



# محاسبات افت ولتاژ در شبکه های توزیع

بهنام محمدی ایواتلو، دانشگاه تبریز



# سرفصلها

■ مقدمه

■ افت ولتاژ شبکه ساده

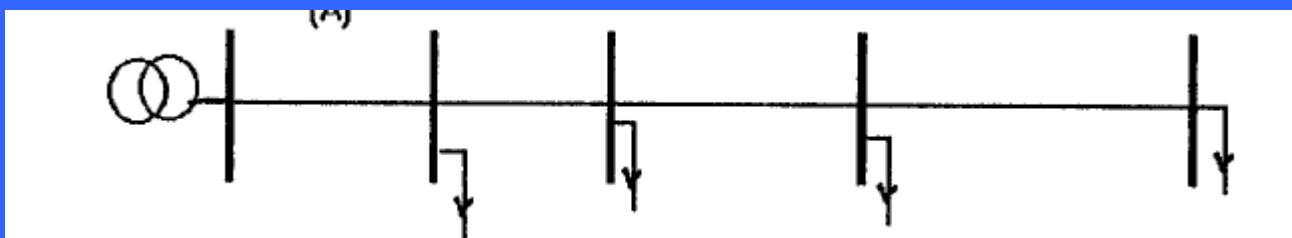
■ افت ولتاژ شبکه شعاعی

■ افت ولتاژ شبکه حلقوی

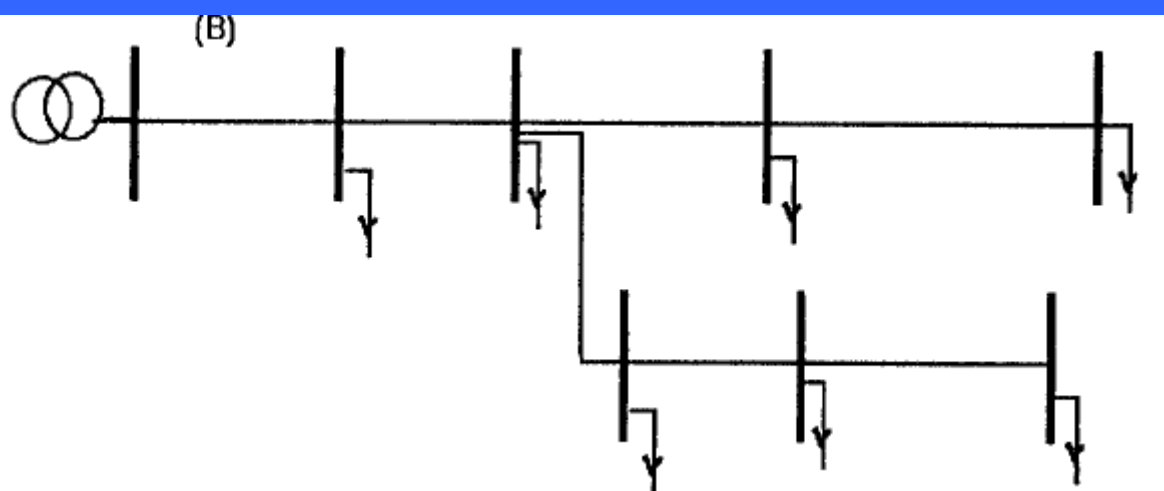
■ افت ولتاژ شبکه از دو سو تغذیه

# انواع شبکه های توزیع

■ شعاعی ساده

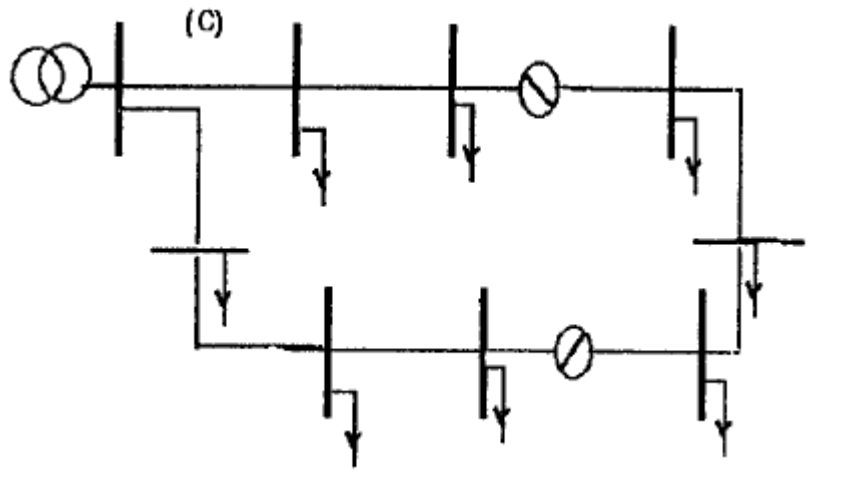


■ شعاعی مرکب

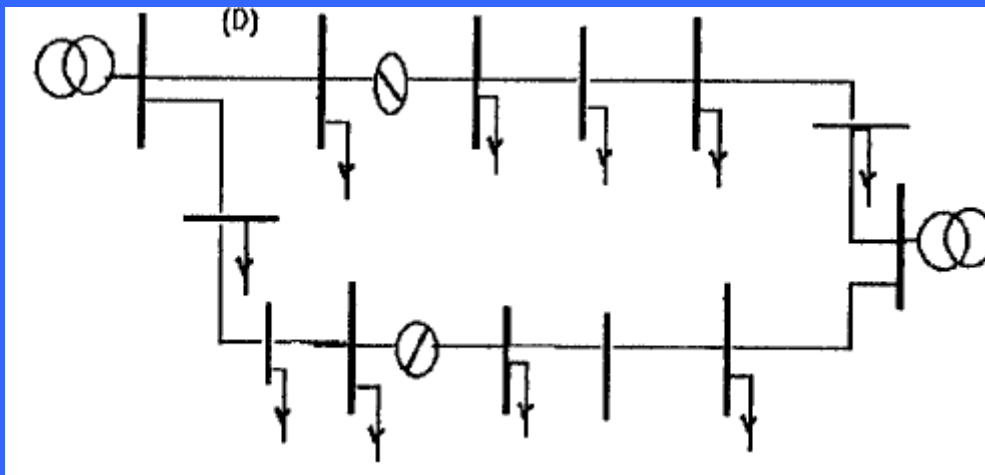


# انواع شبکه های توزیع

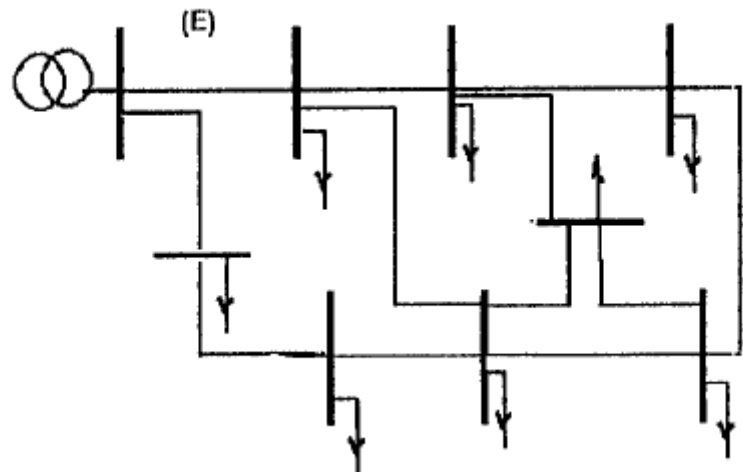
■ حلقوی با تغذیه از یکسو



■ حلقوی با تغذیه از دو سو

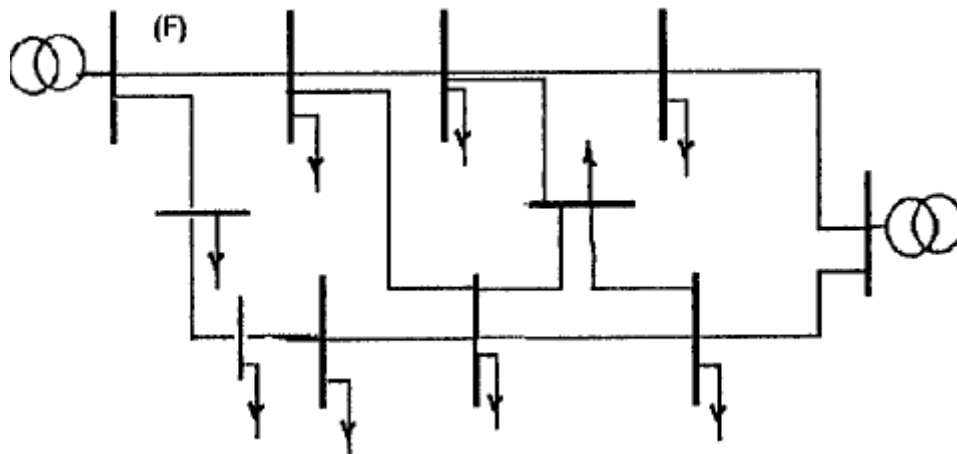


# انواع شبکه های توزیع



■ غربالی با تغذیه از یکسو

■ حلقوی با تغذیه از دو سو

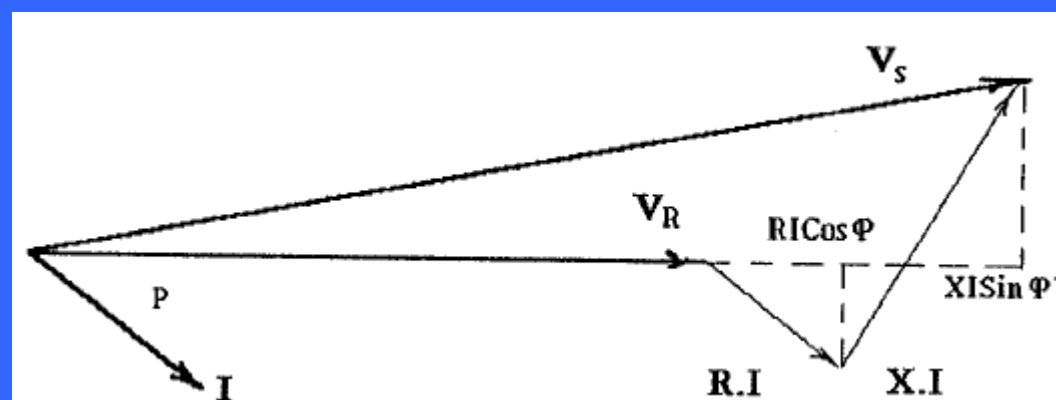
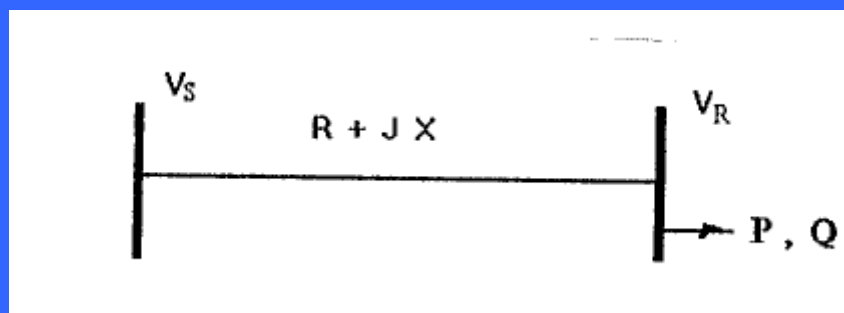


# تعاریف اولیه

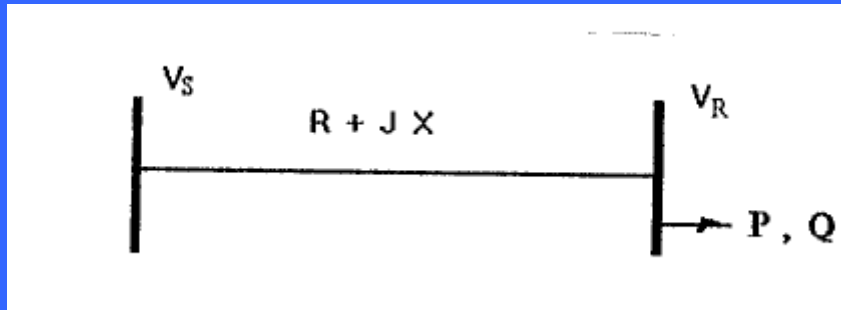
## افت ولتاژ مجاز

ولتاژ نامی شبکه	حداکثر افت ولتاژ مجاز در مناطق شهری	حداکثر افت ولتاژ مجاز در مناطق روستایی
خطوط توزیع ۲۰ کیلوولت	۲٪	۴٪
پست توزیع 20/0.4kV	۴٪	۴٪
خطوط توزیع فشار ضعیف	۳٪	۳٪
خطوط سرویس مشترکین	۱٪	۱٪
بعد از کنتور مشترکین	۵/۱٪ روشنایی و ۳٪ برای سایر مصارف	

# افت ولتاژ سیستم ساده



# افت ولتاژ سیستم ساده



$$V_d = I (R + jX) = I Z$$

$$V_s \approx V_r + I R \cos \phi + I X \sin \phi$$

$$\Delta V_s = V_s - V_r = I R \cos \phi + I X \sin \phi$$

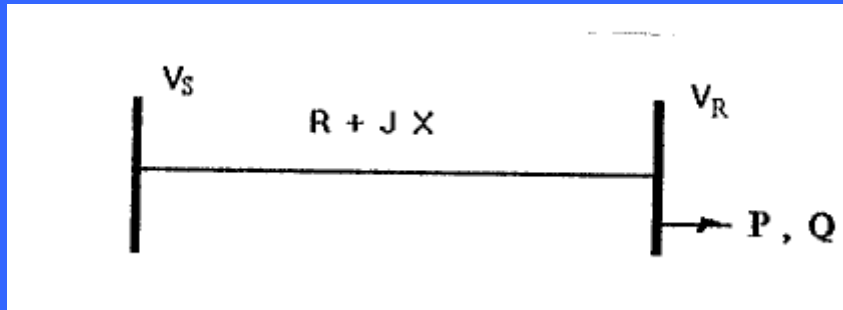
افت ولتاژ

$$\Delta U = \sqrt{3} \Delta V$$

افت ولتاژ خط به خط



# افت ولتاژ سیستم ساده



$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_r} \times 100$$

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_r} \times 100$$

درصد افت ولتاژ

$$P = 3 V_r I \cos \varphi = \sqrt{3} U_r I \cos \varphi$$

$$Q = 3 V_r I \sin \varphi = \sqrt{3} U_r I \sin \varphi$$



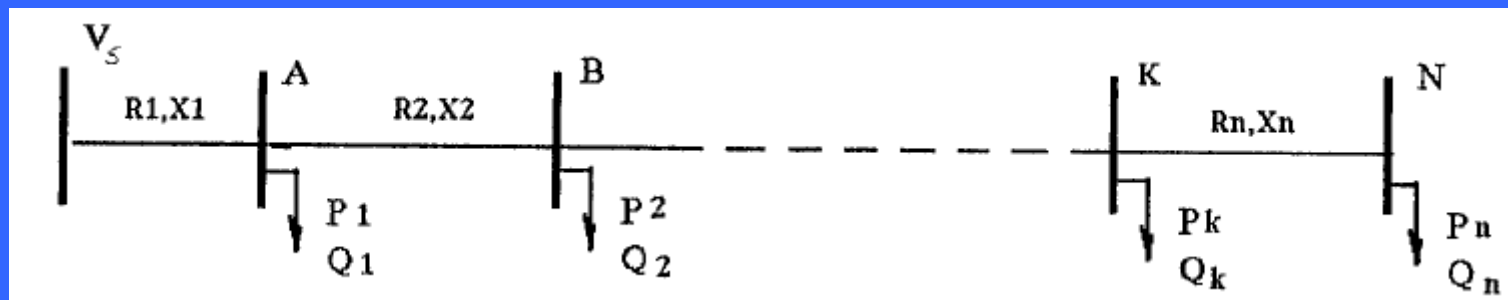
$$\Delta U = (\sqrt{3} I R \cos \varphi + \sqrt{3} I X \sin \varphi) \frac{U_r}{U_r}$$

$$\Delta U = \frac{R P + X Q}{U_r}$$

$$\Delta U\% = \frac{R P + X Q}{U_r^2} \times 100$$

را افت ولتاژ را کتبی و  $\frac{X Q}{U}$  را افت ولتاژ را کتبی می نامند  $\frac{R P}{U}$

# افت ولتاژ سیستم شعاعی در حالت کلی



$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \dots + \Delta U_n = \sum_{k=1}^n \Delta U_k$$

$$\Delta U = \frac{1}{U} \sum_{k=1}^n (R_k P_k^+ + X_k Q_k^+)$$

$P_k^+$  و  $Q_k^+$  کل توان اکتیو و راکتیو عبوری از  $k$  امین قطعه

# افت ولتاژ سیستم شعاعی در حالت کلی

$$\begin{aligned}R_1 P_1^+ + X_1 Q_1^+ &= R_1 (P_1 + P_2 + \dots + P_n) + X_1 (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n) \\P_2 P_2^+ + X_2 Q_2^+ &= R_2 (P_2 + \dots + P_n) + X_2 (Q_2 + \dots + Q_n) \\&\vdots \\P_n P_n^+ + X_n Q_n^+ &= R_n (P_n) + X_n (Q_n)\end{aligned}$$

با جمع کردن طرفین روابط فوق

$$\sum_{k=1}^n (R_k P_k^+ + X_k Q_k^+) = P_1 R_1 + P_2 (R_1 + R_2) + \dots + P_n (R_1 + \dots + R_n) + Q_1 X_1 + Q_2 (X_1 + X_2) + \dots + Q_n (X_1 + \dots + X_n)$$

$$\Delta U = \frac{1}{U} \sum_{k=1}^n (r_k P_k + x_k Q_k)$$

$r_k$  بعنوان مقاومت خط از ابتدا تا  $k$ امین مصرف کننده و  $x_k$  بعنوان راکتانس خط از ابتدا تا  $k$ امین مصرف کننده

# افت ولتاژ سیستم شعاعی در حالت کلی

■ با فرض معلوم بودن جریان و ضریب توان هر مصرف کننده

$$\Delta U = \sqrt{3} \sum_{k=1}^n \frac{I_k^+ L_k}{\epsilon_k A_k} \cos \phi_k + \sqrt{3} \sum_{k=1}^n I_k^+ L_k x_k \sin \phi_k$$

■ با فرض یکسان بودن سطح مقطع و ضریب توان تمام بارها

$$\Delta U = \sqrt{3} \left( \frac{1}{\epsilon A} + x \sin \phi \right) \sum_{k=1}^n I_k^+ L_k$$

$$\Delta U = \frac{1}{U} \left[ \left( \frac{1}{\epsilon A} + x \operatorname{tg} \phi \right) \sum_{k=1}^n L_k P_k^+ \right]$$

$$\Delta U = \frac{1}{U} \left[ \left( \frac{1}{\epsilon A} + x \operatorname{tg} \phi \right) \sum_{k=1}^n l_k P_k \right]$$

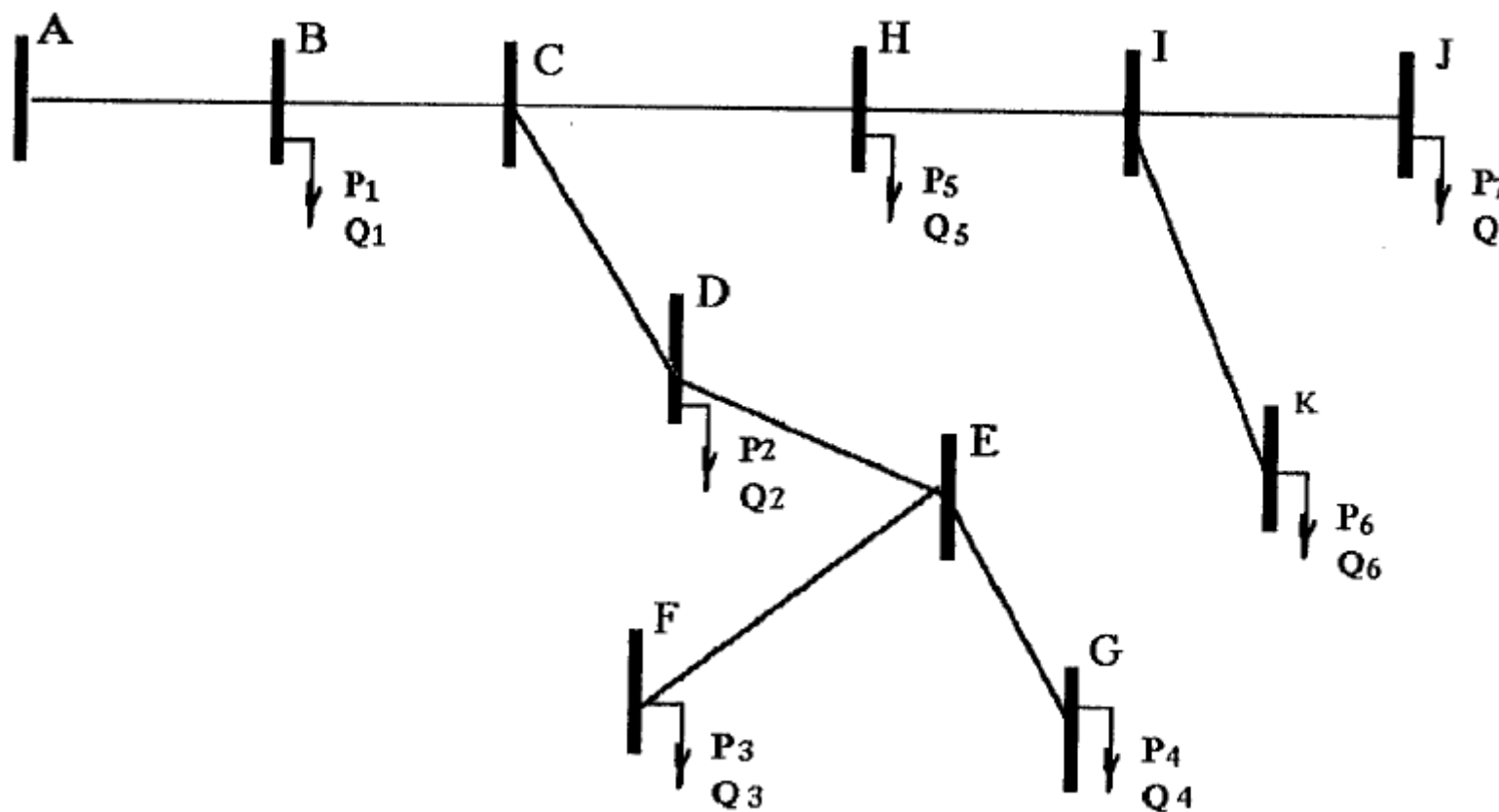
■ معادل است با:

$l_k$  بیانگر فاصله کامین مصرف کننده از شین تغذیه است

$L_k$  طول کامین قطعه

# افت ولتاژ سیستم شعاعی در حالت کلی

مثال: حداکثر افت ولتاژ



# افت ولتاژ سیستم شعاعی در حالت کلی

## ■ مثال: حداکثر افت ولتاژ

اطلاعات مربوط به شبکه فوق عبارت است از:

$$P_1 = 1200 \text{ KW} \text{ و } \cos \phi_1 = 0.9$$

$$P_2 = 1000 \text{ KW} \text{ و } \cos \phi_2 = 0.8$$

$$P_3 = 800 \text{ KW} \text{ و } \cos \phi_3 = 0.7$$

$$P_4 = 700 \text{ KW} \text{ و } \cos \phi_4 = 0.85$$

$$R_{AB} = 0.4 \Omega$$

$$R_{DE} = R_{EF} = 0.38 \Omega$$

$$R_{CH} = 0.35 \Omega$$

$$R_{HI} = 0.1 \Omega$$

$$P_5 = 500 \text{ KW} \text{ و } \cos \phi_5 = 0.9$$

$$P_6 = 800 \text{ KW} \text{ و } \cos \phi_6 = 0.7$$

$$P_V = 1000 \text{ KW} \text{ و } \cos \phi_V = 0.9$$

$$R_{BC} = R_{EG} = 0.3 \Omega$$

$$R_{CD} = R_{IJ} = 0.2 \Omega$$

$$R_{IK} = 0.25 \Omega$$

راکتانس خطوط مساوی مقاومت آنها فرض میشود.

# افت ولتاژ سیستم شعاعی در حالت کلی

ابتدا با داشتن توان اکتیو و ضریب قدرت، توان راکتیو مصرفی هر یک از بارها را محاسبه می‌کنیم:

$$Q = P \operatorname{tg} (\operatorname{Cos}^{-1} \phi)$$

$$Q_1 = 581/2 \text{ KVAR}$$

$$Q_2 = 750 \text{ KVAR}$$

$$Q_3 = 816/2 \text{ KVAR}$$

$$Q_4 = 433/8 \text{ KVAR}$$

$$Q_5 = 242/2 \text{ KVAR}$$

$$Q_6 = 816/2 \text{ KVAR}$$

$$Q_7 = 484/3 \text{ KVAR}$$

# افت ولتاژ سیستم شعاعی در حالت کلی

■ محاسبه توان عبوری خطوط

$$P_{IJ} = P_V = 1000 \text{ KW} , Q_{IJ} = Q_V = 484/3 \text{ KVAR}$$

$$P_{IK} = P_\varphi = 800 \text{ KW} , Q_{IK} = Q_\varphi = 816/2 \text{ KVAR}$$

$$P_{HI} = P_{IJ} + P_{IK} = 1800 \text{ KW} , Q_{HI} = Q_{IJ} + Q_{IK} = 1300/5 \text{ KVAR}$$

$$P_{CH} = P_{HI} + P_\delta = 2300 \text{ KW} , Q_{CH} = Q_{HI} + Q_\delta = 1542/7 \text{ KVAR}$$

$$P_{EG} = P_f = 700 \text{ KW} , Q_{EG} = Q_f = 423/8 \text{ KVAR}$$

$$P_{EF} = P_\gamma = 800 \text{ KW} , Q_{EF} = Q_\gamma = 816/2 \text{ KVAR}$$

$$P_{DE} = P_{EG} + P_{EF} = 1500 \text{ KW} , Q_{DE} = Q_{EG} + Q_{EF} = 1250 \text{ KVAR}$$

$$P_{CD} = P_{DE} + P_\gamma = 2500 \text{ KW} , Q_{CD} = Q_{DE} + Q_\gamma = 2000 \text{ KVAR}$$

$$P_{BC} = P_{CH} + P_{CD} = 4800 \text{ KW} , Q_{BC} = Q_{CH} + Q_{CD} = 3542/7 \text{ KVAR}$$

$$P_{AB} = P_{BC} + P_1 = 6000 \text{ KW} , Q_{AB} = Q_{BC} + Q_1 = 4212/9 \text{ KVAR}$$



# افت ولتاژ سیستم شعاعی در حالت کلی

افت ولتاژ قطعات مختلف 

$$\Delta U_{AC} = \frac{1}{U} [ (P_{AB} + R_{AB} + Q_{AB} + X_{AB}) + (P_{BC} + R_{BC} + Q_{BC} + X_{BC}) ] = 327/62 \quad \text{ولت}$$

$$\Delta U_{CI} = \frac{1}{U} [ (P_{CH} + R_{CH} + Q_{CH} + X_{CH}) + (P_{HI} + R_{HI} + Q_{HI} + X_{HI}) ] = 82/75 \quad \text{ولت}$$

$$\Delta U_{CE} = 97/25 \quad \text{ولت}$$

$$\Delta U_{EF} = 30/71 \quad \text{ولت}$$

$$\Delta U_{IK} = 20/20 \quad \text{ولت}$$

$$\Delta U_{EG} = 17/01 \quad \text{ولت}$$

$$\Delta U_{IJ} = 14/84 \quad \text{ولت}$$

# افت ولتاژ سیستم شعاعی در حالت کلی

■ محاسبه ولتاژ نقاط انتهایی

$$\Delta U_J = \Delta U_{AC} + \Delta U_{CI} + \Delta U_{IJ} = 327/62 + 82/75 + 14/84 = 425/21$$

$$\Delta U_K = \Delta U_{AC} + \Delta U_{CI} + \Delta U_{IK} = 327/62 + 82/75 + 20/20 = 430/57$$

$$\Delta U_F = \Delta U_{AC} + \Delta U_{CE} + \Delta U_{EF} = 327/62 + 97/25 + 30/71 = 455/58$$

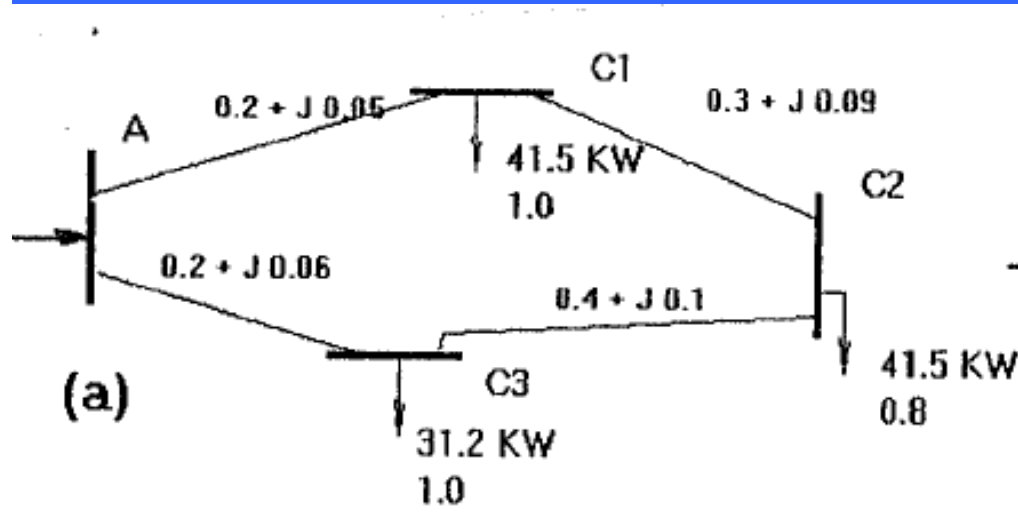
$$\Delta U_G = \Delta U_{AC} + \Delta U_{CE} + \Delta U_{FG} = 327/62 + 97/25 + 17/0.1 = 441/88$$

■ بیشترین افت ولتاژ در F

$$\Delta U_F\% = \frac{455/58}{20 \times 1.0^3} \times 100 = 2/28\% \approx 2/3\%$$

$$\Delta U_F\% = \frac{455/58}{20 \times 1.0^3 - 455/58} = 2/23\% \approx 2/3\%$$

# افت ولتاژ در شبکه های حلقوی



مثال

$$\phi_1 = \cos^{-1}(1) = 0$$

$$Q_1 = P_1 \tan(0) = 0$$

$$i_1 = \left( \frac{P_1 + jQ_1}{\sqrt{3}V} \right)^* = \left( \frac{41/0 + j0}{(\sqrt{3} \times 600)} \right)^* 1.0^2 = 39/9 \approx 4.33 \text{ A}$$

$$i_2 = \left( \frac{41/0 + 31/1.37}{\sqrt{3} \times 600} \right)^* 1.0^2 = 39/9 - j29/90 \approx 4.33 - j3.22 \text{ A}$$

$$i_3 = \left( \frac{31/2 + j0}{\sqrt{3} \times 600} \right)^* 1.0^2 = 30/0.2 \approx 3 \text{ A}$$

$$\phi_2 = \cos^{-1}(0.8) = 36.87^\circ$$

$$Q_2 = 41/0 \tan 36.87^\circ = 31/1.37$$

$$\phi_3 = \cos^{-1}(1) = 0$$

$$Q_3 = 0$$

# افت ولتاژ در شبکه های حلقوی

■ حل: با روش جریان فرضی

$$i_{AC1} = i_p + j i_q \quad A$$

$$i_{C1Cr} = (i_p - 40) + j i_q \quad A$$

$$i_{CrCr} = (i_p - 80) + j (i_q + 30) \quad A$$

$$i_{CrA1} = (i_p - 110) + j (i_q + 30) \quad A$$

■ نوشتن KVL در حلقه

$$(i_p + j i_q)(0.2 + j0.5) + [(i_p - 40) + j i_q] (0.3 + j 0.9) + [(i_p - 80) + j (i_q + 30)] (0.4 + j 0.1) + [(i_p - 110) + j (i_q + 30)] (0.2 + j 0.6) = 0$$

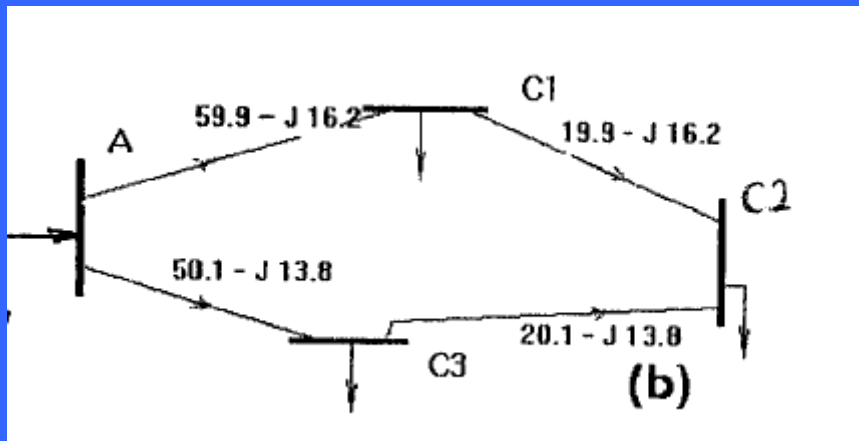
$$1/1 i_p - 0/3 i_q - 70/8 = 0$$

$$0/3 i_p - 1/1 i_q - 0/2 = 0$$

$$i_p = 59/9, i_q = -16/2 \Rightarrow i = 59/9 - j 16/2 A$$

# افت ولتاژ در شبکه های حلقوی

■ مشخص کردن جریان هر شاخه



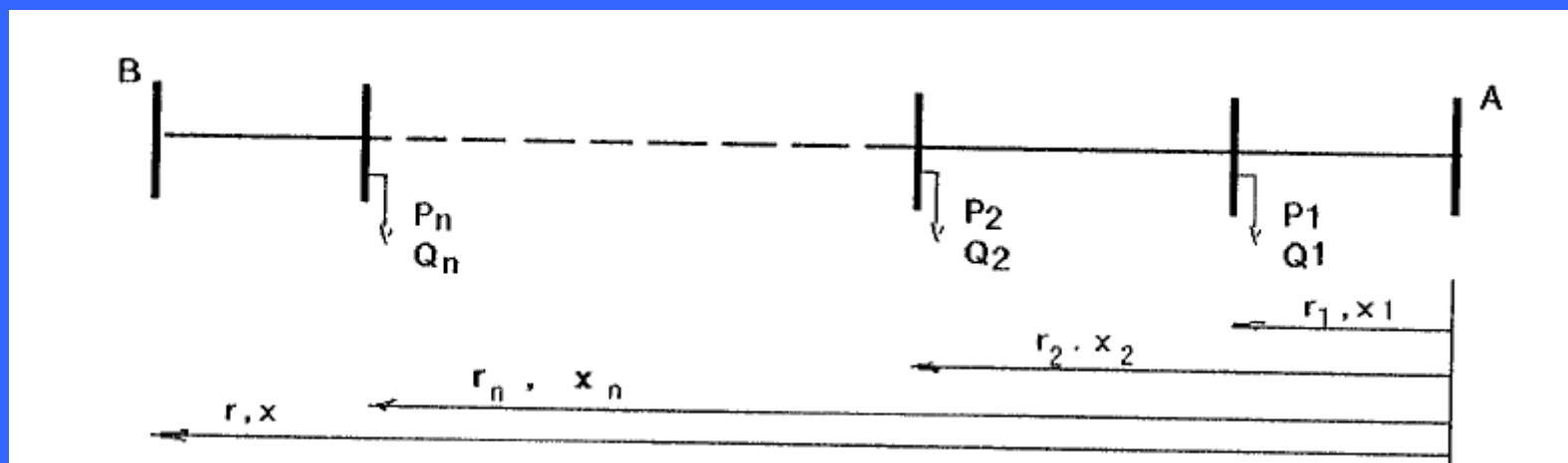
■ باری که از دو طرف تغذیه گردد بیشترین افت ولتاژ

$$\Delta V_r = (59.9 - j16.2)(0.2 + j0.05) + (19.9 - j16.2)(0.3 + j0.09) = 20.22 - j3.31 = 20.5 \angle -9.3^\circ$$

$$\Delta U_r = \sqrt{3} \Delta V_r = 35.5 \quad \text{ولت}$$

$$\Delta U_r \% = \frac{35.5}{600 - 35.5} \cdot 100 = 6.3\%$$

# افت ولتاژ در شبکه های دو سو تغذیه



■ افت ولتاژ بین دو سر انتهایی

$$\Delta U_{AB} = [P_1 r_1 + Q_1 X_1 + P_2 r_2 + Q_2 X_2 + \dots + P_n r_n + Q_n X_n + (-P_B) r + (-Q_B) X] / U$$

# افت ولتاژ در شبکه های از دو سو تغذیه

■ اگر ولتاژها یکسان باشند

$$P_1 r_1 + P_2 r_2 + \dots + P_n r_n - P_B r = 0$$
$$Q_1 X_1 + Q_2 X_2 + \dots + Q_n X_n - Q_B X = 0$$

$$P_B = \frac{P_1 r_1 + P_2 r_2 + \dots + P_n r_n}{r} = \frac{M_A}{r}$$
$$Q_B = \frac{Q_1 X_1 + Q_2 X_2 + \dots + Q_n X_n}{X} = \frac{N_A}{X}$$

$M_A$  گشتاور بار حقیقی نسبت به نقطه  $A$  و  $N_A$  گشتاور بار راکتیو نسبت به این نقطه.

# افت ولتاژ در شبکه های از دو سو تغذیه

■ اگر ولتاژها یکسان باشند

$$P_1 r_1 + P_2 r_2 + \dots + P_n r_n - P_B r = 0$$
$$Q_1 X_1 + Q_2 X_2 + \dots + Q_n X_n - Q_B X = 0$$

$$P_B = \frac{P_1 r_1 + P_2 r_2 + \dots + P_n r_n}{r} = \frac{M_A}{r}$$
$$Q_B = \frac{Q_1 X_1 + Q_2 X_2 + \dots + Q_n X_n}{X} = \frac{N_A}{X}$$

$M_A$  گشتاور بار حقیقی نسبت به نقطه  $A$  و  $N_A$  گشتاور بار راکتیو نسبت به این نقطه.