

Jovan Štarklj

**ZBIRKA REŠENIH ZADATAKA IZ
PROIZVODNJE, PRENOSA I UPOTREBE
ELEKTRIČNE ENERGIJE**

Šesto izdanje

Akademska misao
Beograd, 2015.

Jovan Štarklj

**ZBIRKA REŠENIH ZADATAKA IZ
PROIZVODNJE, PRENOSA I UPOTREBE
ELEKTRIČNE ENERGIJE**
6. izdanje

Recenzenti
Duško Tubić
Nikola Obradović
Vladimir Janković

Izdaje i štampa
AKADEMSKA MISAO, Beograd

Tiraž
400 primeraka

ISBN 978-86-7466-532-9

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:

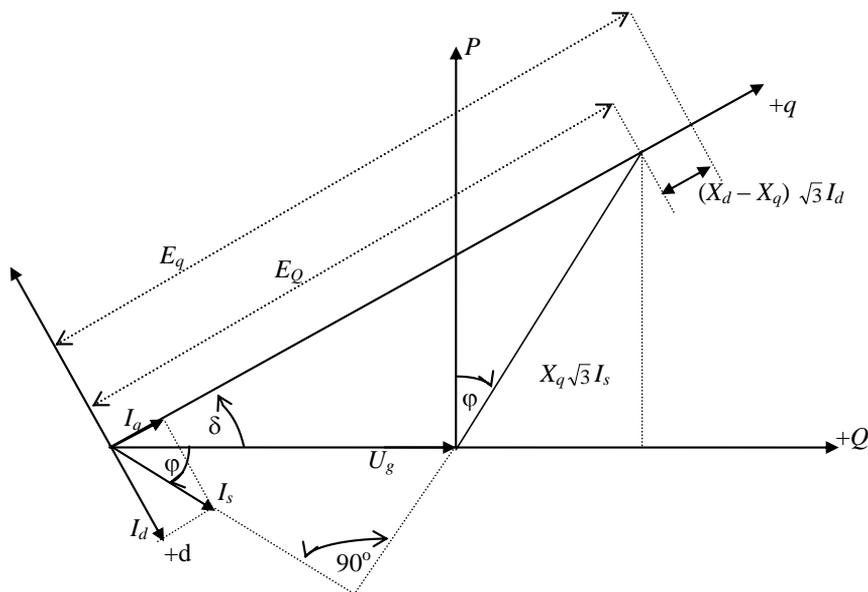
$$S_{ng} = 30 \text{ MVA}; \quad P_{ng} = 24 \text{ MW}; \quad Q_{ng} = 18 \text{ Mvar}; \quad \cos\varphi_n = 0.8;$$

$$U_{ng} = 11 \text{ kV}; \quad x_d\% = 147.5 \%; \quad x_q\% = 77 \%.$$

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 $\sqrt{3}$.

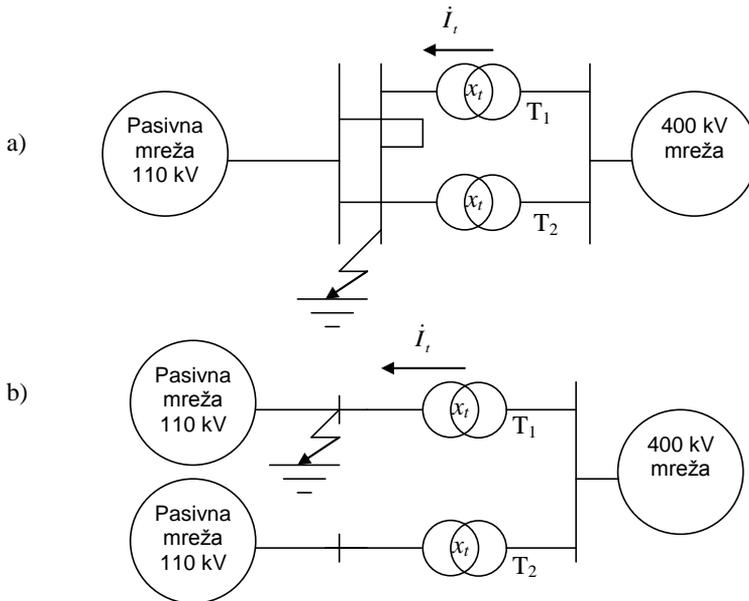


Sl. 1.1

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 trolepnog kratkog spoja na sabirnicama, koje su naznačene na Sl. 29.1 a) i b). Transformatori T_1 i T_2 su jednakih parametara ($X_{r1} = X_{r2} = X_r$), 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 $U/\sqrt{3}$.

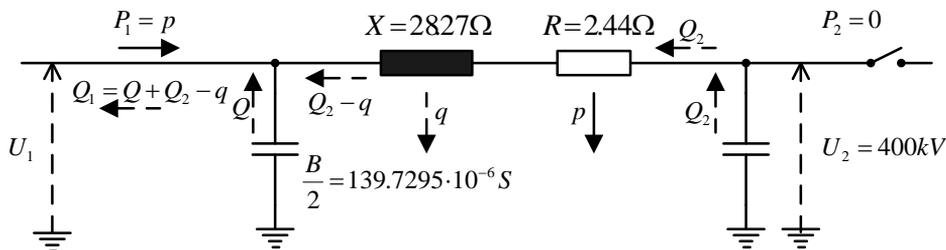


Sl. 29.1

Vodovi za prenos električne energije

50. Zadatak

Prenosni nadzemni vod nominalnog napona 400 kV sa dva provodnika po fazi AL/Če 490/65 mm²/mm², 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:

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

Napon na početku voda je:

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

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

Gubici aktivne snage u vodu:

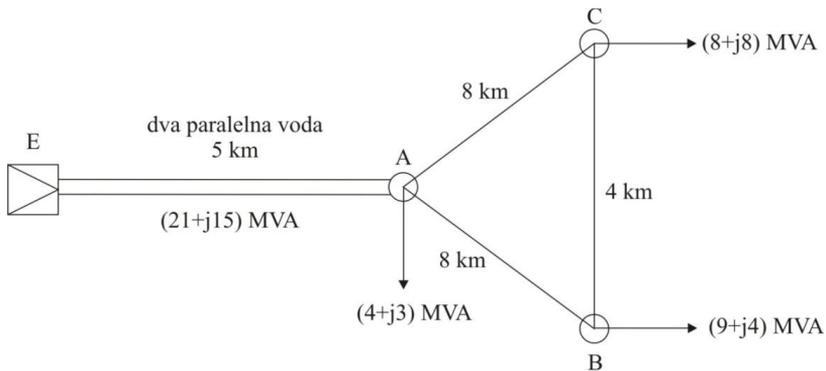
$$p = R \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} = 2.44 \cdot \frac{0 + 22.35672^2}{400^2} = 0.0076223 \text{ MW} \quad (50.3)$$

Gubici reaktivne snage u vodu:

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

79. Zadatak

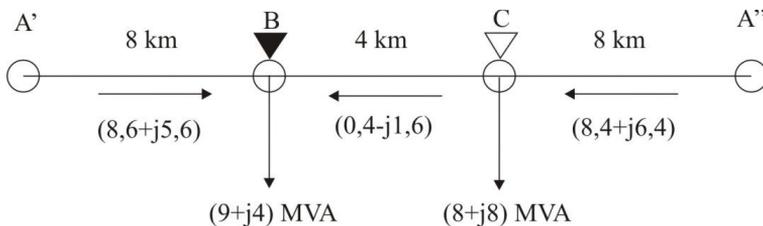
Mreža 35 kV koja je prikazana na Sl. 79.1 sačinjena je od provodnika istog preseka sa sledećim parametrima: $r_0=0.27 \Omega/\text{km}$ i $x_0=0.405 \Omega/\text{km}$. Na Sl. 79.1 su označene dužine pojedinih dalekovoda (u km) i snage (u MVA). Potrebno je odrediti raspodelu snaga po vodovima i najveći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



Sl. 79.1

Rešenje:

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

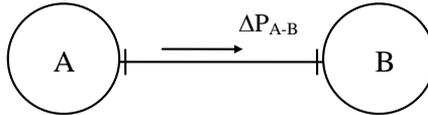


Sl. 79.2

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 $\lambda_A = 2500$ MW/Hz i $\lambda_B = 1500$ 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 $\Delta P_B = 500$ 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.

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

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

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

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

Regulacija napona i reaktivne snage u električnim mrežama

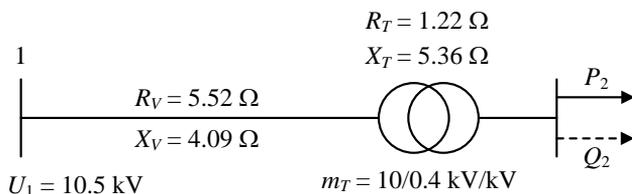
140. Zadatak

Preko sabirnica 1, pri konstantnom naponu $U_1 = 10.5 \text{ kV}$, 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:

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

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

gde je $P_n = 0.6 \text{ MW}$ i $Q_n = 0.5 \text{ Mvar}$ pri naponu $U_n = 10 \text{ kV}$ (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 .

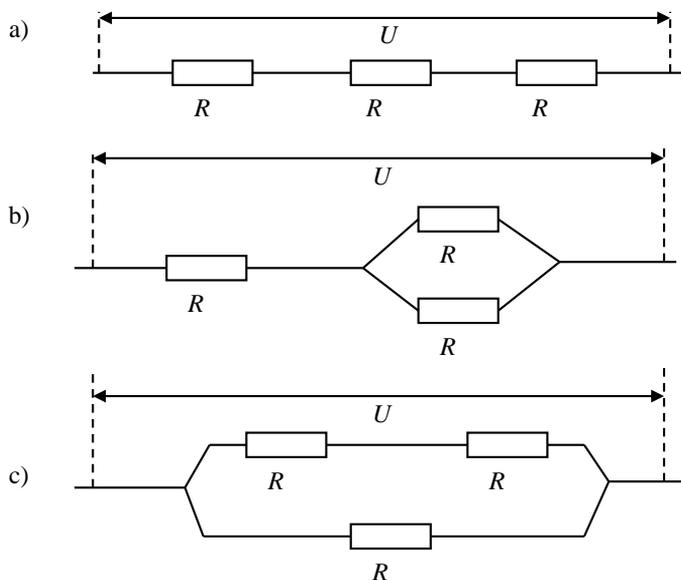


Sl. 140.1

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:

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

a njena disperzija:

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

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

$$V(I) = \int_{-\infty}^{\infty} I^2 f(I) dI - 2\mu \int_{-\infty}^{\infty} I \cdot f(I) dI + \mu^2 \int_{-\infty}^{\infty} f(I) dI$$
$$V(I) = E(I^2) - 2\mu^2 + \mu^2 \cdot 1 = E(I^2) - [E(I)]^2 \quad (167.3)$$

Električna merenja i tehnika visokog napona

230. Zadatak

Kod eksperimenata neophodno je razgraničiti primenu srednje kvadratne greške pojedinačnih merenja nS (n je broj merenja) od srednje kvadratne greške srednje aritmetičke vrednosti (\bar{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 (\bar{R}), srednju kvadratnu grešku pojedinačnog merenja nS i srednju kvadratnu grešku srednje aritmetičke vrednosti \bar{R} .

Rešenje:

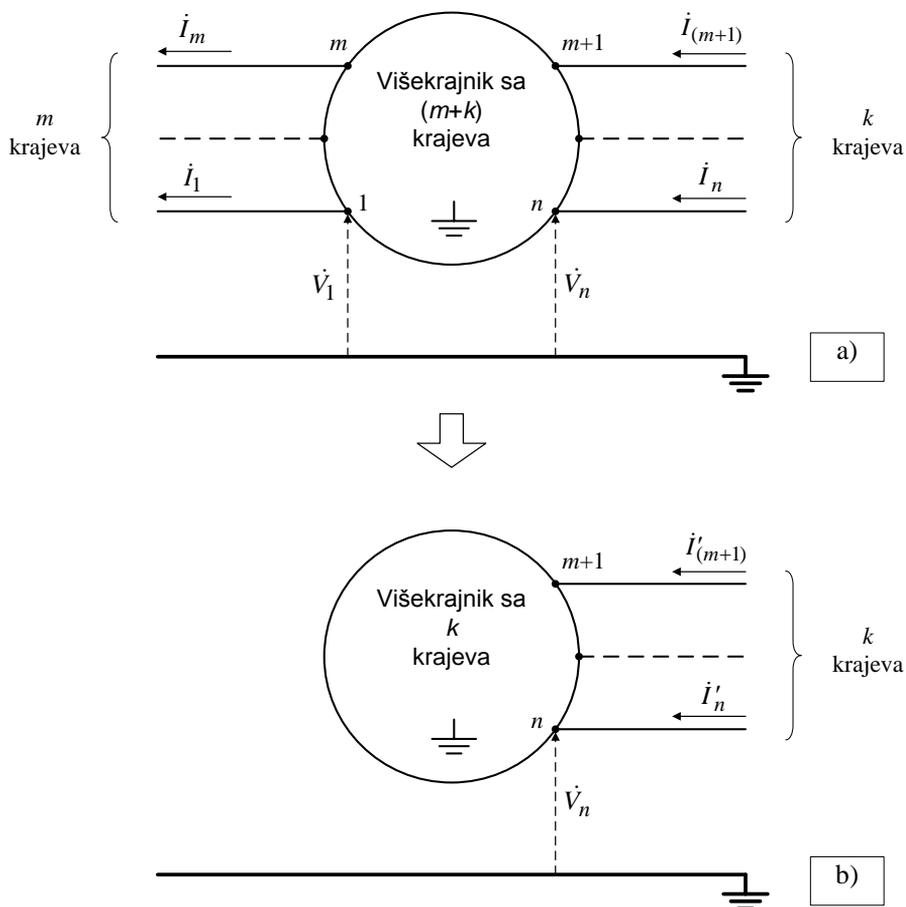
Tabela 230.1

| Redni broj merenja | R [Ω] |
|--------------------|------------------|
| 1 | 275 |
| 2 | 273 |
| 3 | 275 |
| 4 | 275 |
| 5 | 278 |
| 6 | 274 |
| 7 | 276 |
| 8 | 275 |
| 9 | 272 |
| 10 | 274 |

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10} = 274.7\Omega \quad (230.1)$$

$${}^{10}S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\bar{R} - R_i)^2}{10 - 1}} \approx 1.6 \Omega \quad (230.2)$$

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 matricnom obliku su:

$$\begin{Bmatrix} -\{ \dot{I}_m \} \\ \{ \dot{I}_k \} \end{Bmatrix} = \begin{matrix} m \\ k \end{matrix} \begin{bmatrix} [\dot{Y}_{mm}] & [\dot{Y}_{mk}] \\ [\dot{Y}_{km}] & [\dot{Y}_{kk}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{ \dot{V}_m \} \\ \{ \dot{V}_k \} \end{Bmatrix} \quad (\text{P11.1})$$

gde je:

17. EKONOMČNI REŽIMI TRANSFORMATORA U TRANSFORMATORSKIM STANICAMA

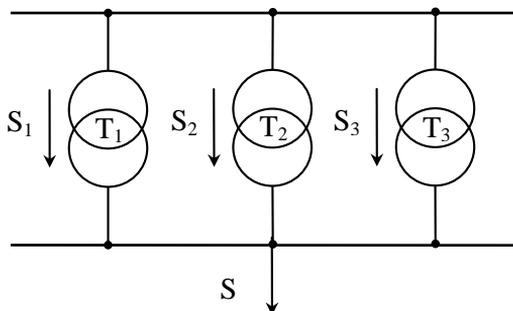
U savremenim električnim mrežama u ukupnim gubicima snage i energije, znatni deo čine i gubici praznog hoda, a koji su proporcionalni kvadratu napona na priključcima transformatora i električnih mašina, kao i broju tih transformatora i električnih mašina, koji se nalaze u pogonu. U transformatorskim 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:

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

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*, Высшая 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. Воронцовский, М. А. Калинина, *Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Учебно – методическое пособие. Изд. 3-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. издательство, 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 энергетических 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 измерений 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 ($\cos \varphi$), 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, Издательство Уральского политехнического института. Свердловск 1989.
- [37] М.Н. Околович, Заземление нейтралей в электрических сетях, Издательство МЭИ, 1977.

- [38] Г.М. Павлов, Автоматизация энергетических систем, Изд. Ленинградского университета 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, Высшая 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, Издательство МЭИ 1977.
- [50] Ю.А. Фокин, Руководство по решению задач курса: Математические задачи энергетики, раздел Применение методов теории вероятностей в энергетике, Издательство 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 напряжений; Волновые 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] Philippe Barret, Régimes transitoires des machines tournantes électriques, 2^e edition, Eyrolles 1987.

- [59] Blum, Production et distribution d'énergie réactive, Cahiers techniques 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, Hermès-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 probabilités, Hachette, 1992.
- [65] Guide de l'ingénierie électrique des réseaux internes d'usines. Ouvrage réalisé par un groupe aministré par Gérard Solignac, Technique et Documentation, 1985.
- [66] Ch. Harel, Machines électriques, Fonctionnement et essais, II – Transformateurs. Cours Ecole Supérieure d' Electricité. N° 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 N° 18 décembre 1973.
- [69] J.-P. Lecoutre, Statistique et probabilités, 3^e édition, Dunod, 2006.
- [70] F. Méza, 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. Péliissier, 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 industrielles, Tome 1 et 2, Hermès, 2005.
- [78] C.A. Rossier, Analyse de la sécurité d'exploitation 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.