

SELECTION OF SCHEMES OF SWITCHGEARS FOR NEW 110kV SUBSTATIONS

JAUNU 110 kV APAKŠSTACIJU SADALIETAIŠU SHĒMU IZVĒLE

A. Staltmanis, A. L̄vovs

Atslēgas vārdi: elektroapgāde, drošums, atteice, darbnespējas varbūtība, sadalietaise

Ievads

Pilsētas elektrotīkls veidojas un attīstās kopā ar pilsētas attīstību. Nosakot pilsētas elektroapgādes sistēmas uzbūves un attīstības racionālus ceļus, jānosaka vispārējie tīkla uzbūves principi, apakšstaciju un barošanas avotu izvietojumu, ka arī atsevišķu sistēmas elementu uzbūves secību, jo tīkla haotiska izbūve rada problēmas jaunu apakšstaciju pieslēgšanai, kā arī var novest pie līdzekļu nelietderīgas izmantošanas. Līdz ar to liela loma elektrotīkla attīstībā ir elektrotīkla shēmas attīstības koncepcijas pamatprincipu izstrādei. Veidojot pilsētas elektroapgādes shēmu jāņem vērā arī iespējamo jaudu plūsma dažādos darba režīmos. Izvēloties shēmas uzbūves principus jācenšas izveidot tādu shēma, kas spēs apgādāt patērētājus arī nākotnē – pie pieaugoša elektroenerģijas patēriņa, neprasot tās kardinālu pārbūvi. Pie tam jāņem vērā arī tas, ka pilsētas elektroapgādes shēma ir valsts energosistēmas daļa un to ietekmē arī valsts elektrotīkla attīstība. Elektroapgādes rezervēšanas un drošuma jautājums ar katru gadu kļūst arvien aktuālāks jo cilvēku dzīve, it īpaši attīstītajās valstīs, lielā mērā ir atkarīga no elektroenerģijas. Veicot elektrotīkla attīstības plānošanu, elektroapgādes drošuma jautājumiem ir svarīga loma lēmumu pieņemšanā. Mūsdienās elektroapgādes pārtraukumi bieži vien rada ekonomiskus zaudējumus un elektroapgādes kompānijām jāērķinās ar zaudējumiem, ko var izraisīt energoapgādes pārtraukumi.

Rakstā ir aplūkots drošuma jēdziens un ar to saistīto lielumu aprēķini. Darbā dots 110kV apakšstaciju raksturīgāko sadalņu darbnespējas varbūtības aprēķins.

Dažu ārvalstu pilsētu elektroapgādes shēmu apskats

Veicot vairāku Eiropas pilsētu (Helsinki, Tallina, Viļņa, Stokholma, Berlīne, Maskava)

elektroapgādes shēmu apskatu var secināt, ka pārsvarā pilsētu elektroapgādes tīkls ir izveidots kā cilpa ar diagonālēm starp apakšstacijām, ka arī ir sastopami augstsprieguma līniju dziļie ievadi pilsētu centra rajonos. Helsinkos, Tallinā un Viļņā tranzīta apakšstacijas savienotas savā starpā ar divām līnijām (izveidots divķēžu loks). Divķēžu līniju izveide šajās pilsētās saistīta ar elektroapgādes drošuma līmeņa paaugstināšanas nepieciešamību, jo apkārt pilsētai nav izveidots augstsprieguma (lielāka par 110 kV) loks. Pārējās pilsētās virs 110 kV loka tiek izveidots augstāka sprieguma loks, bet Maskavā pat divi loki. Elektroapgādes tīkli ir izpildīti gan ar gaisvadu, gan ar kabeļlīnijām, tomēr veicot elektrotīkla rekonstrukciju gaisvadu līnijas pilsētas centrā cenšas aizstāt ar kabeļlīnijām. Trīs transformatoru apakšstacijas ir retums, bet ja apakšstacijās tiek uzstādīts trešais transformators, tad tas tiek turēts rezervē. Izņēmums ir Berlīnes Austrumu 110/10 kV apakšstacijas, kur ir uzstādīti 4 transformatori. Apskatot ārvalstu pilsētu elektroapgādes shēmas var secināt, ka 110 kV apakšstacijās tiek pielietotas dažāda veida sadalņu shēmas – kā vienkopņu sekcionētas ar atdalītājiem vai sekcijlēdzi starp sekcijām, tā arī divkopņu shēmas. Ņemot vērā iepriekš minēto, darbā ir aplūkotas dažāda veida sadalņu shēmas un aprēķināta to darbnespējas varbūtība.

Drošums un drošuma parametri

Drošums (dependability, 191.02.03) - apkopjošs termins, ko lieto, lai aprakstītu darbġatavību un to ietekmējošus faktoros: bezatteicību, apkalpojāmību, apkalpes nodrošinātību (Piezīme: drošumu lieto tikai vispārīgai nekvantitatīvu terminu aprakstīšanai) [1]. Patērētāju elektroapgādes drošums ir atkarīgs no atsevišķu energosistēmas elementu drošuma, ka arī no tīkla uzbūves struktūras. Elektroapgādes pārtraukumu skaits un ilgums ir atkarīgs arī no iekārtu

darbības uzturēšanas pasākumiem. Bojājumu likvidācijas laiks ir atkarīgs no dežūrējošo un remonta brigāžu darbu organizācijas. Iekārtas drošumu nosaka šīs iekārtas atteižu skaits kādā laika periodā (iekārtas atteižu matemātiskā cerība λ), parasti gada laikā, un to novēršanas ilgums (remonta laiks T_{rem}). Piemēram, kabelīnijām vai gaisvadu līnijām ar λ apzīmē vidējo atteižu skaitu gadā uz 100 km līnijas. λ elementam izrēķina pēc formulas (1) [2].

$$\lambda = \frac{m}{n \cdot t} \quad (1)$$

kur m – n elementu atteižu skaits t gados;
 n – aplūkoto elementu skaits.

Zinot λ un T_{rem} ir iespējams izrēķināt darbības stāvokļa ilgumu T_{dn} (izrēķina pēc formulas (2)) un darbības stāvokļa varbūtību χ (izrēķina pēc formulas (3)).

$$T_{dn} = \lambda \cdot T_{rem} \quad (2)$$

$$\chi = \frac{T_{rem} \cdot \lambda}{8760} \quad (3)$$

Runājot par energosistēmas drošumu, parasti normē kopējo patērētājiem nenodoto elektroenerģijas daudzumu, kas izteikts procentos no kopējā nodotās enerģijas daudzuma par apskatāmo laika periodu, vai drošuma indeksu ko izrēķina pēc formulas (4).

$$N = \frac{W - W_N}{W} \quad (4)$$

kur W – enerģijas daudzums, kas nepieciešams patērētājiem apskatāmā perioda laikā;

W_N – apskatāmā laika periodā nepiegādātās enerģijas matemātiskā cerība.

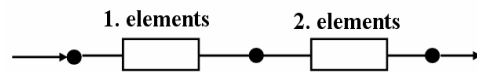
Gadījumā ja divi (vai vairāki) elementi ir savienoti savā starpā, tad šāda elementu ķēdes atteižu matemātisko cerību izrēķina pēc formulām (5) un (7), bet darbības varbūtību izrēķina pēc formulām (6) un (8) atkarībā no elementu savstarpējā izvietojuma [3].

Virknē saslēgtiem elementiem (visai ķēdei) (1.att.) atteižu plūsmas parametrs ir vienāds ar:

$$\lambda_v = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (5)$$

kur λ_1 - atteižu plūsmas parametrs 1. tīkla elementam;

λ_2 - atteižu plūsmas parametrs 2. tīkla elementam.



1.att. Elementu virknes slēgums
Fig.1. Series connection of elements

Darbības stāvokļa varbūtība diviem virknē slēgtiem elementiem (visai ķēdei):

$$\chi_v = \chi_1 + \chi_2 \quad (6)$$

kur χ_1 - piespiedu darbības stāvokļa varbūtība pirmajam tīkla elementam;

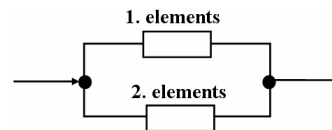
χ_2 - piespiedu darbības stāvokļa varbūtība otrajam tīkla elementam.

Paralēli saslēgtiem elementiem (visai ķēdei) (2.att.) atteižu plūsmas parametrs ir vienāds ar:

$$\lambda_p = \lambda_1 \cdot \chi_2 + \lambda_2 \cdot \chi_1 \quad (7)$$

kur $\lambda_1 \cdot \chi_2$ - atteižu plūsmas parametrs 1. tīkla elementam;

$\lambda_2 \cdot \chi_1$ - atteižu plūsmas parametrs 2. tīkla elementam.



2.att. Elementu paralēlais slēgums
Fig.2. Parallel connection of elements

Darbības stāvokļa varbūtība diviem paralēli slēgtiem elementiem (visai ķēdei):

$$\chi_p = \chi_1 \cdot \chi_2 \quad (8)$$

kur χ_1 - piespiedu darbības stāvokļa varbūtība pirmajam tīkla elementam;

χ_2 - piespiedu darbības stāvokļa varbūtība otrajam tīkla elementam.

110kV apakšstaciju sadalņu shēmu elektroapgādes drošuma salīdzinošs aprēķins

Jo tuvāk barošanas centram atrodas apskatāmais objekts, jo lielāku iespaidu tas var atstāt uz patērētāju elektroapgādes drošumu. No šī viedokļa liela loma ir augstsprieguma apakšstacijām, kas ir bieži sastopamas mūsdienu pilsētās. Lai aprēķinātu visas apakšstacijas nodzišanas varbūtību (no 110 kV puses) dažādām shēmām, tiks izmantoti sekojoši pieņēmumi:

- operatīvos pārslēgumus veic 1 stundas laikā

$$\chi = \frac{1 * \sum \lambda}{8760};$$

- vienu defektu novērš 12 stundu laikā

$$\chi = \frac{12 * \sum \lambda}{8760};$$

- vienu reizi gadā uz 8 stundām 110kV transformators ir izvests remontā;
- vienu reizi 25 gados uz divām nedēļām 110kV transformators ir izvests remontā (kap. remonts);
- vienu reizi 4 gados uz 16 stundām tiek izvests remontā 110kV līnija un 110kV pievienojums;
- atteiču plūsmas parametri λ (vidējais elementa bojājumu skaits gadā) dažādiem elementiem tiek ņemti no Latvijas Zinātņu akadēmijas, Fizikālās enerģētikas institūta, Energosistēmu matemātiskās modelēšanas laboratorijā izstrādātās un AS „Latvenergo” pielietotās datorprogrammas LDM-AD’04 datu bāzes;
- visas 110 kV līnijas ir kabeļu (skat. 2.tabulu) vai gaisvadu (skat.3.tabulu) izpildījumā, 50 km garas;
- visās apakšstacijās uzstādītas vienādas iekārtas;
- tiek uzskatīts, ka starp barošanas centriem ir tikai apskatāma apakšstacija.

1. tabula

Atteiču plūsmas parametra λ vērtības no datorprogrammas LDM-AD’04
Failure rate λ values from computer software LDM-AD’04

Iekārta	Iekārtas tips	λ
Līnija	GVL (kebeļlīnijai) uz 100 km	8.6 (0.86)
Pārsprieguma novadītājs	PEXLIM R,Q,P,E	0.0036
Spriegummainis	TFND-110	0.01
Atdalītājs	HAC-EV	0.0026
Jaudas slēdzis	LTB420E2	0.04
Kopne	Latvenergo	0.01
Transformators	Summēti transformatora, mērmaiņa un pārsprieg. novad. parametri	0.024

Darbnespējas varbūtības aprēķins 3. attēlā dotajai shēmai.

$$\begin{aligned} \chi_1 = & \frac{12 * 12}{8760 * 8760} * [(\lambda_{L1} + \lambda_{P1} + \lambda_{SP11} + \lambda_{A11} + \lambda_{J1} + \\ & + \lambda_{A12} + \lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{A13} + \lambda_{M11} + \lambda_{JT1} + \lambda_{T1}) * (\lambda_{L2} + \lambda_{P2} + \\ & + \lambda_{SP21} + \lambda_{A21} + \lambda_{J2} + \lambda_{A22} + \lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{A23} + \lambda_{M12} + \lambda_{JT2} + \\ & + \lambda_{T2})] + \{1\} \\ & + \frac{1}{8760} * [(\lambda_{J1} + \lambda_{A12} + \lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{A13} + \lambda_{JT1} + \lambda_{M11} + \\ & + \lambda_{M12} + \lambda_{J2} + \lambda_{A22} + \lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{A23} + \lambda_{JT2}) + \\ & + (\frac{12 * 12}{8760 * 8760} * (\lambda_{T1} * \lambda_{JT1 \text{ nenostr.}}))] + \\ & + (\frac{12 * 12}{8760 * 8760} * (\lambda_{T2} * \lambda_{JT2 \text{ nenostr.}}))] + \\ & + (\frac{12 * 12}{8760 * 8760} * (\lambda_{L1} + \lambda_{P1} + \lambda_{SP11} + \lambda_{A11}) * \lambda_{J1 \text{ nenostr.}})] + \\ & + (\frac{12 * 12}{8760 * 8760} * (\lambda_{L2} + \lambda_{P2} + \lambda_{SP21} + \lambda_{A21}) * \\ & * \lambda_{J2 \text{ nenostr.}})] + \{2\} \\ & + (\chi_{L1 \text{ rem.}} + \chi_{L1 \text{ pievien. rem.}}) * \frac{12}{8760} * [(\lambda_{L2} + \lambda_{P2} + \lambda_{SP21} + \\ & + \lambda_{A21} + \lambda_{J2} + \lambda_{A22} + \lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{A23} + \lambda_{M12})] + \{3\} \\ & + \chi_{K1 \text{ rem.}} * \frac{12}{8760} * [(\lambda_{L2} + \lambda_{P2} + \lambda_{SP21} + \lambda_{A21} + \lambda_{J2} + \\ & + \lambda_{A22} + \lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{A23} + \lambda_{M12} + \lambda_{JT2} + \lambda_{T2})] + \{4\} \\ & + \chi_{T1 \text{ rem.}} * \frac{12}{8760} * [(\lambda_{A22} + \lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{A23} + \lambda_{M12} + \\ & + \lambda_{JT2} + \lambda_{T2})] + \{5\} \\ & + (\chi_{L2 \text{ rem.}} + \chi_{L2 \text{ pievien. rem.}}) * \frac{12}{8760} * [(\lambda_{L1} + \lambda_{P1} + \lambda_{SP11} + \\ & + \lambda_{A11} + \lambda_{J1} + \lambda_{A12} + \lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{A13} + \lambda_{M11})] + \{6\} \\ & + \chi_{K2 \text{ rem.}} * \frac{12}{8760} * [(\lambda_{L1} + \lambda_{P1} + \lambda_{SP11} + \lambda_{A11} + \lambda_{J1} + \\ & + \lambda_{A12} + \lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{A13} + \lambda_{M11} + \lambda_{JT1} + \lambda_{T1})] + \{7\} \\ & + \chi_{T2 \text{ rem.}} * \frac{12}{8760} * [(\lambda_{A12} + \lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{A13} + \lambda_{M11} + \\ & + \lambda_{JT1} + \lambda_{T1})] \{8\} \end{aligned} \quad (9)$$

kur {1 8} raksturo dažādas 3.attēlā dotās apakšstacijas pilnīgas nodzišanas varbūtības

- {1} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā divu atsevišķu elementu bojājumiem, nepieciešama vismaz viena elementa pilnīga darbnespējas atjaunošana;
- {2} - raksturo atsevišķa elementa bojājuma vai vienlaicīgu divu atsevišķu elementu bojājumu izraisītu darbnespējas varbūtību, kuras novēršanai nepieciešams veikt operatīvos pārslēgumus;
- {3} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā līnijas L1 vai tās pievienojuma remontam ar cita elementa bojājumu;
- {4} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā kopnes K1 remontam ar cita elementa bojājumu;

- {5} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā transformatora T1 remontam ar cita elementa bojājumu;
- {6} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā līnijas L2 vai tās pievienojuma remontam ar cita elementa bojājumu;
- {7} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā kopnes K2 remontam ar cita elementa bojājumu;
- {8} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā transformatora T2 remontam ar cita elementa bojājumu.

Darbnespējas varbūtības aprēķins 4. attēlā dotajai shēmai.

$$\begin{aligned} \chi_2 = & \frac{12*12}{8760*8760} * [(\lambda_{L1} + \lambda_{P1} + \lambda_{SP11} + \lambda_{AI11} + \lambda_{J1} + \\ & + \lambda_{AI12} + \lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{AI13} + \lambda_{M11} + \lambda_{JT1} + \lambda_{T1}) * (\lambda_{L2} + \lambda_{P2} + \\ & + \lambda_{SP21} + \lambda_{AI21} + \lambda_{J2} + \lambda_{AI22} + \lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{AI23} + \lambda_{M12} + \lambda_{JT2} \\ & + \lambda_{T2})] + \{1\} \\ & + \frac{1}{8760} * [\lambda_{M1} + (\frac{12*12}{8760*8760} * \lambda_{M1 \text{ nenostr.}} * (\lambda_{J1} + \\ & + \lambda_{AI12} + \lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{AI13} + \lambda_{JT1} + \lambda_{M11} + \lambda_{M12} + \lambda_{J2} + \lambda_{AI22} + \\ & + \lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{AI23} + \lambda_{JT2}))] + \{2\} \\ & + (\chi_{L1rem.} + \chi_{L1pievien.rem.}) * \frac{12}{8760} * (\lambda_{L2} + \lambda_{P2} + \lambda_{SP21} + \\ & + \lambda_{AI21} + \lambda_{J2} + \lambda_{AI22} + \lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{AI23} + \lambda_{M12}) + \{3\} \\ & + \chi_{K1rem.} * \frac{12}{8760} * (\lambda_{L2} + \lambda_{P2} + \lambda_{SP21} + \lambda_{AI21} + \\ & + \lambda_{J2} + \lambda_{AI22} + \lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{AI23} + \lambda_{M12} + \lambda_{JT2} + \lambda_{T2}) + \{4\} \\ & + \chi_{T1rem.} * \frac{12}{8760} * (\lambda_{AI22} + \lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{AI23} + \lambda_{M12} + \\ & + \lambda_{JT2} + \lambda_{T2}) + \{5\} \\ & + (\chi_{L2rem.} + \chi_{L2pievien.rem.}) * \frac{12}{8760} * (\lambda_{L1} + \lambda_{P1} + \lambda_{SP11} + \\ & + \lambda_{AI11} + \lambda_{J1} + \lambda_{AI12} + \lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{AI13} + \lambda_{M11}) + \{6\} \\ & + \chi_{K2rem.} * \frac{12}{8760} * (\lambda_{L1} + \lambda_{P1} + \lambda_{SP11} + \lambda_{AI11} + \lambda_{J1} + \\ & + \lambda_{AI12} + \lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{AI13} + \lambda_{M11} + \lambda_{JT1} + \lambda_{T1}) + \{7\} \\ & + \chi_{T2rem.} * \frac{12}{8760} * (\lambda_{AI12} + \lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{AI13} + \lambda_{M11} + \\ & + \lambda_{JT1} + \lambda_{T1}) \{8\} \end{aligned} \quad (10)$$

kur {1} {8} raksturo dažādas 4.attēlā dotās apakšstacijas pilnīgas nodzišanas varbūtības (skat. formulas (9) atšifrējumus).

Darbnespējas varbūtības aprēķins 5. attēlā dotajai shēmai.

Lai vienkāršotu aprēķinu, formulā (11) netiek parādīti elementi, kas praktiski neietekmē aprēķina rezultātu, jo skaitliski vairāk kā par 3 pakāpēm atšķiras no citu elementu vērtībām, tas

ir, vienlaicīga bojājumu varbūtība visās četrās līnijās vai to pievienojumos, sekcijslēdža M1 nenostrāde vienlaicīgi ar bojājumu uz kopnēm un vienas līnijas vai līnijas pievienojuma remonts vienlaicīgi ar bojājumu pārējās trīs līnijās.

$$\begin{aligned} \chi_3 = & \frac{12*12}{8760*8760} * [(\lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{M11} + \lambda_{AI22} + \lambda_{AI12} + \\ & + \lambda_{AI13}) * (\lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{M12} + \lambda_{AI32} + \lambda_{AI42} + \lambda_{AI23})] + \{1\} \\ & + \frac{1}{8760} * \lambda_{M1} + \{2\} \\ & + \chi_{K1rem.} * [\frac{12*12}{8760*8760} * (\lambda_{L3} + \lambda_{P3} + \lambda_{SP31} + \lambda_{AI31} + \lambda_{J3}) * \\ & * (\lambda_{L4} + \lambda_{P4} + \lambda_{SP41} + \lambda_{AI41} + \lambda_{J4}) + \frac{12}{8760} * (\lambda_{AI32} + \\ & + \lambda_{AI42} + \lambda_{M12} + \lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{T2} + \lambda_{JT2})] + \{3\} \\ & + \chi_{T1rem.} * \frac{12}{8760} * \\ & (\lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{AI23} + \lambda_{AI32} + \lambda_{AI42} + \lambda_{M12} + \lambda_{JT2} + \lambda_{T2}) + \{4\} \\ & + \chi_{K2rem.} * [\frac{12*12}{8760*8760} * (\lambda_{L1} + \lambda_{P1} + \lambda_{SP11} + \lambda_{AI11} + \lambda_{J1}) * \\ & * (\lambda_{L2} + \lambda_{P2} + \lambda_{SP21} + \lambda_{AI21} + \lambda_{J2}) + \frac{12}{8760} * (\lambda_{AI12} + \lambda_{AI13} + \\ & + \lambda_{JT1} + \lambda_{AI22} + \lambda_{M11} + \lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{T1})] + \{5\} \\ & + \chi_{T2rem.} * \frac{12}{8760} * (\lambda_{AI12} + \lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{AI13} + \lambda_{M11} + \\ & + \lambda_{JT1} + \lambda_{T1} + \lambda_{AI22}) \{6\} \end{aligned} \quad (11)$$

kur {1} {6} raksturo dažādas 5.attēlā dotās apakšstacijas pilnīgas nodzišanas varbūtības

- {1} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā divu atsevišķu elementu bojājumiem, nepieciešama vismaz viena elementa pilnīga darbnespējas atjaunošana;
- {2} - darbnespējas varbūtība sekcijslēdža M1 bojājuma gadījumā;
- {3} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā kopnes K1 remontam ar cita elementa bojājumu;
- {4} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā transformatora T1 remontam ar cita elementa bojājumu;
- {5} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā kopnes K2 remontam ar cita elementa bojājumu;
- {6} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā transformatora T2 remontam ar cita elementa bojājumu.

Darbnespējas varbūtības aprēķins 6. attēlā dotajai shēmai.

Sekojošajā vienādojumā netiek parādīti elementi, kas praktiski neietekmē aprēķina rezultātu, jo

skaitliski vairāk kā par 3 pakāpēm atšķiras no citu elementu vērtībām. Faktiski apakšstacijas ar šādu 110 kV shēmu drošums ir atkarīgs no kopnes un tai tieši pieslēgto elementu drošuma, kā arī no kopnes un transformatoru remonta stāvokļa ilguma. Lai šis aprēķins būtu salīdzināms ar iepriekšējiem aprēķiniem, tad tas veikts shēmai ar diviem 110 kV transformatoriem, bet bieži vien šādu shēmu izmanto, ja nepieciešami trīs 110 kV transformatori, kas vēl vairāk samazina visas apakšstacijas darbnespējas varbūtību.

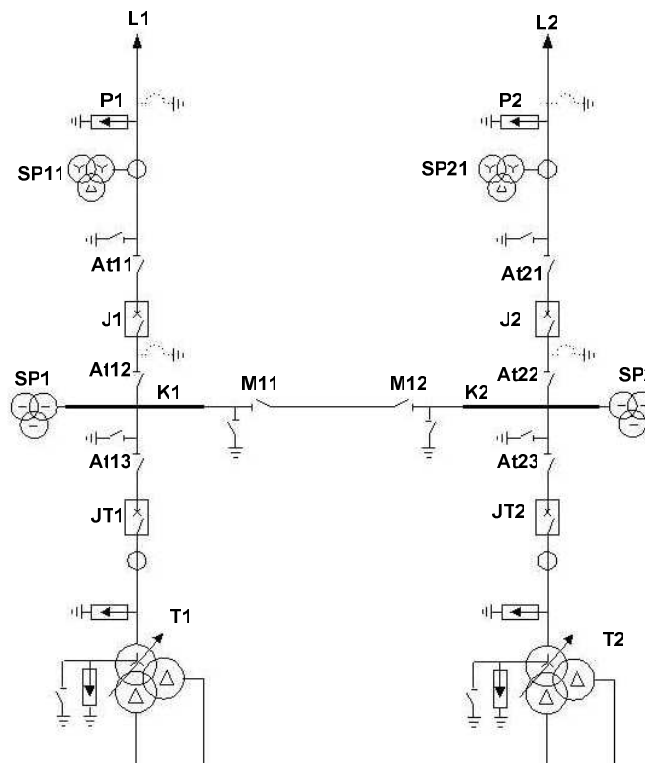
$$\chi_4 = \frac{12 * 12}{8760 * 8760} * (\lambda_{SP1} + \lambda_{K1} + \lambda_{M11} + \lambda_{A11} + \lambda_{A12} + \lambda_{A13} + \lambda_{A14} + \lambda_{A1T1} + \lambda_{A1T2} + \lambda_{JT1} + \lambda_{T1}) * (\lambda_{SP2} + \lambda_{K2} + \lambda_{M12} + \lambda_{A12} + \lambda_{A122} + \lambda_{A132} + \lambda_{A142} + \lambda_{A1T22} + \lambda_{A1T12} + \lambda_{JT2} + \lambda_{T2}) + \{1\} + \frac{1}{8760} * \lambda_{M1} + \{2\} + \chi_{K1rem.} * \frac{12}{8760} * (\lambda_{K2} + \lambda_{SP2} + \lambda_{A12} + \lambda_{A122} + \lambda_{A132} + \lambda_{A142} + \lambda_{A1T12} + \lambda_{A1T22}) + \{3\} + \chi_{T1rem.} * \frac{12}{8760} * (\lambda_{A1T21} + \lambda_{A1T22} + \lambda_{JT2} + \lambda_{T2}) + \{4\}$$

$$+ \chi_{K2rem.} * \frac{12}{8760} * (\lambda_{K1} + \lambda_{SP1} + \lambda_{A11} + \lambda_{A12} + \lambda_{A13} + \lambda_{A14} + \lambda_{A1T1} + \lambda_{A1T21}) + \{5\} + \chi_{T2rem.} * \frac{12}{8760} * (\lambda_{A1T11} + \lambda_{A1T12} + \lambda_{JT1} + \lambda_{T1}) + \{6\} \quad (12)$$

kur {1} {6} raksturo dažādas 6.attēlā dotās apakšstacijas pilnīgas nodzišanas varbūtības

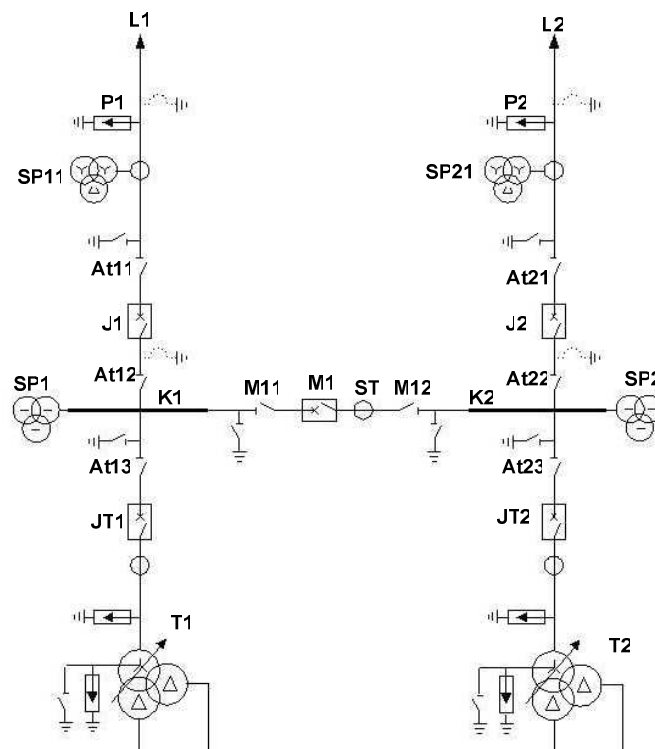
- {1} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā divu atsevišķu elementu bojājumiem, nepieciešama vismaz viena elementa pilnīga darbnespējas atjaunošana;
- {2} - darbnespējas varbūtība sajūgslēdža M1 bojājuma gadījumā;
- {3} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā kopnes K1 remontam ar cita elementa bojājumu;
- {4} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā transformatora T1 remontam ar cita elementa bojājumu;
- {5} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā kopnes K2 remontam ar cita elementa bojājumu;
- {6} - raksturo darbnespējas varbūtību sakrītot laikā transformatora T2 remontam ar cita elementa bojājumu.

Aprēķinu rezultāti tiek apkopoti 2. un 3. tabulās.



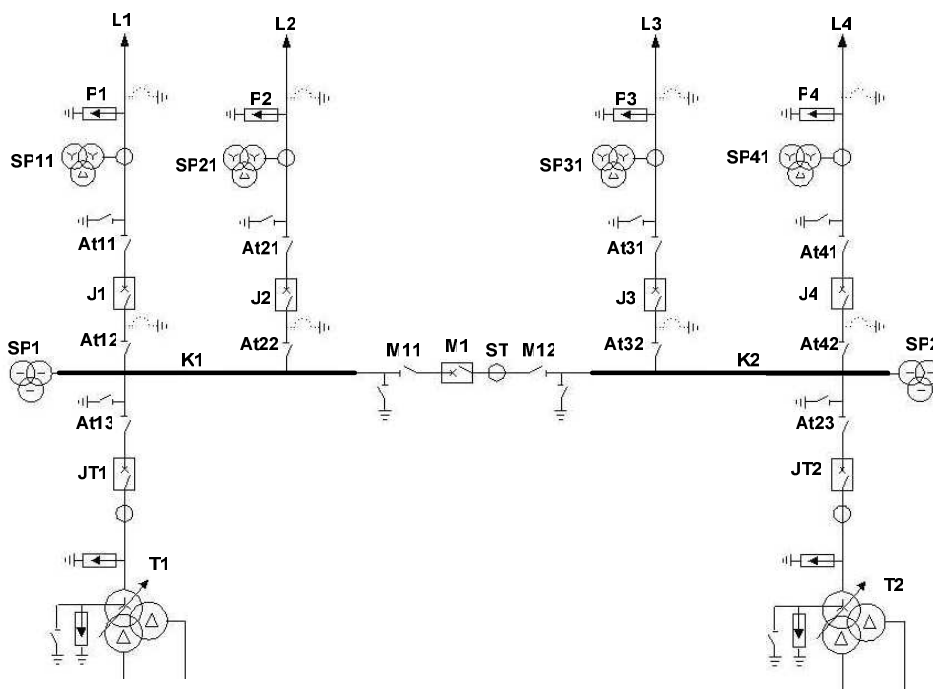
3.att. Apakšstacija ar vienu sekcionētu kopni bez sekcijslēdža (divas 110kV līnijas)

Fig.3. Substation with one busbar (two sections) without switched busbar circuit-breaker (two 110kV lines)



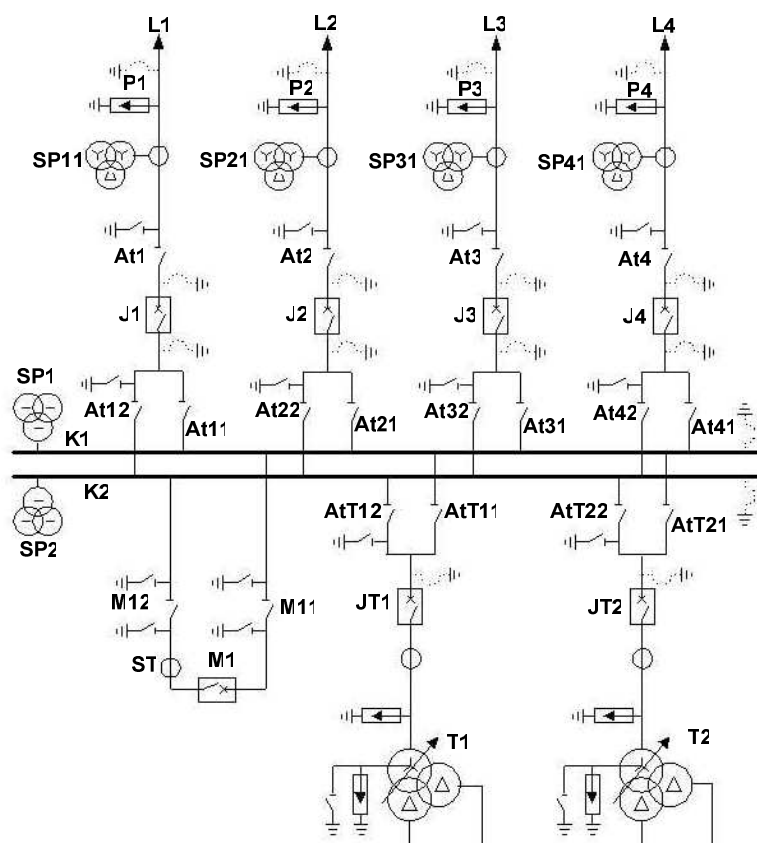
4.att. Apakšstacija ar vienu sekcionētu kopni un sekcijslēdži (divas 110kV līnijas)

Fig.4. Substation with one busbar (two sections) with switched busbar circuit-breaker (two 110kV lines)



5.att. Apakšstacija ar vienu sekcionētu kopni un sekcijslēdži (četras 110kV līnijas)

Fig.5. Substation with one busbar (two sections) with switched busbar circuit-breaker (four 110kV lines)



6.att. Apakšstacija ar divām kopnēm un sajūgslēdži (četras 110kV līnijas)

Fig.6. Substation with two busbars and bus coupler circuit-breaker (four 110kV lines)

2. tabula

Aprēķinu rezultātu apkopojums (visas līnijas kabeļu izpildījumā)

Summary of results (all electric lines ar cable lines)

Shēmas numurs (atbilstoši attēla numuram)	Darbnespējas stāvokļa varbūtība, χ	Darbnespējas stāvokļa varbūtība, R	Darbnespējas stāvokļa ilgums, min./gadā
3	$2,786 \cdot 10^{-5}$	0,9999721	14,65
4	$7,818 \cdot 10^{-6}$	0,9999922	4,11
5	$5,316 \cdot 10^{-6}$	0,9999947	2,79
6	$5,092 \cdot 10^{-6}$	0,9999949	2,68

3. tabula

Aprēķinu rezultātu apkopojums (visas līnijas gaisvadu izpildījumā)

Summary of results (all electric lines ar overhead lines)

Shēmas numurs (atbilstoši attēla numuram)	Darbnespējas stāvokļa varbūtība, χ	Darbnespējas stāvokļa varbūtība, R	Darbnespējas stāvokļa ilgums, min./gadā
3	$7,889 \cdot 10^{-5}$	0,9999211	41,46
4	$5,884 \cdot 10^{-5}$	0,9999412	30,93
5	$5,348 \cdot 10^{-6}$	0,9999947	2,81
6	$5,092 \cdot 10^{-6}$	0,9999949	2,68

Mūsdienās arvien lielāku popularitāti iegūst GIS (Gas Insulated Switchgear) sadalietais. Viens no šādu sadalietaišu plusiem ir to kompaktie izmēri, kas ir īpaši svarīgs pilsētās, kur zemes cena ir augsta vai nav pieejami lieli zemes gabali, jo visas iekārtas šajā gadījumā tiek novietotas elegāzes (SF₆) izolējošā vidē. GIS sadalietais tiek ražotas moduļu veidā, kuros ir ietvertas visas nepieciešamas iekārtas – atdalītāji, zemētāji, jaudas slēdži, mērmaiņi u.c. Pilnīgi nokomplektētu moduļu ražošana ļauj veikt to pārbaudi rūpnīcā, kas dod iespēju ātrāk novērst ražošanas defektus, ja tādi ir atklājušies. Parasti ražotājiem ir gatavi risinājumi vairākiem moduļu izpildījumiem, piemēram, pielietošanai apakšstacijās ar vienkopņu vai divkopņu sistēmām. Visi moduļi tiek savienoti savā starpā ar standarta savienojumu kas būtiski atvieglo un paātrina montāžu. Pēc ražotāju apgalvojumiem, piemēram, Siemens sadalietaisēm, praktiski nav nepieciešama apkalpošana, jo pirmā pārbaude tām ir paredzēta pēc 25 gadiem. Tā kā visas iekārtas šāda veida sadalietaisēs atrodas elegāzes izolācijas vidē, kā arī tiek norobežotas no apkārtējās vides ar metāla korpusu, drošuma rādītājiem jābūt labākiem salīdzinājumā ar parastajām sadalietaisēm. Diemžēl informācijas par šādu sadalietaišu drošuma parametriem praktiski nav un līdz ar to nav iespējams veikt drošuma aprēķinus šāda tipa iekārtām.

Secinājumi

Izvērtējot veikto aprēķinu rezultātus, varam secināt, ka, kā jau tika prognozēts, visdrošākā 110 kV apakšstacijas shēma ir shēma ar divām kopnēm un sajūgslēdži, bet relatīvi visnedrošākā ir shēma ar vienu sekcionētu kopni bez sekcijslēdža.

Kā redzams 2. tabulā, ja tīkls izbūvēts kabeļlīniju izpildījumā, tad visām shēmām ar jaudas slēdži starp sekcijām (kopnēm) darbnespējas stāvokļa varbūtība skaitliski ir ļoti tuva (līdzīga), un darbnespējas stāvokļa ilgums (gadā) ir 3.5 līdz 5.3 reizes mazāks nekā shēmai bez jaudas slēdža starp 110 kV sekcijām. Līdz ar to veicot jaunu 110 kV apakšstaciju izbūvi pilsētās, kur paredzama liela uzstādītā jauda, būtu rekomendējams izvēlēties uzstādīt jaudas slēdži starp sekcijām. Ja apakšstacija paredzēta lauku tīklā, kur 110 kV tīkls izbūvēts gaisvadu izpildījumā, kā redzams 3. tabulā, tad jaudas slēdža nozīmība vairs nav tik liela, tāpēc būtu pieļaujama arī vienkāršākas 110 kV shēmas izvēle. Apakšstacijās ar mazu uzstādīto jaudu

(piem. 6,3 MVA) un bez nozīmīgiem Lietotājiem no elektroapgādes drošuma viedokļa, līdzekļu ekonomijas nolūkā, būtu jāizskata iespēja izbūvēt vienkāršotu 110 kV apakšstaciju (ar vienu 110 kV transformatoru un vienu 110 kV līniju), pirms tam veicot šādas apakšstacijas darbnespējas varbūtības aprēķinus un iespējamo zaudējumu izvērtējumu.

Veiktais aprēķins parādīja, ka apakšstacijai pieslēgto līniju skaits, ja tas ir lielāks par 2, būtiski nemaina shēmas drošumu (skat. aprēķina rezultātus shēmai 4.attēlā un 5.attēlā 2.tabulā), ja tīkls izbūvēts kabeļlīniju izpildījumā, taču ļoti būtiska ir atšķirība starp šīm divām shēmām, ja tīkls izbūvēts gaisvadu izpildījumā (skat. aprēķina rezultātus shēmai 4.attēlā un 5.attēlā 3.tabulā).

Tā kā apskatītajos piemēros ar četrām pievienotajām 110 kV līnijām divkopņu sekcionētas shēmas (6.att.) drošuma parametri ir ļoti tuvi vienkopņu sekcionētas shēmas (5.att.) drošuma parametriem, neskatoties uz to, vai līnijas ir kabeļu vai gaisvadu izpildījumā, tad šādu shēmu, kas pie izbūves izmaksā ievērojami dārgāk, būtu lietderīgi izmantot 110 kV mezglu apakšstacijās (110 kV sadales punktos), kur ir liels pievienoto 110 kV līniju skaits un 330/110 kV apakšstacijās, jo 6.att. redzamā shēmā ir lielākas dažādu darba režīmu variācijas iespējas, kā arī ir vieglāk veikt pārslēgumus. Tāpat divkopņu sekcionētu shēmu ieteicams izmantot apakšstacijās ar trim vai vairāk 110/20-6 kV transformatoriem.

Analizējot iegūtos rezultātus, jāņem vērā, ka aprēķins veikts izmantojot datorprogrammas LDM-AD'04 datu bāzes bojājumu statistiku un jaunu informāciju par moderno sadaliekārtu, piemēram, GIS bojājumu un remontu nepieciešamības statistiku ražotājs nesniedz, bet vietējiem elektrotīkliem nav ilgstošas pieredzes šādu iekārtu ekspluatācijā, tad precīzāku aprēķinu veikšanai nepieciešams iegūt bojājumu statistiku no citu valstu elektrotīkliem, kur ilgāku laika periodu tiek ekspluatētas šādas iekārtas.

Literatūra

1. LVS IEC 50-191:1990 – starptautiskais standarts. „Drošums un pakalpojumu kvalitāte. Starptautiskā elektrotehnikas vārdnīca”;
2. Rozenkrons J., Guseva S., Ļovovs A. u.c Lielāko pilsētu 110kV elektrotīkla shēmas attīstības pamatprincipi. Atskaite. Rīga 2007. – 107 lpp;

3. Krišāns Z., Oļeinikova I. Elektroenerģētisko uzņēmumu vadības pamati – Rīga: RTU, 2007. – 158 lpp.



Armands Staltmanis,
Ma. sc. ing
Riga Technical University,
Faculty of Power and Electrical
engineering
Address: Kronvalda bulv. 1,
Riga, LV-1010, Latvija
e-mail:
armands.staltmanis@rtu.lv



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

Staltmanis A., Ļvovs A. Jaunu 110kV apakšstaciju sadalietaišu shēmu izvēle.

Attīstoties pilsētai jāattīstās arī elektrotīklam. Tīkla attīstībai jābūt pakļautai noteiktiem principiem, lai nākotnē būtu iespēja apmierināt elektroenerģijas pieprasījumu ar pēc iespējas mazākiem kapitālieguldījumiem. Lielās pilsētās augstsprieguma tīkls attīstās daudz maz līdzīgi – parasti ap pilsētu cenšas veidot augstsprieguma tīkla loku, vai pat vairākus lokus. Bez loka bieži vien ir sastopamas diagonāles starp mezglu apakšstacijām, kā arī augstsprieguma līniju dziļie ievadi pilsētas centra rajonos. Būvējot jaunas apakšstacijas vai veicot rekonstrukcijas, jācenšas izmantot optimālāko 110kV sadalietais shēmu, ņemot vērā kā tehniskos, tā arī ekonomiskos aspektus. Viena no prasībām ko izvirza elektrotīkliem ir elektroapgādes drošums. Kā zināms elektroapgādes drošums un kapitālieguldījumi ir cieši saistīti savā starpā. Prognozējot apakšstacijas slodzi un izrēķinot sadalietaišu darbnespējas varbūtības ir iespējams izvēlēties piemērotāku apakšstacijas shēmu. Šajā darbā ir izrēķinātas četru dažādu 110 kV apakšstaciju sadalietaišu shēmu darbnespējas varbūtības. Aprēķini pierādīja divkopņu shēmas augstāku drošuma līmeni salīdzinot ar citām apskatītajām sadalītu shēmām.

Staltmanis A., Ļvovs A. Selection of schemes of switchgears for new 110kV substation.

Electrical network of a city is developing gradually with city developing. Developing of electrical network

should be realized according to some principles in order to ensure the possibility to provide energy to customers with minimum cost in the future. High voltage grid structure of cities has some similarities – almost all high voltage grids of cities have ring structure, some of them have interconnections between main substations (also called diagonals) and radial lines from ring to the centre of city too. Technically and economically optimal scheme of switchgear should be used, when creating new substations or renovating existing ones. One of technical requirements to electrical grid is dependability (often term “reliability” is used instead of term “dependability”) of power supply. It is well known that capital investments and dependability depend on each other. If the load of new or renovated substation is known and are known the parameters of dependability for switchgears it is possible to choose the best switchgear type for substation. The parameters of dependability for some types of 110kV substations` switchgears are calculated at the work. The calculations approved higher level of dependability of two busbar switchgear comparing to other switchgears` schemes.

Сталтманис А., Львов А. Выбор схем распределительных устройств для новых 110кВ подстанций.

При развитии города развиваются и городские электросети. Развитие электросетей должно быть подчинено определённым принципам для того, чтобы в будущем была возможность обеспечить спрос на электроэнергию с, по возможности, наименьшими затратами. В развитии высоковольтных сетей больших городов встечаются некоторые общие признаки – создание высоковольтного кольца вокруг города, а также создание диагоналей между узловыми подстанциями и глубоких вводов высоковольтных линий в центральные районы города. Строя новые или реконструируя старые подстанции по возможности необходимо использовать оптимальную, как с технической, так и с экономической стороны, схему распределительного устройства 110кВ. Одним из требований, которых выдвигают к электросетям, является надёжность электроснабжения. Как известно, капиталовложения и надёжность тесно связаны между собой. Зная примерную мощность подстанции, а также посчитав вероятность неработоспособности схем распределительных устройств возможно выбрать подходящую схему подстанции. В данной работе посчитаны вероятности неработоспособности для четырех распределительных устройств 110кВ подстанций. Расчёты подтвердили более высокий уровень надёжности схемы с двумя шинами по сравнению с другими рассмотренными схемами.