošumu.

Drošums un drošuma parametri

Drošums (dependability) - Apkopjošs termins, ko lieto, lai aprakstītu darbġatavību un to ietekmējošus faktorus: bezatteicību, apkalpojamību, apkalpes nodrošinātību (Piezīme: drošumu lieto tikai vispārīgai nekvantitatīvu terminu aprakstīšanai).

Drošuma līmeni nosaka elektroapgādes pārtraukumu skaits un to ilgums. Tādi pārtraukumi var rasties pēkšņas kādu sistēmas elementu avārijas bojājumu dēļ, vai arī plānotā remonta vai apkalpes laikā. Pārtraukumu skaits un ilgums ir atkarīgs no tīkla iekāru kvalitātes un parametriem, kā arī no iekārtu darbspējas uzturēšanas pasākumiem, tai skaitā, profilakses remontu laika un apjomiem, profilakses pārbaudēm u.t.t. Bojājumu likvidācijas laiks ir atkarīgs no dežūrējošo un remonta brigāžu darbu organizācijas. Tā kā ekspluatācijas pasākumu organizācija dažādiem elektroapgādes sadales tīkliem atšķiras, drošuma aprēķinus ir jāveic ņemot vērā konkrētā tīkla shēmu, struktūru un ekspluatācijas pamatprincipus.

Aprēķinot drošuma līmeni izmanto vidējo elektroapgādes pārtraukumu skaita vērtību λ un pārtraukuma ilgumu T, kuras aprēķiniem pieņem balstoties uz esošo pilsētas elektrotīklu ekspluatācijas pieredzi.

Zinot λ un T ir iespējams aprēķināt iekārtas darbnespējas stāvokļa varbūtību.

Darbnespējas stāvokļa varbūtību χ aprēķina pēc formulas:

$$\chi = (T_{rem} \cdot \lambda) / 8760 \quad (1)$$

kur T_{rem} - remonta laiks (bojājuma novēršanas laiks);

λ - bojājumu skaits.

Runājot par atsevišķām iekārtām un to drošuma līmeni, lieto iepriekšminētos parametrus χ , λ un T, bet, runājot par sistēmu kopumā, šo lielumu pielietošana nav pietiekoša. Par sistēmas drošuma līmeni var spriest pēc nepiegādātās elektroenerģijas daudzuma.

Nepiegādātās enerģijas daudzums normālā režīma traucējumu dēļ:

$$E = P \cdot t_{a\,var} \cdot \lambda \quad (2)$$

kur E - nepiegādātās enerģijas daudzums, kWt*h;

P - vidējās jaudas (par periodu) matemātiskā cerība;

$t_{a\text{ var}}$ - bojājuma novēršanas laiks, h;

λ - elektroapgādes pārtraukumu skaits.

Gadījumā, ja divi (vai vairāki) elementi ir savienoti virknē (1. att. a), tad, lai pārtrauktu ķēdi, pietiek atslēgt vienu elementu [2].

Darbnespējas stāvokļa varbūtība diviem virknē slēgtiem elementiem:

$$\chi_v = \chi_1 + \chi_2 \quad (3)$$

kur χ_1 - piespiedu darbnespējas stāvokļa varbūtība pirmajam tīkla elementam;

χ_2 - piespiedu darbnespējas stāvokļa varbūtība otrajam tīkla elementam.

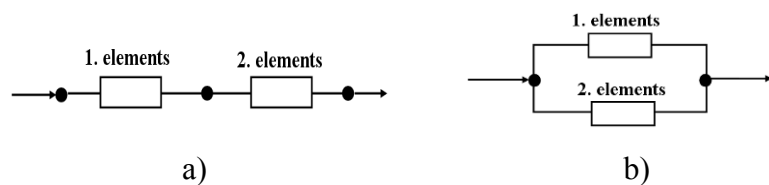
Gadījumā, ja divi (vai vairāki) elementi ir savienoti paralēli (1. att. b), tad, lai atslēgtu ķēdi, vienlaicīgi jāatslēdz abi (visi) elementi.

Darbnespējas stāvokļa varbūtība diviem paralēli slēgtiem elementiem:

$$\chi_p = \chi_2 \cdot \chi_1 \quad (4)$$

kur χ_1 - piespiedu darbnespējas stāvokļa varbūtība pirmajam tīkla elementam;

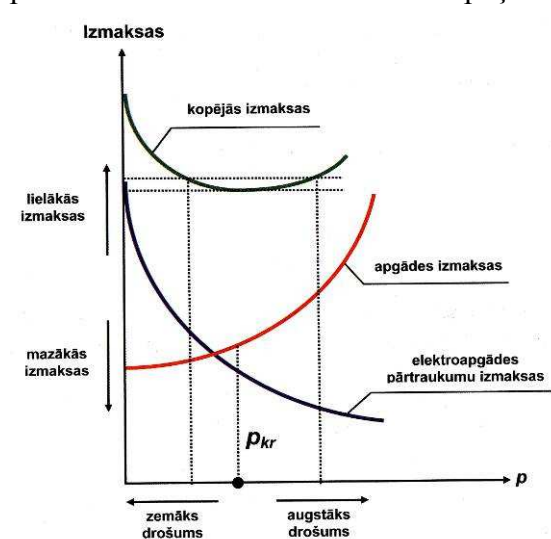
χ_2 - piespiedu darbnespējas stāvokļa varbūtība otrajam tīkla elementam.



1. att. Elektriskā tīkla elementu slēgums;
a – virknes slēgums, b – paralēlais slēgums

Drošuma uzlabošanas paņēmieni un elektroapgādes variantu ekonomiskais salīdzinājums

Tā kā jebkuri elektroapgādes rezervēšanas pasākumi prasa naudas ieguldījumus, ne vienmēr ekonomiski pamatoti ir visiem lietotājiem nodrošināt vienādu elektroapgādes drošuma līmeni, līdz ar to katrā gadījumā jāveic ekonomiskais aprēķins. Ņemot vērā to, ka projektējot jaunus energoobjektus parasti apskata vairākus šī projekta realizācijas variantus, ir nepieciešamas kādas šo variantu analīzes metodes. Mūsdienās par pamatu tādām analīzes metodēm ir paņemta ekonomiskā efektivitāte, tas nozīmē, ka salīdzinot variantus izvēlas to, kurš ir ekonomiski izdevīgāks



(piemēram, pie vienādiem ienākumiem ir mazākas izmaksas). Veicot ekonomisko analīzi salīdzina tādus projektvariantus, kuri apmierina noteiktus kritērijus un viens no tādiem kritērijiem ir elektroapgādes drošums. Drošums un ekonomiskums cieši saistīti savā starpā. Palielinot rezervi palielinās rezerves izmaksas, bet tajā pašā laikā samazinās zaudējumi no elektroapgādes pārtraukumiem. Summējot abas izmaksu komponentes un mainot drošuma pakāpi var atrast minimālu izmaksu zonu. Praksē ir sarežģīti precīzi noteikt atslēgumu skaitu nākotnē, it īpaši tas ir saistīts ar jaunu iekārtu darbnespējas prognozēšanu, jo līdz šim vēl nav izveidota pietiekoši liela datu bāze ar informāciju par bojājumu skaitu un to novēršanas ilgumu. Līdz ar to parasti nosaka mazāko izmaksu zonu, nevis mazāko izmaksu punktu (2. att.) [3]. Elektroapgādes pārtraukumu izmaksas ir atkarīgas ne tikai no atslēgtās jaudas, atslēgumu skaita un ilguma, bet arī no atslēgto patērētāju darbības sfēras, pie tam palielinoties atslēguma ilgumam maksa par nenodoto kilovatstundu palielinās [1;3].

2. att. Elektroapgādes drošuma izmaksas

Mūsdienās elektroapgādes drošuma palielināšanai pielieto dažādus paņēmienus:

- 1) Pielietojot dažāda veida sadaliekārtu shēmas – vienkopņu, vienkopņu sekcionētas, divkopņu sekcionētas, četrstūra u.c.
- 2) Pielietojot dažāda veida elektrisko tīklu shēmas – nerezervētas maģistrālās un radiālās shēmas, maģistrālās sekcionētas shēmas, shēmas ar divpusēju barošanu kā arī cilpveida shēmas.
- 3) Relejaizsardzības pielietošana. Relejaizsardzības funkcija elektroapgādes drošuma uzlabošanā ir nepieļaut līniju lielu pārslodzi, kuras dēļ līnija var iziet no ierindas uz ilgu laiku, kā arī, lai selektīvi atdalītu bojāto tīkla elementu no visa kopējā tīkla.
- 4) Automātikas pielietošana. Elektrotīklos pielieto AAI un ARI. AAI iedala vienkāršās, divkāršās un trīskāršās. Bezsprieguma pauzes laikā ir iespējams atslēgt bojāto līnijas daļu ar atdalītājiem un pēc tam ieslēgt darbā nebojātu līnijas galu, kas ļauj samazināt nepiegādātās enerģijas daudzumu. AAI iekārtas uzstāda uz gaisvadu līnijām, kopņu sistēmām u.c., bet neuzstāda uz kabelļlīnijām, transformatoriem iekšēja bojājuma gadījumā u.c., kur bojājumi ir stacionāri. ARI iekārtas uzstāda atbilstīgiem patērētājiem ar divpusēju barošanu, lai viena barošanas avota bojājuma gadījumā elektroapgāde netiktu pārtraukta.

Apakšstacijas kopņu sekciju atteices varbūtības aprēķinu metodika

Lai varētu noteikt nepiegādātās elektroenerģijas daudzumu, ir jāzina 110 kV apakšstaciju vidsprieguma sekciju darbnespējas varbūtības, kā arī slodžu barošanas iespējas no citiem barošanas avotiem. Tālāk ir dots kopņu sekcijas(-u) atteices varbūtības aprēķina matemātiskais modelis [4].

1) Viena kopņu sekcija paliks bez sprieguma gadījumā ja:

- a) būs bojāta pati kopne;
- b) notiks barojošā transformatora bojājums vai bojājums transformatora pievienojumā un tajā pašā laikā nestrādās otrs transformators, vai būs bojājums rezerves barošanas ķēdē (šajā gadījumā ir pieņemts, ka starpskciju slēdzis normālā darba režīmā ir ieslēgts);
- c) ir bojāts viens no pievienojumiem un pievienojuma aizsardzība nenostādā.

Lai iegūtu kopējo kopņu sekcijas atteices varbūtību, jāsummē iepriekš minētās kopnes sekcijas atteices varbūtības:

$$\chi_{1K\Sigma} = \sum (\chi_{1K} + (\chi_{T1} + \chi_{Tp1}) \cdot (\chi_{T2} + \chi_{Tp2}) + \sum_{n=1}^m (\chi_p \cdot \chi_{p.j.sl.})) \quad (5)$$

kur $\chi_{1K\Sigma}$ - vienas kopņu sekcijas summārā atteices varbūtība;

χ_{1K} - vienas kopņu sekcijas atteices varbūtība;

χ_{T1}, χ_{T2} - attiecīgi transformatoru T-1 un T-2 atteices varbūtība;

χ_{Tp1}, χ_{Tp2} - attiecīgi transformatora T-1 un T-2 pievienojuma atteices varbūtība;

χ_p - viena pievienojuma atteices varbūtība;

$\chi_{p.j.sl.}$ - viena pievienojuma jaudas slēdža atteices varbūtība.

2) Apskatot divu kopņu sekciju vienlaicīgu darbnespējas varbūtību jāizdala divi varianti:

a) Atslēdzas divas pie viena transformatora pieslēgtas sekcijas. Šajā gadījumā abu sekciju atslēgums var notikt pašu kopņu bojājuma dēļ, abu sekciju pievienojumu pie transformatora vienlaicīgs bojājums vai vienlaicīgs transformatora bojājums vai transformatora barošanas pazušana un katras kopņu sekcijas automātiskās rezerves ieslēgšanas atteices dēļ (pieņemot, ka normālā darba režīmā starpsekciju slēdži ir atslēgti). Iepriekšminēto var izteikt ar formulu:

$$\chi_{2K1T} = \chi_{T1} \cdot \chi_{ARI1} \cdot \chi_{ARI2} + \chi_{1K} \cdot \chi_{1K} + \chi_{Tp1} \cdot \chi_{Tp2} \quad (6)$$

kur χ_{2K1T} - divu kopņu sekciju, kas barojas no viena transformatora vienlaicīgas atteices varbūtība;

χ_{ARI1}, χ_{ARI2} - attiecīgi abu starp kopņu sekcijām uzstādīto automātisko rezerves ieslēgšanu atteices (nepareizas nostrādes) varbūtība;

χ_{1K} - vienas kopņu sekcijas atteices varbūtība.

b) Atslēdzas divas pie dažādiem transformatoriem pieslēgtas sekcijas. Šāda situācija ir iespējama pie abu sekciju vienlaicīgā bojājuma, abu transformatoru vienlaicīga bojājuma vai gadījumā kad vienlaicīgi ir bojāti abu sekciju pievienojumi pie transformatoriem. Divas pie dažādiem transformatoriem pieslēgtas sekcijas atslēgsies arī gadījumā ja viena no sekcijām būs bojāta un automātika nenostādās pareizi – gadījumā ja sekciju slēdzis pirms bojājuma bija ieslēgts un to neatslēdz, vai pirms bojājuma atrodoties atslēgtā stāvoklī pēc īsslēguma automātika to ieslēdz. Lai iegūtu summāro divu sekciju atteices varbūtību jāsummē visi iepriekšminētie nosacījumi.

$$\chi_{2K2T\Sigma} = (\chi_{T1} \cdot \chi_{T2} + \chi_{1K} \cdot \chi_{1K} + \chi_{Tp1} \cdot \chi_{Tp2}) + (\chi_{1K} \cdot \chi_{ARI1}) \quad (7)$$

kur $\chi_{2K2T\Sigma}$ - divu kopņu sekciju, kas barojas no dažādiem transformatora summārā vienlaicīgas atteices varbūtība.

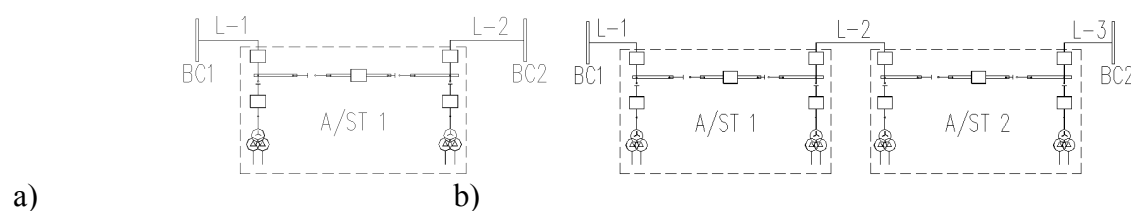
Apakšstaciju kopņu sekciju darbnespējas varbūtību ietekmē arī augstsprieguma tīkla drošums – elektroapgādes pārtraukumu varbūtība pašai apakšstacijai no 110 kV tīkla puses [5]. Apakšstacijas elektroapgādes drošums ir atkarīgs no barošanas centru un pievienojuma līniju darbnespējas varbūtības. Gadījumā, kad starp barošanas centriem atrodas tikai viena apakšstacija (3. att. a), tad tā paliks bez sprieguma (neievērojot iekšējus bojājumus) kad pazudīs barošana no abām pusēm – jāatslēdzas barošanas centram BC1 vai līnijai L-1 un tajā pašā laikā jāatslēdzas barošanas centram BC2 vai līnijai L-2 un tas pats formulas veidā:

$$\chi_{A/ST-1} = (\chi_{BC1} + \chi_{L1}) \cdot (\chi_{BC2} + \chi_{L2}) \quad (8)$$

kur $\chi_{A/ST-1}$ - apakšstacijas A/ST-1 darbnespējas varbūtība;

χ_{BC1}, χ_{BC2} - attiecīgi barošanas centru BC1 un BC2 atteices varbūtība;

χ_{L1}, χ_{L2} - attiecīgi līniju L-1 un L-2 atteices varbūtība.



3. att. Apakšstaciju izvietojums starp barošanas centriem

Divu vai vairāku apakšstaciju gadījumā (3. att. b) situācija pasliktinās jo sprieguma pazušanas gadījumā no barošanas centra BC1 puses, BC1 atslēgšanas vai līnijas L-1 bojājuma gadījumā, rezervēšanas iespējas no barošanas centra BC2 pasliktinās, jo kāds no jauniem jaudas slēdžiem kas savieno A/ST-2 ar līnijām L-2 vai L-3 var atrasties remontā vai remonta stāvoklī var atrasties A/ST-2 starpsekciju jaudas slēdzis un tādā gadījumā A/ST-1 paliks bez barošanas avotiem. A/ST-1 darbnespējas varbūtību gadījumā ar 2 apakšstacijām starp barošanas centriem var izrēķināt pēc formulas:

$$\chi_{A/ST-1} = (\chi_{BC1} + \chi_{L1}) \cdot (\chi_{BC2} + \chi_{L2} + \chi_{L3} + 3 \cdot \chi_{j.sl.}) \quad (9)$$

kur $\chi_{A/ST-1}$ - apakšstacijas A/ST-1 darbnespējas varbūtība;

χ_{L3} - līnijas L-3 atteices varbūtība;

$3 \cdot \chi_{j.sl.}$ - starpsekciju slēdža un divu jaudas slēdžu, kas savieno A/ST-2 kopnes ar līnijām L-2 un L-3, summārā darbnespējas varbūtība.

Apakšstaciju drošumu lielā mērā ietekmē to barojošo līniju garumi, it īpaši tas attiecas uz gaisvadu līnijām, kurām bojājumu skaits ir lielāks nekā kabeļlīnijām. Savukārt apakšstacijas izvietojums starp barošanas centriem, pie noteikuma, ka pievienojuma līniju kopējais garums paliek nemainīgs, tās darbnespējas varbūtību ietekmē mazāk [5].

Literatūra

1. Vidsprieguma (10-20kV) elektrotīklu barošanas centru elektroapgādes rezervēšanas veida pamatojuma metodikas un aprēķinu datorprogrammas izstrāde; Līgums Nr. L7032 (Nr.302100/05-25) no 28.12.2005. J. Rozenkrons, Z. Krišāns u.c. 91. lpp.
2. LDM-AD`04versija2. Augstākā sprieguma (330, 110kV) tīkla un apakšstaciju sadalietaišu darba un elektroapgādes drošuma kritēriju un tehniski ekonomisko aprēķinu programma. Apraksts, lietotāja instrukcija. Z. Krišāns, I. Oļeiņikova u.c. 83. lpp.
3. Krišāns Z., Oļeiņikova I. Elektroenerģētisko uzņēmumu vadības pamati – RTU, Rīga 2007. 158. lpp.
4. Kotlers E. „Barošanas centru elektroapgādes drošuma un rezervēšanas iespējas lietderības analīze pa vidējā sprieguma tīklu” – maģistra darbs. Rīga 2008. 85. lpp.
5. Lielāko pilsētu 110kV elektrotīkla shēmas attīstības pamatprincipi. Atskaite. Rīga 2007. J. Rozenkrons, S. Guseva, A. Ļvovs u.c. 107. lpp.

Ļvovs A., Staltmanis A. Apakšstaciju energoapgādes drošuma novērtēšana

Šajā rakstā īsi aplūkota apakšstaciju elektroapgādes drošuma problēma. Darbā ir dotas galveno drošumu ietekmējošo lielumu aprēķina formulas un paskaidrots darbnespējas stāvokļa varbūtības aprēķina princips objektu dažāda veida izvietojumiem. Raksta otrajā daļā dota elektroapgādes drošuma līmeņa noteikšanas metodika, par pamatu ņemot ekonomisko efektivitāti. Ir aprakstīti tādi elektroapgādes drošuma uzlabošanas paņēmieni kā kopņu sekcionēšana, automātikas izmantošana un drošākas tīkla shēmas izvēle. Raksta trešajā daļā dota darbnespējas varbūtības aprēķina metodika vienai un divām 110 kV apakšstacijas videsprieguma sekcijām. Veicot divu sekciju darbnespējas varbūtības aprēķinu, tika apskatīti divi varianti – kad sekcijas pieslēgtas vienam transformatoram vai diviem dažādiem transformatoriem. Trešajā daļā tiek arī aprakstīta apakšstaciju darbnespējas varbūtības atkarība no dažādiem faktoriem: no apakšstacijas izvietojuma 110 kV tīklā, apakšstaciju skaita starp barošanas centriem un no barojošo līniju garuma. Jautājums par apakšstaciju skaitu un izvietojumu starp barošanas centriem ir aktuāls lielpilsētās, jo apakšstaciju blīvums pilsētu rajonos ir daudz lielāks nekā lauku rajonos. Savukārt, līniju garuma jautājums ir aktuāls tieši lauku rajonos, kur attālumi ir lielāki nekā pilsētās.

Ļvovs A., Staltmanis A. Evaluation of substations` power supply reliability

In this article is examined a question of substations` power supply reliability. The formulas of calculation of the main parameters that are used to evaluate level of reliability are given at this work. The principle of probability of disabled state calculation depending on some objects` configuration is given at this work too. At the second part of the article the principles of determination of necessary reliability level are given. These principles are based on economical criteria and reliability level is determined by minimum costs. The ways of improving of reliability level by using automatics, bus sectioning and using more reliable network constructions are given at the second part too. At the third part of article the principles of determination of probability of disabled state for one middle voltage busbar and for two middle voltage busbars are given. At this part of article dependence of probability of disabled state of whole 110 kV substation of some factors as place of substations between main substations, substations` number connected in series (with probability of transit of power) and power supply lines` length is given too. First two factors are important for substations that are located in cities because of high level of density of substation. The third factor is important for rural areas.

Львов А., Сталтманис А. Оценка надёжности энергообеспечения подстанций

В данной статье коротко рассмотрена проблема надёжности электрообеспечения подстанций. Даны формулы для расчёта главных величин, таких как вероятность отказа, количество недоотданной электроэнергии, используемых при расчёте надёжности и объяснён принцип расчёта вероятности отказа в зависимости от расположения элементов. Во второй части работы дана методика выбора необходимого уровня надёжности за основу беря экономическую эффективность. Упомянуты такие методы повышения надёжности как секционирование шин, использование автоматики и создание более надёжных схем сетей. В третьей части работы дана методика расчёта вероятности отказа одной и двух шин одновременно. При расчёте вероятности одновременного отказа двух шин рассмотрено два варианта – отключение шин подключённых к одному трансформатору и к двум разным трансформаторам. Также рассмотрена зависимость надёжности 110 kV подстанции от таких факторов как расположение и число подстанций между узлами питания, а также от длины питающих линий, так как в городских условиях с большой плотностью подстанций проблема количества и расположения подстанций очень актуальна.