Habent sua fata libelli

PREDGOVOR ZA PRVO IZDANJE

Ova zbirka rešenih zadataka je namenjena inženjerima elektrotehnike, koji su zaposleni u preduzećima za proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije. Za razumevanje zadataka iz zbirke, čije rešavanje ne zahteva duge i složene proračune, potrebno je znanje iz predmeta koji se izučavaju na redovnim studijama elektrotehničkih fakulteta, smer elektroenergetski sistemi.

Autor zahvaljuje recenzentima rukopisa zbirke za korisne primedbe, predloge i zapažanja. Rukopis je prekucao i slike brižljivo uradio Nikola Obradović, na čemu mu najsrdačnije zahvaljujem.

PREDGOVOR ZA ŠESTO IZDANJE

Šesto izdanje zbirke je znatno prošireno, struktura je poboljšana i ispravljene su primećene greške. Najsrdačnije se zahvaljujem recenzentima, kao i kolegama: mr Božidaru B. Radoviću, dr Vladimiru Stanojeviću, Stanku Jankoviću i mr Vladimiru Miliću na savetima i primedbama, koje su znatno smanjile nedostatke zbirke.

Jovan Štarklj

Beograd, 2015.

SADRŽAJ

		Broj zadatka
1.	Sinhroni generatori i stabilnost	1 – 28
2.	Kratki spojevi	29 – 49
3.	Vodovi za prenos električne energije	50 – 78
4.	Tokovi struja i snaga u delovima električnih mreža i gubici aktivne snage i energije	79 – 125
5.	Primarna regulacija učestanosti u elektroenergetskom sistemu (EES)	126 – 139
6.	Regulacija napona i reaktivne snage u električnim mrežama	140 – 160
7.	Upotreba električne energije	161 – 166
8.	Primena metoda iz teorije verovatnoće i matematičke statistike za rešavanje različitih zadataka iz oblasti EES	167 – 229
9.	Električna merenja i tehnika visokog napona	230 – 235
		Strana
10.	Prilog	381
11.	Literatura	423

Sinhroni generatori i stabilnost

1. Zadatak

Hidrogenerator u HE Zvornik ima sledeće parametre:

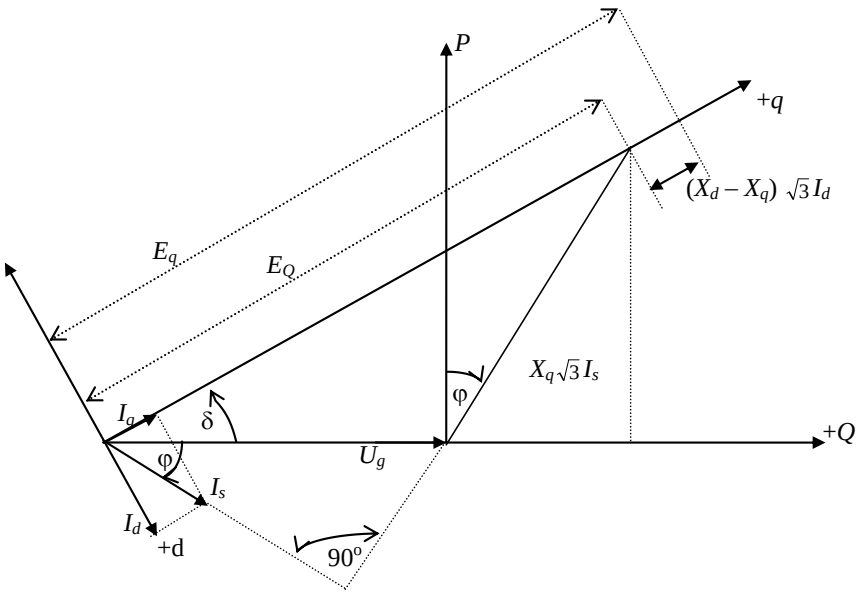
S_{ng} = 30 MVA; P_{ng} = 24 MW; Q_{ng} = 18 Mvar; $\cos\varphi_n$=0.8;

U_{ng} = 11 kV; $x_{d\%}$ = 147.5 %; $x_{q\%}$ = 77 %.

Ako je generator opterećen sa P=20 MW pri nominalnom naponu i nominalnoj pobudnoj struji, koliku reaktivnu snagu odaje u EES? Aktivna otpornost namotaja statora je zanemarena.

Rešenje:

Vektorski dijagram sinhronog generatora sa istaknutim polovima na rotoru, prikazan je na Sl. 1.1. Elektromotorna sila E_q u stacionarnom režimu je proporcionalna pobudnoj struji. I_s je struja statora (fazna vrednost), a I_d i I_q su komponente struje statora u d i q osi. E_Q je fiktivna elektromotorna sila iza reaktanse x_q. Sve naznačene elektromotorne sile su za $\sqrt{3}$ puta veće od njihovih faznih vrednosti. Radi toga su na vektorskom dijagramu proizvodi struja i reaktansi pomnoženi sa $\sqrt{3}$.

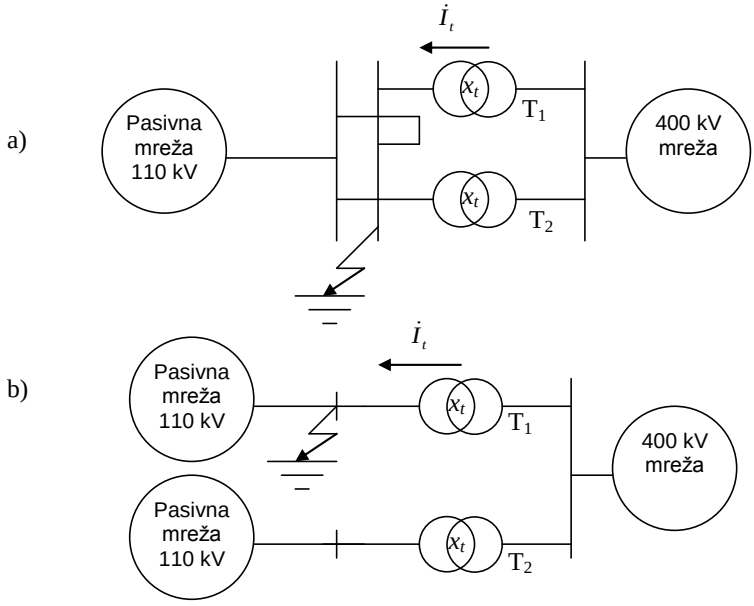


Sl. 1.1

Kratki spojevi

29. Zadatak

U kom od dva prikazana načina povezivanja identičnih transformatora na mrežama 400 i 110 kV je veća struja kvara koja protiče kroz transformator T_1 za vreme tropolnog kratkog spoja na sabirnicama, koje su naznačene na Sl. 29.1 a) i b). Transformatori T_1 i T_2 su jednakih parametara $(X_{t1} = X_{t2} = X_t)$, a impedanse pasivnih mreža 110 kV su po modulu mnogo veće od ekvivalentne reaktanse 400 kV mreže (X_{mr400}) svedene na stranu 110 kV mreže. Naponi na mestu kvara, neposredno pre nastanka kvara, bili su međusobno jednaki i iznosili su $U/\sqrt{3}$.

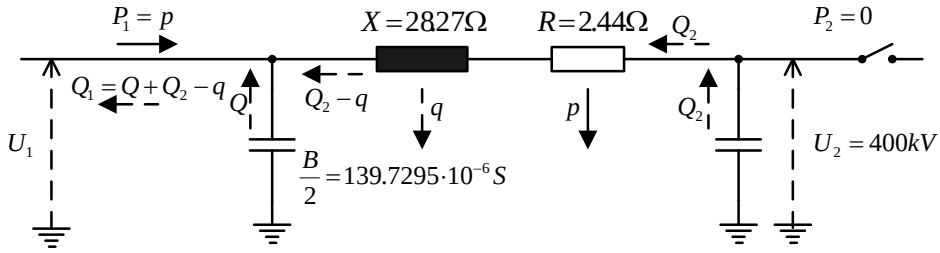


Sl. 29.1

Vodovi za prenos električne energije

50. Zadatak

Prenosni nadzemni vod nominalnog napona 400 kV sa dva provodnika po fazi AL/Če 490/65 mm^2/mm^2, dužine 80 km je u praznom hodu. Ako je napon na kraju neopterećenog dalekovoda U_2 = 400 kV, koliki je napon na početku voda i koliko iznose gubici aktivne i reaktivne snage u vodu. Na Sl. 50.1 je prikazana električna zamenska šema voda.



Sl. 50.1

Rešenje:

Reaktivna snaga na kraju dalekovoda je:

$$Q_2 = U_2^2 \frac{B}{2} = 400^2 \cdot 139.7295 \cdot 10^{-6} = 22.35672 \text{ Mvar} \tag{50.1}$$

Napon na početku voda je:

$$\dot{U}_1 = U_2 - \frac{Q_2 X}{U_2} + j\frac{Q_2 R}{U_2} = \left(400 - 1.58 + j0.136376\right)\text{kV} \tag{50.2}$$

$$\dot{U}_1 = 398.42 \angle 0.0196^{\circ} \text{ kV}$$

Gubici aktivne snage u vodu:

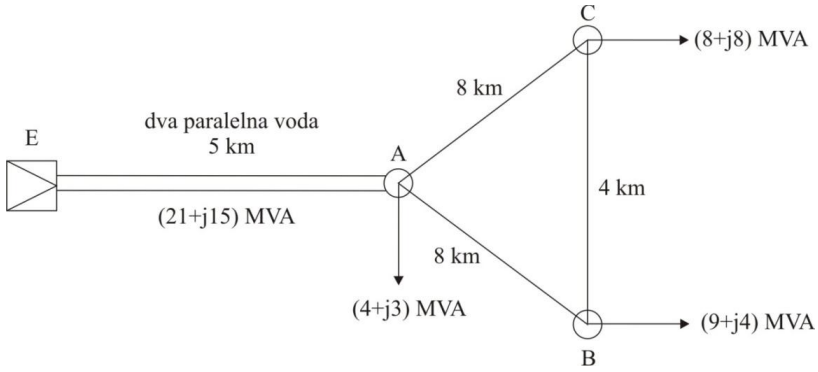
$$p = R\frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} = 2.44 \cdot \frac{0 + 22.35672^2}{400^2} = 0.0076223 \text{ MW} \tag{50.3}$$

Gubici reaktivne snage u vodu:

Tokovi struja i snaga u delovima električnih mreža i gubici aktivne snage i energije

79. Zadatak

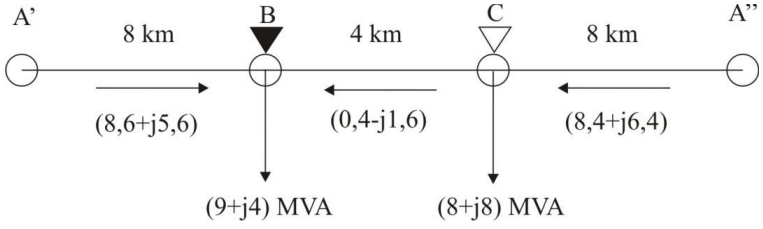
Mreža 35 kV koja je prikazana na Sl. 79.1 sačinjena je od provodnika istog preseka sa sledećim parametrima: r_0=0.27 Ω/km i x_0=0.405 Ω/km. Na Sl. 79.1 su označene dužine pojedinih dalekovoda (u km) i snage (u MVA). Potrebno je odrediti raspodelu snaga po vodovima i najveći pad napona.



Sl. 79.1

Rešenje:

Najpre se odredi raspodela snaga u prstenastom delu mreže (Sl. 79.2):

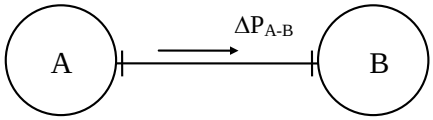


Sl. 79.2

Primarna regulacija učestanosti u elektroenergetskom sistemu (EES)

126. Zadatak

Dva elektroenergetska sistema su povezana preko jednog interkonektivnog voda (Sl. 126.1). Ako su primarne regulacione energije ovih sistema λ_A = 2500 MW/Hz i λ_B = 1500 MW/Hz, koliko će aktivne snage iz sistema A teći prema sistemu B u kvazistacionarnom režimu ako je nastao deficit snage u sistemu B od ΔP_B = 500 MW?



Sl. 126.1

Rešenje:

Primarna regulaciona energija λ jednog EES-a se definiše kao odnos između nagle promene aktivne snage i promene učestanosti, koju je prouzrokovala ta nagla promena aktivne snage. Pri tome se, prema važećim preporukama UCTE-a, promena učestanosti određuje 20 s od trenutka nastanka nagle promene aktivne snage.

$$\lambda = \frac{\Delta P}{\Delta f} \text{ [MW/Hz]} \tag{126.1}$$

$$\Delta f = \frac{\Delta P}{\lambda_\Sigma} = \frac{\Delta P_B}{\lambda_A + \lambda_B} \tag{126.2}$$

$$\Delta P_A = \lambda_A \cdot \Delta f = \lambda_A \frac{\Delta P_B}{\lambda_A + \lambda_B} = \Delta P_{A-B} \tag{126.3}$$

$$\Delta P_{A-B} = \frac{\lambda_A}{\lambda_A + \lambda_B} \Delta P_B = \frac{2500}{2500 + 1500} \cdot 500 = 312.5 \text{ MW} \tag{126.4}$$

Regulacija napona i reaktivne snage u električnim mrežama

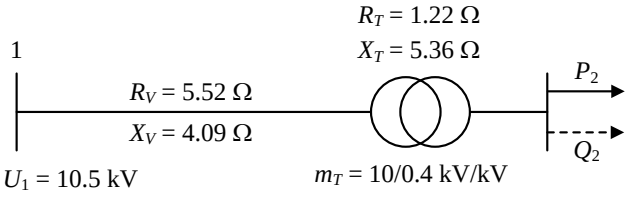
140. Zadatak

Preko sabirnica 1, pri konstantnom naponu U_1 =10.5 kV, nadzemnog voda $R_V = 5.52\,\Omega$ i $X_V = 4.09\,\Omega$ i transformatora $R_T = 1.22\,\Omega$, $X_T = 5.36\,\Omega$ i odnosa transformacije $m_T = 10/0.4\,\text{kV/kV}$ (Sl. 140.1), napaja se sa niženaponskih sabirnica transformatora potrošač zadat statičkim karakteristikama:

$$P_2 = P_n \cdot \left[0.83 - 0.3 \cdot \frac{U_2}{U_n} + 0.47 \cdot \left(\frac{U_2}{U_n} \right)^2 \right] \tag{140.1}$$

$$Q_2 = Q_n \cdot \left[5.5 - 10.7 \cdot \frac{U_2}{U_n} + 6.2 \cdot \left(\frac{U_2}{U_n} \right)^2 \right] \tag{140.2}$$

gde je P_n = 0.6 MW i Q_n = 0.5 Mvar pri naponu U_n = 10 kV (svedeni napon sa niženaponskih sabirnica transformatora na višenaponsku stranu). Potrebno je odrediti snagu kondenzatorske baterije, priključene na niženaponskim sabirnicama transformatora, da bi se povisio napon na njima za 5 % u odnosu na napon pri opterećenju P_n i Q_n.

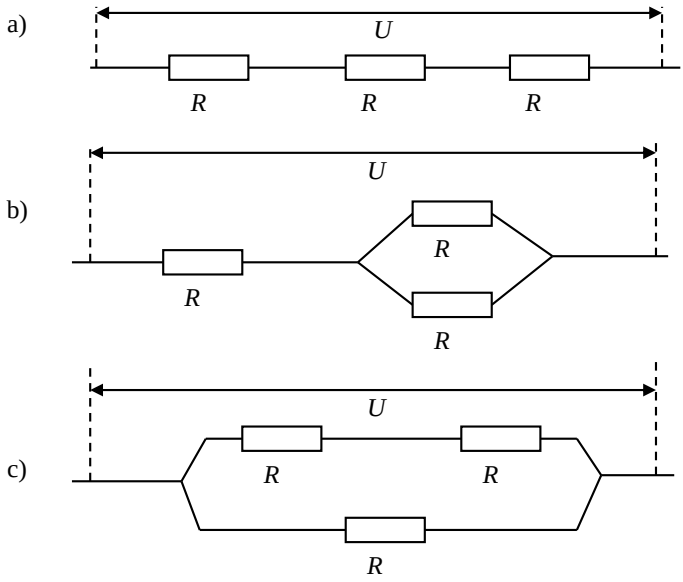


Sl. 140.1

Upotreba električne energije

161. Zadatak

Električna ploča se sastoji od tri sekcije sa jednakim otporima *R*. Ako su sve tri sekcije vezane paralelno, određena količina vode u posudi proključa za 6 minuta. Za koje vreme će ista količina vode u istoj posudi proključati za slučaj da su tri sekcije vezane kao na Sl. 161.1 a), b) i c)?



Sl. 161.1

Rešenje:

U polaznom slučaju ukupna aktivna otpornost električne ploče je $R/3$; za slučaj a) ona je $3R$, za slučaj b) $3R/2$ i za slučaj c) $2R/3$. Za sve slučajeve potrebno je da se utroši ista količina električne energije da bi voda proključala.

Za polazni slučaj ta energija iznosi:

Primena metoda iz teorije verovatnoće i matematičke statistike za rešavanje različitih zadataka iz oblasti EES

167. Zadatak

Koliko iznose gubici električne energije u vremenskom intervalu *T*, u jednom elementu električne mreže, čija je aktivna otpornost po fazi *R*, ako je struja, koja protiče kroz posmatrani element mreže, slučajno promenljiva veličina sa gustinom raspodele verovatnoće $f(I)$?

Rešenje:

Ako se pretpostavi da je struja *I* kontinualna slučajna promenljiva, tada je njeno matematičko očekivanje po definiciji:

$$E(I) = \mu = \int_{-\infty}^{\infty} I \cdot f(I) dI \tag{167.1}$$

a njena disperzija:

$$V(I) = \int_{-\infty}^{\infty} (I - \mu)^2 f(I) dI \tag{167.2}$$

Razvojem kvadrata binoma u (167.2) dolazi se do relacije koja se često koristi u obliku:

$$V(I) = \int_{-\infty}^{\infty} I^2 f(I) dI - 2\mu \int_{-\infty}^{\infty} I \cdot f(I) dI + \mu^2 \int_{-\infty}^{\infty} f(I) dI$$

$$V(I) = E\left(I^2\right) - 2\mu^2 + \mu^2 \cdot 1 = E\left(I^2\right) - [E(I)]^2 \tag{167.3}$$

Električna merenja i tehnika visokog napona

230. Zadatak

Kod eksperimenata neophodno je razgraničiti primenu srednje kvadratne greške pojedinačnih merenja ${}^{n}S$ (n je broj merenja) od srednje kvadratne greške srednje aritmetičke vrednosti ($\overline{X}$ je srednja aritmetička vrednost).

Izvršeno je 10 merenja električne otpornosti provodnika čiji su rezultati prikazani u Tabeli 230.1. Potrebno je odrediti srednju aritmetičku vrednost za otpornost $(\overline{R})$, srednju kvadratnu grešku pojedinačnog merenja ${}^{n}S$ i srednju kvadratnu grešku srednje aritmetičke vrednosti $\overline{R}$.

Rešenje:

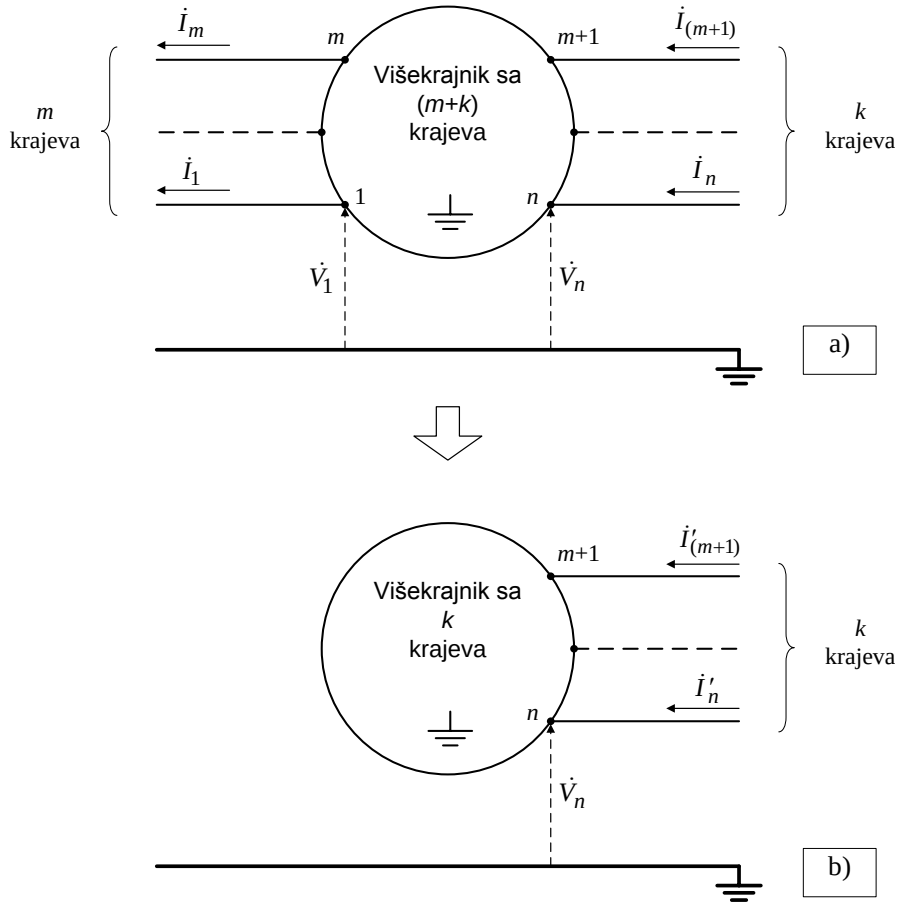
Tabela 230.1

Redni broj merenja	R $[\Omega]$
1	275
2	273
3	275
4	275
5	278
6	274
7	276
8	275
9	272
10	274

$$\overline{R} = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10} = 274.7\Omega \tag{230.1}$$

$${}^{10}S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} \left(\overline{R} - R_i\right)^2}{10-1}} \approx 1.6\ \Omega \tag{230.2}$$

11. TRANSFIGURACIJA LINEARNOG PASIVNOG VIŠEKRAJNIKA SA PODUŽNIM I POPREČNIM ADMITANSAMA U PASIVNI VIŠEKRAJNIK SA MANJIM BROJEM KRAJEVA



Sl. P - 11.1

Jednačine za napone i struje za krajeve višekrajnika na Sl. P - 11.1-a, napisane u matričnom obliku su:

$$\begin{Bmatrix} -\{\dot{I}_m\} \\ \hline \{\dot{I}_k\} \end{Bmatrix} = \begin{matrix} m \\ k \end{matrix} \left[\begin{array}{c|c} [\dot{Y}_{mm}] & [\dot{Y}_{mk}] \\ \hline [\dot{Y}_{km}] & [\dot{Y}_{kk}] \end{array}\right] \begin{Bmatrix} \{\dot{V}_m\} \\ \hline \{\dot{V}_k\} \end{Bmatrix} \qquad \text{(P11.1)}$$

gde je:

17. EKONOMČNI REŽIMI TRANSFORMATORA U TRANSFORMATORSKIM STANICAMA

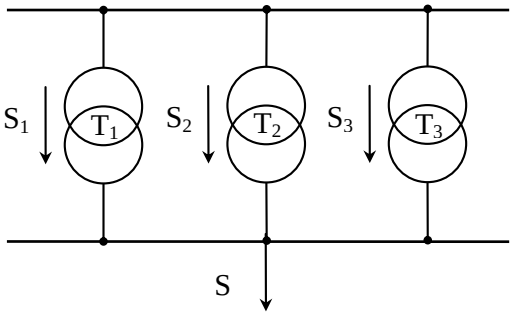
U savremenim električnim mrežama u ukupnim gubicima snage i energije, znatni deo čine i gubici praznog hoda, a koji su proporcionalni kvadratu napona na priključcima transformatora i električnih mašina, kao i broju tih transformatora i električnih mašina, koji se nalaze u pogonu. U transformatorskim stanicama (TS), gubici praznog hoda, koji potiču od vrtložnih struja i od naizmeničnog magnetisanja gvožđa transformatora, proporcionalni su broju priključenih transformatora na mrežu. S obzirom da se opterećenje TS menja u toku dana, nedelja, meseca i godine, to broj priključenih transformatora na mrežu treba da je takav, da su gubici snage i energije u TS što manji.

Gubici aktivne snage u transformatorima TS (Sl. P - 17.1) mogu se odrediti iz jednačine:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{3} \Delta P_{Fei} + \sum_{i=1}^{3} \Delta P_{Cui} \left(\frac{S_i}{S_{ni}} \right)^2 \qquad \text{(P17.1)}$$

gde je:

- ΔP - gubici aktivne snage u TS;
- ΔP_{Fei} - gubici aktivne snage u gvožđu i-tog transformatora;
- ΔP_{Cui} - gubici aktivne snage u bakru i-tog transformatora pri njegovom nazivnom opterećenju;
- S_{ni} - nazivna prividna snaga i-tog transformatora;
- S_i - trenutna prividna snaga (opterećenje) i-tog transformatora;
- i - indeks, sa kojim je označen transformator (i = 1, 2, 3).



Sl. P - 17.1

Ako nisu poznata opterećenja S_i transformatora, onda je poznato njihovo sumarno opterećenje S ($S = \sum_{i=1}^{3} S_i$). Kako su nazivni parametri transformatora poznati, opterećenja S_i (i = 1, 2, 3) mogu se izračunati preko ukupnog opterećenja S i parametara zamenskih šema transformatora:

19. JEDINICE I OZNAKE ZA SNAGU I ENERGIJU

Veličina	Jedinica	Oznaka
Aktivna snaga	Watt	W
Reaktivna snaga	volt-amper reaktivni	var
Prividna snaga	Volt-Amper	VA
Aktivna energija	Watt-čas	Wh
Reaktivna energija	var-čas	varh
Prividna energija	Volt-Amper-čas	VAh

L I T E R A T U R A

[1] Г.И. Атабеков, *Теоретические основы электротехники*, Часть 1. 4-е изд., Энергия, 1970.

[2] Я.Д. Баркан, Л.А. Орехов, Автоматизация энергосистем, Высшая школа, 1981.

[3] В.А. Веников (ред.), *Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях*, Энергия, 1967.

[4] В.А. Веников (ред.), *Примеры анализа и расчетов режимов электропередач имеющих автоматическое регулирование и управление*, Вышсая школа, 1967.

[5] В.А. Веников (ред.), *Расчеты и анализ режимов работы сетей*, Энергия, 1974.

[6] В.А. Веников (ред.), *Электрические системы. Математические задачи электротехники*, 2-е изд., Высшая школа, 1981.

[7] В.А. Веников (ред.), *Электрические системы. Передача энергии переменным и постоянным током высокого напряжения*, Высшая школа, 1972.

[8] В.А. Веников (ред.), *Электрические системы. Электрические сети*, Высшая школа, 1971.

[9] В.А. Веников, В.А.Строев (ред.), *Электрические системы*. Электрические сети, Высшая школа, 1998.

[10] В.А. Веников, Дальние электропередачи, Госэнергоиздат, 1960.

[11] В.А. Веников, *Переходные электромеханические процессы в электрических системах, Высшая школа*, 1964, 1970, 1978, 1985.

[12] Вентцель Е.С., Овчаров Л.А., Задачи и упражнения по теории вероятностей, Высшая школа, Москва, 2002.

[13] Е.С. Вентцель, Л.А.Овчаров, Теория вероятностей и ее инженерные приложения, Наука, 1988.

[14] Е.С. Вентцель, Л.А.Овчаров, Теория вероятностей, Наука, 1969.

[15] В.Э. Воротнцкий, М. А. Калинина, Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Учебно – методическое пособие. Изд. з-е. Институт управления в энергетике, Государственного университета управления. Москва, 2003.

[16] А.А. Герасименко, В.Т. Федин, Передача и распределение электрической энергии, Изд. 2-е Ростов н/д, Феникс, 2008.

[17] А.А. Глазунов, А.А. Глазунов, Электрические сети и системы, Изд. 4-е, Госэнергоиздат 1960.

[18] А.Н. Грибов, Вопросы обеспечения качества, экономичности и надежности работы электроэнергетических систем, Издательство ЛПИ, 1983.

[19] Ф.Г. Гусейнов, Некоторые вопросы энергетических систем и их режимов, Азербайджанское госуд. изателъство, Баку 1963.
[20] А.П. Долгов, А. В. Лыкин, В. К. Чебан, Режимы электроэнергетических систем, Новосибирский государственный технический университет, 2003.
[21] П.С. Жданов, Вопросы устойчивости электрических систем, Под редакцией Л. А. Жукова, Изд. Энергия, 1979.
[22] Г.В. Жданова, Г.В.Новикова, А.И.Соловьев, Элементы теории вероятностей. Применение к исследованию эргатических систем в электроэнергетике, Издательство МЭИ, 2000.
[23] Ю.С. Железко, Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях, Энергоатомиздат 1989.
[24] А.Н. Зайдель, Погрешности измерний физических величин, Изд. Наука, 1985.
[25] В.И. Идельчик, Электрические системы и сети, Энергоатомиздат, 1989.
[26] В.Н. Казанцев (ред.), Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем, Энергоатомиздат 1983.
[27] В.А. Козлов, Н.Н.Билик, Д.Л.Файбисович, Справочник по проектированию электроснабжения городов, 2-е изд., Энергоатомиздат, 1986.
[28] Г.К. Круг (ред.), Статистические методы в инженерных исследованиях (Лабораторный практикум), Высшая школа, 1983.
[29] К. Купфмюллер, Основы теоретической электротехники, перевод с немецкого, Госэнергоиздат, 1960.
[30] А.В. Лыкин, Электрические системы и сети, Новосибирский государственный технический университет, 2003.
[31] Л. Мадьяр, Коэффициент мощности (cos φ), пер. с. нем. Госэнергоиздат 1961.
[32] Н.С. Маркин, Основы теории обработки результатов измерений, Изд. Стандартов, 1991.
[33] И.М. Маркович, Режимы энергетических систем, 4-е изд., Энергия, 1969. и 2-е изд., Госэнергоиздат, 1957.
[34] Ю.Л. Мукосеев, Электроснабжение промышленных предприятий, Энергия, 1971.
[35] Б.Н. Неклепаев, Электрическая часть электростанций и подстанций, 2-е издание, Энергоатомиздат, 1986.
[36] В.П. Обоскалов, Резервы мощности в электроэнергетических системах, Издателъство Уралъского политехнического института. Свердловск 1989.
[37] М.Н. Околович, Заземление нейтралей в електрических сетях, Издательство МЭИ, 1977.

[38] Г.М. Павлов, Автоматизация энергетических систем, Изд. Ленинградского универзитета 1977.
[39] Л.И. Петренко, Электрические сети, Сборник задач, 2-е изд., Высшая школа, 1985.
[40] К.М. Поливанов, Теоретические основы электротехники, часть первая, Изд. Энергия, 1965.
[41] Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин, Энергетические системы, Вышэйшая школа, 1974.
[42] Г.Е. Поспелов, Н.М. Сыч, Потери мощности и энергии в электрических сетях, Энергоиздат 1981.
[43] Д.В. Разевиг (ред.) Техника высоких напряжений, Госэнергоиздат, 1963.
[44] Э.М. Ристхейн, Электроснабжение промышленных установок, Энергоатомиздат, 1990.
[45] А.Я. Рябков, Электрический расчет электрических сетей, Госэнергоиздат 1950.
[46] В.А. Строев (ред.), Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях, Знак, 1996.
[47] В.А. Строев (ред.), Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях, Высшая школа, 1999.
[48] Т.А. Татур, Основы теории электрических цепей (справочное пособие), Высшая школа, 1980.
[49] Ю.А. Фокин, Вероятностные методы в расчетах надежности систем электроснабжения, Издателъство МЭИ 1977.
[50] Ю.А. Фокин, Руководство по решению задач курса: Математические задачи энергетики, раздел Применение методов теории вероятностей в энергетике, Издателъство МЭИ 1976.
[51] Ю.С. Фокин, Л.И.Ильинская, Руководство по решению задач по курсу “электроснабжение”, Издательство МЭИ, 1998.
[52] А.А. Черников, Компенсация емкостных токов в сетях с незаземленной нейтралью, Изд. Энергия, 1974.
[53] В.С. Шатин, Сборник задач с решением по технике высоких напражений; Волновие процессы в линиях и системах, , Издательство МЭИ, 1964.
[54] G.J. Anders, Probability concepts in power systems, John Wiley and Sons Inc. 1990.
[55] Philippe Baret, Courts-circuits et régimes déséquilibrés. Cours Ecole Supérieure d’Electricité. № 2979, 1984.
[56] Jean-Paul Barret, Pierre Bornard, Bruno Meyer, Simulation des réseaux électriques, Eyrolles, 1997.
[57] Philippe Barret, Machines électriques, Ellipses 2002.
[58] Phillipe Barret, Régimes transitoires des machines tournantes électriques, 2e edition, Eyrolles 1987.

[59] Blum, Production et distribution d'énergie réactive, Cahiers techiques No 26, 1973. Merlin Gerin.
[60] F. Cahen, Électrotechnique, Tome 1, Gauthier -Villars, 1962.
[61] V. Crastan, Les réseaux d'énergies électrique, Tome 1 et 2, Hermés-science, 2007.
[62] Maurice Denis-Papin, A.Kaufmann, Cours de calcul matriciel appliqué, Albin Michel, 1964.
[63] D. Dixnef, E.Bellouvet, Principes des circuits électriques, Dunod, 2007.
[64] H. Egon, Statistique et probabilitiés, Hachette, 1992.
[65] Guide de l'ingénierie électrique des réseaux internes d'usines. Ouvrage réalisé par un groupe aminé par Gérard Solignac, Technique et Documentation, 1985.
[66] Ch. Harel, Machines électriques, Fonctionnement et essais, II – Transormateurs. Cours Ecole Supérieure d' Electricité. Nº 2181, 1970.
[67] P. Henriet, Fonctionnement et protection des réseaux de transport d'électricité, Gauthier-Villars, 1963.
[68] P. Joly, Analyse des réseaux triphasés en régime perturbé à l'aide des composantes symétriques, Cahiers techniques, Merlin Gerin № 18 décembre 1973.
[69] J.-P. Lecoutre, Statistique et probabilités, 3e edition, Dunod, 2006.
[70] F. Mésa, Méthodes d'étude des circuits électriques, Eyrolles, 1985.
[71] T.J.E. Miller, Reactive power control in electric systems, John Wiley and Sons Inc. 1982.
[72] C.E. Moorhouse, Générateurs – Lignes – Récepteurs, Eyrolles, 1977.
[73] R. Pélissier, Les réseaux d'énergie électrique, Tome 1 et 2, Dunod, 1971.
[74] Henri Persoz, Gérard Santucci, Jean-Claude Lemoine, Paul Sapet, La planification des réseaux électriques, Eyrolles, 1984.
[75] J. Pouget, Réseaux électriques, Masson, 1979.
[76] Chr. Prévé, Protection des réseaux électriques, Hermès, 1998.
[77] Chr. Prévé, Les réseaux électriques industrieles, Tome 1 et 2, Hermés, 2005.
[78] C.A. Rossier, Analyse de la sécurité d'éxploitation d'un réseau électrique, Bull. ASE/UCS 72 (1981), 1, p. 2...7.
[79] Jean-Claude Sabonnadière, Nouredine Hadjsaïd, Lignes et réseaux électriques, volume 1,2,3 et 4, Hermès Science, 2008.
[80] Alain Schmitt, Thierry Deflandre, Les surtensions et les transitoires rapides de tensions, en milieux industriel et tertiaire, Collection de la Direction des Études et Recherches d'Électricité de France, Eyrolles, 1997.
[81] G. Serane, Mathématiques de la physique appliquée, Dunod, 1965.