

OBLICZANIE ROZPŁYWU PRĄDÓW

STRAT I SPADKÓW NAPIĘĆ

Strata napięcia - geometryczna różnica wektorów napięć w dwóch punktach sieci (np. pomiędzy początkiem i końcem linii).

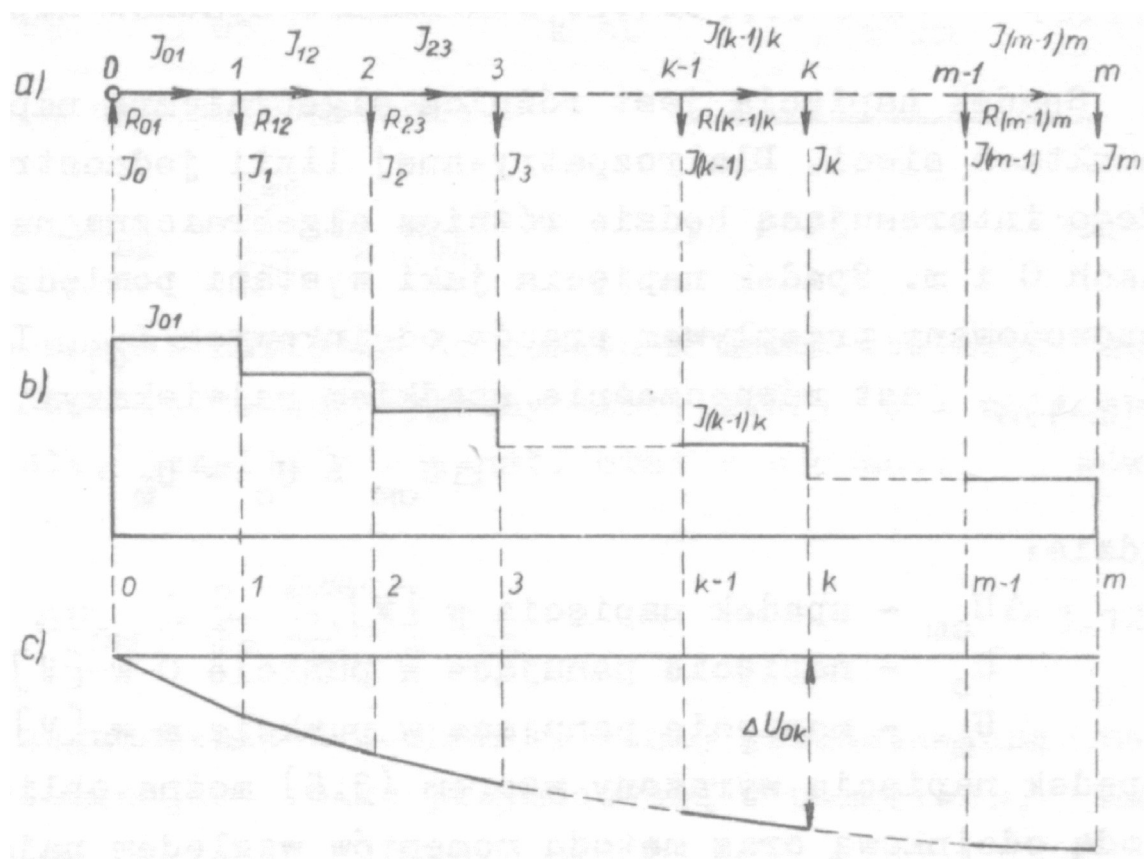
Spadek napięcia - różnica modułów (wartości skutecznych) napięć istniejących w dwóch punktach sieci.

Dla prądu przemiennego stratę napięcia dzielimy na:

- a) czynną - wywołaną spadkiem napięcia na rezystancji,
- b) bierną - spowodowaną spadkiem napięcia na reaktancji.

W przypadku prądu stałego - występuje tylko strata czynna napięcia (równa spadkowi napięcia).

LINIA JEDNOSTRONNIE ZASILANA PRĄDU STAŁEGO



Rys. 3.1. Linia jednostronnie zasilana prądu stałego zasilająca „m” odbiorów:

- a) schemat jednokreskowy,
- b) wykres rozpływów prądów odcinkowych,
- c) wykres spadków napięć

Maksymalny spadek ΔU_{om} pomiędzy punktami „O” i „m” wyznaczyć można metodą:

- a) odcinkową,
- b) momentów względem najdalszego punktu odbioru lub względem punktu zasilania.

METODA ODCINKOWA

Równanie ogólne spadku napięcia

$$\Delta U_{om} = \sum_{k=1}^{k=n} I_{(k-1)k} \times R_{(k-1)k} \quad (3.6)$$

Przy założeniu, że przewody są z tego samego materiału (tj. γ i $s = \text{const}$ na całej długości) równanie (3.6) przyjmuje postać

$$\Delta U_{om} = \frac{2}{\gamma s} \sum_{k=1}^{k=n} I_{(k-1)k} \times l_{(k-1)k} \quad (3.7)$$

METODA MOMENTÓW WZGLĘD PUNKTU ZASILANIA

Równanie ogólne spadku napięcia

$$\Delta U_{om} = \sum_{k=1}^{k=n} I_k \times R_{0k} \quad (3.8)$$

z którego wynika, że spadek napięcia można określić sumując „momenty prądowe” odpowiadające iloczynowi prądu I_k i rezystancji R_{0k} przewodu odcinka linii między punktem zasilania a miejsca jego odpływu.

Gdy γ i $s = \text{const}$ równanie (3.8) przyjmuje postać

$$\Delta U_{om} = \frac{2}{\gamma s} \sum_{k=1}^{k=n} I_k \times l_{0k} \quad (3.9)$$

gdzie: l_{0k} - długość odcinka linii od punktu „0” do punktu „k”

LINIA JEDNOSTRONNIE ZASILANA PRĄDU PRZEMIENNEGO I i II RODZAJU

W liniach prądu przemiennego należy uwzględniać: rezystancje i reaktancje, przesunięcia fazowe prądów względem napięcia, obciążenia czynne i bierne, straty i spadki napięcia.

Strata napięcia:

$$\Delta U_{01} = U_0 - U_1 \quad (3.12)$$

Spadek napięcia:

$$\Delta U_{01} = U_0 - U_1 \quad (3.13)$$

W linii II rodzaju kąt $\beta \approx 0$, stąd spadek napięcia równy jest podłużnej stracie napięcia

$$\Delta U_{01} \approx \Delta U'_{01} = I'_1 R_{01} + I''_1 X_{01} \quad (3.21)$$

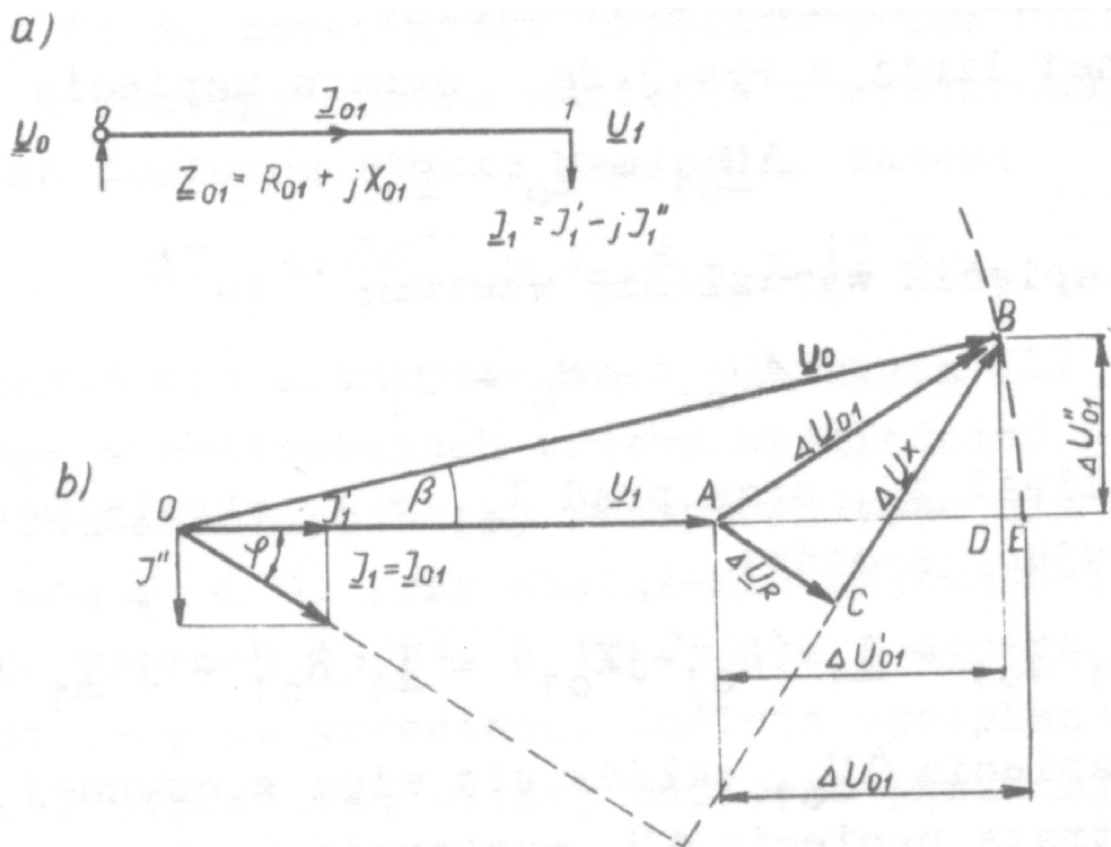
Ogólne wzory na podłużną i poprzeczną stratę napięcia mają postać:

$$\begin{aligned} \Delta U' &= I' R - I'' X \\ \Delta U'' &= I' X + I'' R \end{aligned} \quad (3.22)$$

w których:

a) przy obciążeniu indukcyjnym prądy bierne I'' wstawiamy ze znakiem „-”.

b) przy obciążeniu pojemnościowym prądy bierne I'' wstawiamy ze znakiem „+”.

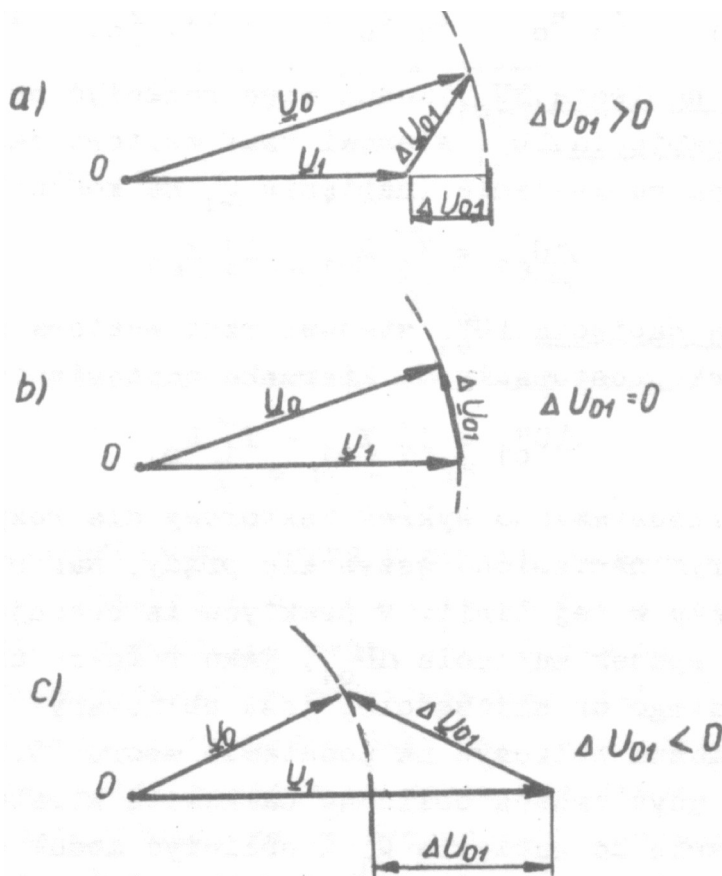


Rys. 3.2. Linia jednostronnie zasilana prądu przemiennego II rodzaju posiadająca jeden odbiór o charakterze indukcyjnym:

a) schemat jednokreskowy,

b) wykres wektorowy

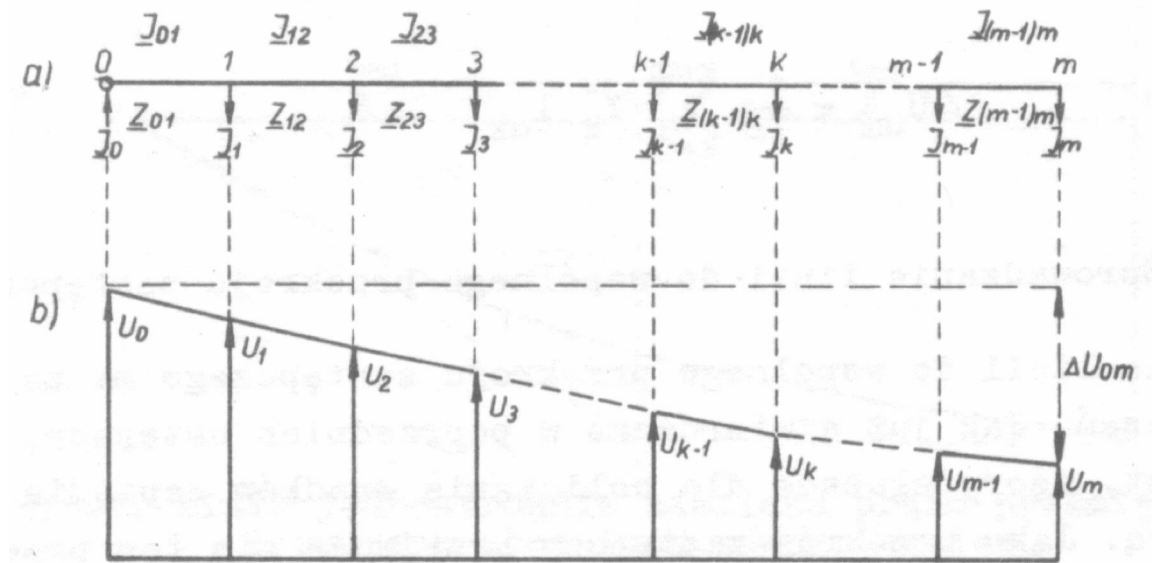
R_{01} - rezystancja linii, X_{01} - reaktancja linii, $\underline{I}_{01}$ - prąd odcinkowy każdej fazy, ΔU_R - czynna strata napięcia, ΔU_X - bierna strata napięcia, $\Delta U'_{01}$ - podłużna strata napięcia, $\Delta U''_{01}$ - poprzeczna strata napięcia



Rys. 3.3. Możliwe wartości spadku napięcia ΔU_{01} przy stałej wartości straty napięcia (w zależności od rodzaju impedancji) ΔU_{01} :

- a) spadek napięcia dodatni (obwód indukcyjny),
- b) spadek napięcia równy zero,
- c) spadek napięcia ujemny (w obwodzie pojemnościowym - występuje wzrost napięcia)

OBLICZANIE ROZPŁYWU PRĄDÓW W LINIACH I I II RODZAJU POSIADAJĄCYCH m ODBIORÓW



Rys. 3.4. Linia (trójfazowa symetryczna) jednostronnie zasilana prądu przemiennego II rodzaju zasilająca „m” odbiorów:
a) schemat jednokreskowy i rozpływ prądów,
b) wykres poziomów i spadków napięć

Równania prądów odcinkowych:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{01} &= \sum_{k=1}^{k \rightleftharpoons m} \underline{I}_k = \sum_{k=1}^{k \rightleftharpoons m} (I'_k \pm jI''_k) \\ \underline{I}_{12} &= \sum_{k=2}^{k \rightleftharpoons m} \underline{I}_k = \sum_{k=2}^{k \rightleftharpoons m} (I'_k \pm jI''_k) \\ \underline{I}_{(k-1)k} &= \sum_{k=k}^{k \rightleftharpoons m} \underline{I}_k = \sum_{k=k}^{k \rightleftharpoons m} (I'_k \pm jI''_k) \\ \underline{I}_{(m-1)m} &= \sum_{k=m}^{k \rightleftharpoons m} \underline{I}_k = \sum_{k=m}^{k \rightleftharpoons m} (I'_k \pm jI''_k) \end{aligned} \quad (3.23)$$

gdzie: I'_k, I''_k - prąd czynny i bierny k-tego odbioru

OBLICZANIE SPADKÓW NAPIĘCIA W LINIACH I I II RODZAJU POSIADAJĄCYCH m ODBIORÓW

Obliczenia prowadzi się metodą odcinkową lub momentów (tak samo jak prąd stały).

Stosując metodę odcinkową dla linii II rodzaju, ogólny wzór na spadek napięcia ma postać

$$\Delta U_{om} = \sum_{k=1}^{k \rightleftharpoons m} (I'_{(k-1)k} R_{(k-1)k} - I''_{(k-1)k} X_{(k-1)k}) \quad (3.24)$$

natomiast przy metodzie momentów

$$\Delta U_{om} = \sum_{k=1}^{k=m} (I'_{(k-1)k} R_{0k} - I''_{(k-1)k} X_{0k}) \quad (3.25)$$

W liniach I rodzaju (w których $X = 0$) wzory na spadek napięcia upraszczają się odpowiednio do postaci

$$\Delta U_{om} = \sum_{k=1}^{k=m} I'_{(k-1)k} R_{(k-1)k} \quad (3.26)$$

$$\Delta U_{om} = \sum_{k=1}^{k=m} I'_k R_{0k} \quad (3.27)$$

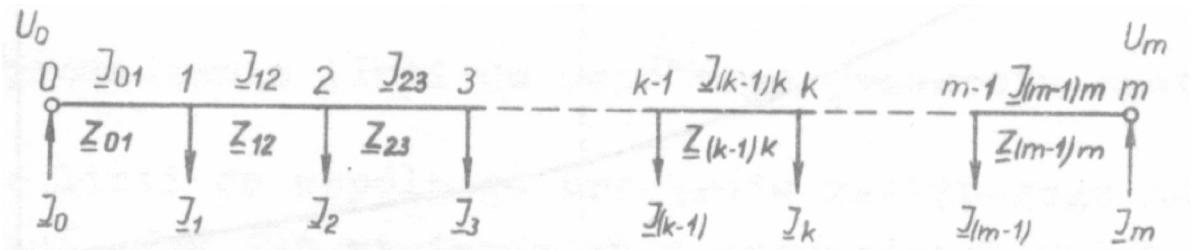
Gdy γ i $s = \text{const}$ oraz trójfazowa linia jest symetryczna, wzory (3.26) i (3.27) przyjmują postać

$$\Delta U_{om} = \frac{1}{\gamma s} \sum_{k=1}^{k=m} I'_{(k-1)k} l_{(k-1)k} \quad (3.28)$$

$$\Delta U_{om} = \frac{1}{\gamma s} \sum_{k=1}^{k=m} I'_k l_{0k} \quad (3.29)$$

LINIA DWUSTRONNIE ZASILANA PRĄDU PRZEMIENNEGO I i II RODZAJU

Rozpływ prądów



Rys. 3.5. Linia II rodzaju dwustronnie zasilana prądem przemiennym

$$\sum_{k=1}^{k=m-1} I_k = I_0 + I_m \quad (3.36)$$

Jak suma prądów odbiorników rozłoży się na każdy z punktów zasilania? Podstawą obliczeń prądów zasilających jest przyjęcie, że: znane są prądy odbiorników, impedancje odcinkowe $Z_{(k-1)k}$ oraz napięcie $\Delta U_0 > \Delta U_m$. Strata napięcia ΔU_{om} wzdłuż linii równa jest sumie strat napięcia w poszczególnych odcinkach (od pkt. 0 do pkt. m) i opisana może być równaniem

$$\Delta U_{om} = \sum_{k=1}^{k=m} I_{(k-1)k} Z_{(k-1)k} \quad (3.37)$$

Nie znane prądy odcinkowe $I_{(k-1)k}$ wyrazić można znanymi prądami odbiorów (I_k) oraz nieznanym prądem zasilającym, np. I_0 .

Wówczas straty napięcia (określone metodą odcinkową) w poszczególnych odcinkach (po przekształceniach) zapisać można równaniem

$$\Delta U_{om} = I_{01} Z_{0m} - I_1 Z_{1m} - I_2 Z_{2m} - \dots - I_{(m-1)} Z_{(m-1)m} \quad (3.38)$$

zapisanym w postaci ogólnej

$$\Delta \underline{U}_{0m} = \underline{I}_{01} \underline{Z}_{0m} - \sum_{k=1}^{k=m-1} \underline{I}_k \underline{Z}_{km} \quad (3.39)$$

Z równania (3.39) wyznaczyć można prąd zasilający $\underline{I}_0 = \underline{I}_{01}$

$$\underline{I}_0 = \frac{\sum_{k=1}^{k=m-1} \underline{I}_k \underline{Z}_{km}}{\underline{Z}_{0m}} + \frac{\Delta \underline{U}_{0m}}{\underline{Z}_{0m}} \quad (3.40)$$

Postępując analogicznie określić można prąd zasilający $\underline{I}_m$ dopływający do linii z pkt. m

$$\underline{I}_m = \frac{\sum_{k=1}^{k=m-1} \underline{I}_k \underline{Z}_{k0}}{\underline{Z}_{0m}} - \frac{\Delta \underline{U}_{0m}}{\underline{Z}_{0m}} \quad (3.41)$$

Pierwszy człon ww. równań przedstawia *prądy składowe* (tj. prądy płynące w linii dwustronnie zasilanej przy jednakowym napięciu w punktach zasilania)

$$\underline{I}_{0s} = \frac{\sum_{k=1}^{k=m-1} \underline{I}_k \underline{Z}_{km}}{\underline{Z}_{0M}} \quad (3.42)$$

$$\underline{I}_{ms} = \frac{\sum_{k=1}^{k=m-1} \underline{I}_k \underline{Z}_{k0}}{\underline{Z}_{0M}} \quad (3.43)$$

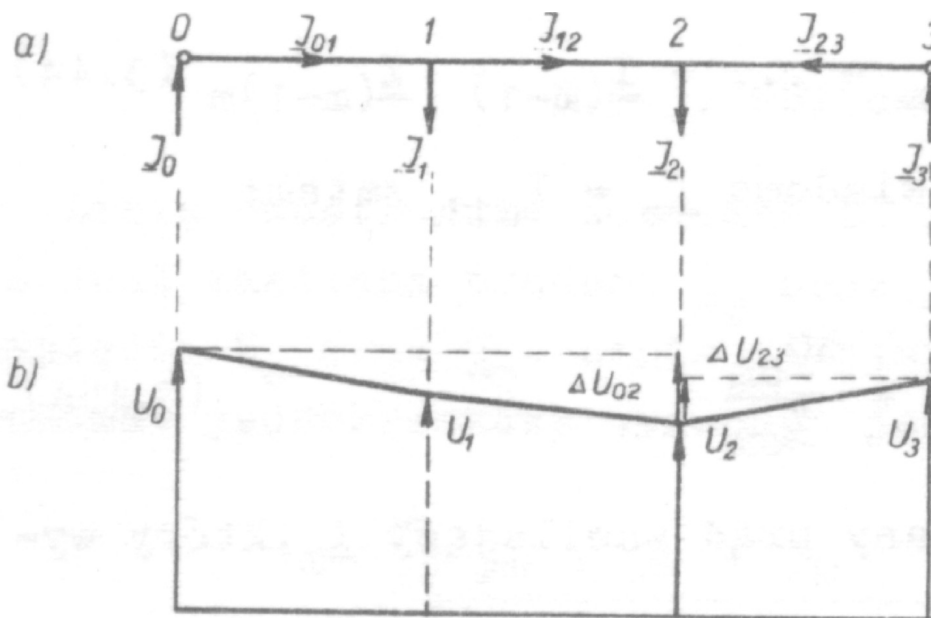
drugi człon, jednakowy w obydwu przypadkach, *prąd wyrównawczy* płynący wzdłuż całej linii wskutek istnienia różnicy geometrycznej napięć zasilających

$$\underline{I}_w = \frac{\Delta \underline{U}_{0m}}{\underline{Z}_{0m}} \quad (3.44)$$

Jeżeli napięcia zasilające są równe, wówczas w linii nie płynie prąd wyrównawczy a tylko prądy składowe.

Jeżeli prądy odbiorów są równe zeru, a napięcia zasilające nie są równe zero, wtedy w linii płynie tylko prąd wyrównawczy.

Rozpływ prądów w poszczególnych odcinkach uzyskuje się przez nałożenie prądów składowych i prądu wyrównawczego. [O kierunku prądu odcinkowego decyduje zawsze jego część rzeczywista.](#) W wyniku nałożenia może wystąpić w linii punkt o najniższym potencjale, zwany [punktem spływu prądów](#). Gdy nie ma ww punktu spływu, to wówczas jedno ze źródeł zasilających drugie.



Rys. 3.6. Przykładowy rozpływ prądów w linii dwustronnie zasilanej:
a) schemat jednokreskowy, b) wykres spadków napięć

Spadek napięcia

Spadek napięcia do punktu spływu 2 (rys. 3.6) można obliczyć albo od punktu O albo od punktu 3 (np. metodą węzłową). Dla linii II rodzaju spadek napięcia można zapisać równaniem

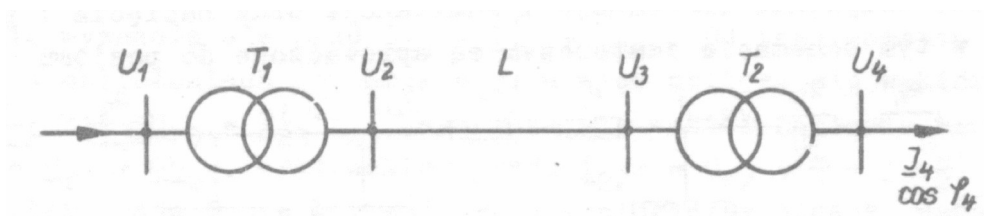
$$\Delta U_{02} = \sum_{k=1}^{k=2} (I'_{(k-1)k} R_{(k-1)k} - I''_{(k-1)k} X_{(k-1)k}) \quad (3.44)$$

Dla linii I rodzaju wzór (3.44) upraszcza się do postaci

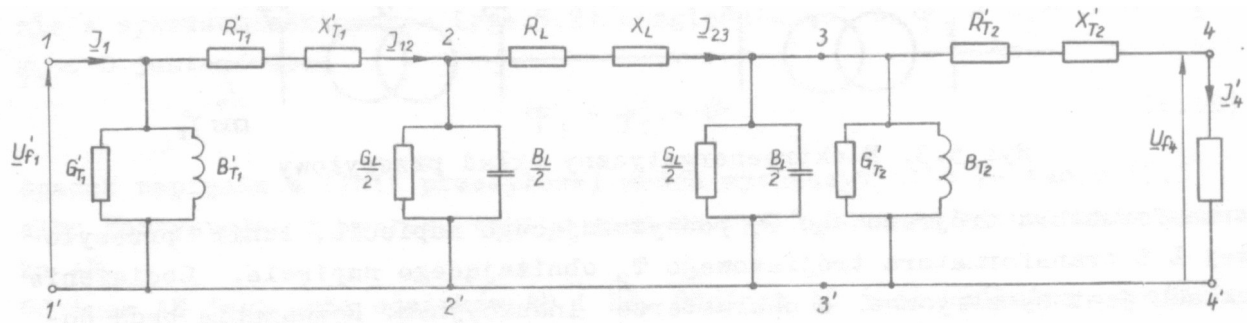
$$\Delta U_{02} = \sum_{k=1}^{k=2} I'_{(k-1)k} R_{(k-1)k} \quad (3.45)$$

Dla prądu stałego stosujemy wzór (3.45) z tą różnicą, że prąd $I'_{(k-1)k}$ zastępujemy prądem stałym.

OBLICZENIA SPADKU NAPIĘCIA W PROSTYCH UKŁADACH SIECIOWYCH



Rys. 3.9 Elektroenergetyczny układ przesyłowy



Rys. 3.10. Schemat zastępczy układu przesyłowego z rys. 3.9

$$Z' = Z (\vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \cdot \dots \cdot \vartheta_\alpha \cdot \dots \cdot \vartheta_m)^2$$

$$Y' = \frac{Y}{(\vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \cdot \dots \cdot \vartheta_\alpha \cdot \dots \cdot \vartheta_m)^2}$$

$$U' = U (\vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \cdot \dots \cdot \vartheta_\alpha \cdot \dots \cdot \vartheta_m)$$

$$I' = \frac{I}{\vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \cdot \dots \cdot \vartheta_\alpha \cdot \dots \cdot \vartheta_m}$$

(3.50)