

# ЗАГУБА НА НАПОН ВО ДИСТРИБУТИВНИ ВОДОВИ

- **Погонски напон**

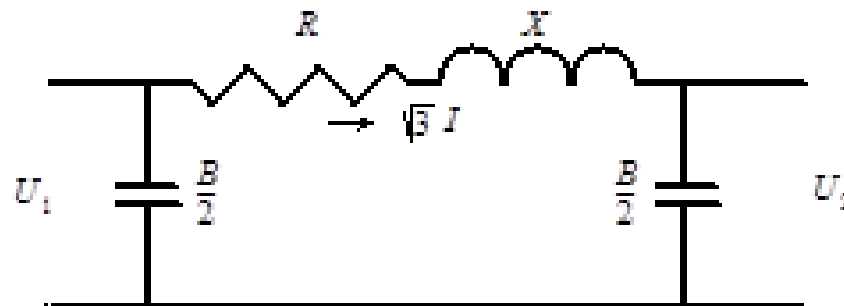
- е напонот на кој приемникот е приклучен (работи)
- најчесто погонскиот напон не е еднаков на номиналниот
  - карактеристиките на електричниот приемник можат да се разликуваат од номиналните.
    - ако погонскиот напон е за 10% понизок од номиналниот:
      - » стандардните сијалици со метално влакно имаат светлински флукс 30% помал од номиналниот
      - » максималниот вртлив момент на асинхроните мотори е за 19% помал од номиналниот.
- негативни последици во случаите кога погонскиот напон е повисок од номиналниот
  - најчестата штета што тогаш се јавува е скратување на трајноста на електричните приемници
    - 10% повисок напон од номиналниот:
      - » трајноста на сијалица со метално влакно паѓа на само 27% од номиналната трајност
      - » кај електричните машини и кај трансформаторите повисокиот погонски напон условува поголеми загуби на моќност.

- На електричните приемници да им се обезбеди погонски напон што е еднаков на номиналниот или од номиналниот малку се разликува

# ЗАГУБА НА НАПОН ВО ДИСТРИБУТИВНИ ВОДОВИ

- Во минатото дозволените загуби на напон се определувале во најнеповолниот случај (најголемо врвно оптоварување)
- Стандардот МКС EN 50160:2012 – Карактеристики на напонот при испорака на електрична енергија преку јавни електроенергетски мрежи, меѓудругото, пропишува колку треба да отстапува на напонот кај потрошувачите
  - отстапувањата се изразени како % од номиналниот напон
  - „при нормални работни услови, исклучувајќи ги напонските прекини, во секој период од една недела 95% од 10 минутните ефективни вредности на напонот во напојната точка треба да биде во границите од  $U_c \pm 10\%$ “
    - најчесто  $U_c$  е еднаков на номиналниот напон на мрежата, освен ако дистрибутивниот оператор и корисникот не се договорат поинаку
- За да се постигнат барањата од МКС EN 50160 треба соодветно внимание да му се посвети на димензионирањето на секој елемент на дистрибутивната мрежа и да се искористат сите можности за соодветна регулација на напонот во сите делови на ЕЕС

# ЗАГУБА НА НАПОН ВО ДИСТРИБУТИВНИ ВОДОВИ



$$\Delta \underline{U} = \underline{U}_1 - \underline{U}_2 = \sqrt{3} \cdot (R + jX) \cdot \underline{I} = \sqrt{3} \cdot (R + jX) \cdot (I \cdot \cos \varphi - j \cdot I \cdot \sin \varphi)$$

$$\Delta \underline{U} = \sqrt{3} \cdot (R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi) + j\sqrt{3} \cdot (X \cdot I \cdot \cos \varphi - R \cdot I \cdot \sin \varphi)$$

- Кај среднапонските и нисконапонските водови разликата на фазните агли на напоните на почетокот и на крајот на водот е многу мала
  - ако се земе фазниот агол на напонот на почетокот на водот да биде еднаков на нула, фазниот агол на напонот на крајот на водот ќе биде со многу мала апсолутна вредност.

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

# ЗАГУБА НА НАПОН ВО ДИСТРИБУТИВНИ ВОДОВИ

- Ако струјата во водот се изрази преку напонот на крајот на водот  $U_2$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$Q_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I \cdot \sin \varphi + \frac{Q_{\text{вод}}}{2}$$

$$Q_{\text{вод}} = U_2^2 \cdot B$$

$$\Delta U = \frac{P_2 \cdot R + \left( Q_2 - \frac{Q_{\text{вод}}}{2} \right) \cdot X}{U_2}$$

# ЗАГУБА НА НАПОН ВО ДИСТРИБУТИВНИ ВОДОВИ

- Ако струјата во водот се изрази преку напонот на почетокот на водот  $U_1$

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$Q_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I \cdot \sin \varphi - \frac{Q_{\text{ВОД}}}{2}$$

$$\Delta U = \frac{P_1 \cdot R + \left( Q_1 + \frac{Q_{\text{ВОД}}}{2} \right) \cdot X}{U_1}$$

$$\Delta U = \frac{P_2 \cdot R + \left( Q_2 - \frac{Q_{\text{ВОД}}}{2} \right) \cdot X}{U_2}$$

$$\Delta U = \frac{P_1 \cdot R + \left( Q_1 + \frac{Q_{\text{ВОД}}}{2} \right) \cdot X}{U_1}$$

$$\Delta u = \frac{100 \cdot \Delta U}{U_{\text{НОМ.}}}$$

- Познати се напонот на почетокот на водот  $U_1$  и моќностите на крајот на водот  $P_2$  и  $Q_2$

# ЗАГУБА НА НАПОН ВО ДИСТРИБУТИВНИ ВОДОВИ

- Напонот на крајот на водот малку се разликува од номиналниот (за добро проектирана мрежа)

$$U_2 \approx U_{\text{НОМ.}} \Rightarrow \Delta U \approx \frac{P_2 \cdot R + \left( Q_2 - \frac{Q_{\text{ВОД}}}{2} \right) \cdot X}{U_{\text{НОМ.}}}$$

$$\Delta u = \frac{100 \cdot \Delta U}{U_{\text{НОМ.}}}$$

$$\Delta u = \frac{100}{U_{\text{НОМ.}}^2} \left[ P_2 \cdot R + \left( Q_2 - \frac{Q_{\text{ВОД}}}{2} \right) \cdot X \right]$$

- За помали номинални напони ( $< 10 \text{ kV}$ )  $Q_2 \gg Q_{\text{ВОД}}$

$$\Delta u = \frac{100}{U_{\text{НОМ.}}^2} [P_2 \cdot R + Q_2 \cdot X]$$

# ТРИФАЗЕН УРАМНОТЕЖЕН НИСКОНАПОНСКИ ВОД

- Кај водовите со номинален напон помал од 10 kV (надземни и кабелски)  
 $Q_2 \gg Q_{\text{вод}}$

$$\Delta u = \frac{100}{U_{\text{НОМ.}}^2} [P_2 \cdot R + Q_2 \cdot X]$$

$$\Delta u = \frac{100 \cdot P_2 \cdot R}{U_{\text{НОМ.}}^2} \left( 1 + \frac{X}{R} \cdot \frac{Q_2}{P_2} \right)$$

$$\frac{Q_2}{P_2} = \text{tg} \varphi$$

$$\frac{X}{R} = \frac{x}{r}$$

$$\Delta u = \frac{100 \cdot P_2 \cdot R}{U_{\text{НОМ.}}^2} \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

# ТРИФАЗЕН УРАМНОТЕЖЕН НИСКОНАПОНСКИ ВОД

- Кај водовите со номинален напон помал од 10 kV (надземни и кабелски)  
 $Q_2 \gg Q_{\text{вод}}$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

$$\Delta u = \frac{100 \cdot \rho}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot \frac{P_2 \cdot l}{S} \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

$$K = \frac{U_{\text{НОМ.}}^2}{100 \cdot \rho}$$

$$\Delta u = \frac{P_2 \cdot l}{K \cdot S} \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

$$\Delta u = \frac{P \cdot l}{K \cdot S} \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$



# ТРИФАЗЕН УРАМНОТЕЖЕН НИСКОНАПОНСКИ ВОД

- За  $U_{\text{НОМ.}} = 400 \text{ V}$

Материјал	К (kW·m/mm <sup>2</sup> )	
	Температура на околината	
	20°C	30°C
Бакар	87	84
Алуминиум	53	51

- За водови со релативно мали напречни пресеци (16 mm<sup>2</sup> Cu или 25 mm<sup>2</sup> Al) или кога факторот на моќност е релативно висок (блиску до 1)

$$\frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \ll 1$$

$$\Delta u = \frac{P \cdot l}{K \cdot S}$$

# МОНОФАЗЕН НИСКОНАПОНСКИ ВОД

- Кај монофазните водови

$$R_{\text{вод}} = R_{\text{фазен}} + R_{\text{неутрален}}$$

$$R_{\text{вод}} = 2 \cdot r \cdot l$$

$$X_{\text{моноф.вод}} = 2 \cdot X_{\text{трифаз.вод}} = 2 \cdot x \cdot l$$

$$\Delta u = \frac{200 \cdot \rho}{U_{\text{ном.фаз.}}^2} \cdot \frac{P \cdot l}{S} \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

$$K_{\phi} = \frac{U_{\text{ном.фаз.}}^2}{200 \cdot \rho}$$

$$\Delta u = \frac{P \cdot l}{K_{\phi} \cdot S} \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

# МОНОФАЗЕН НИСКОНАПОНСКИ ВОД

- За  $U_{\text{ном.фаз.}} = 230 \text{ V}$

Материјал	$K_{\phi}$ (kW·m/mm <sup>2</sup> )	
	Температура на околината	
	20°C	30°C
Бакар	14.5	14
Алуминиум	8.8	8.5

- За водови со релативно мали напречни пресеци (16 mm<sup>2</sup> CU или 25 mm<sup>2</sup> Al) или кога факторот на моќност е релативно висок (блиску до 1)

$$\frac{x}{r} \cdot \text{tg}\varphi \ll 1$$

$$\Delta u = \frac{P \cdot l}{K_{\phi} \cdot S}$$

# НИСКОНАПОНСКИ ВОДОВИ

- Влијанието на температурата на околината е многу мало (<5%)

$$\rho_{\text{Cu},20^{\circ}\text{C}} = 0.0183 \Omega \cdot \text{m}/\text{mm}^2$$

$$\rho_{\text{Al},20^{\circ}\text{C}} = 0.0300 \Omega \cdot \text{m}/\text{mm}^2$$

$$\rho_{t^{\circ}\text{C}} = \rho_{20^{\circ}\text{C}} [1 + \alpha \cdot (t - 20)]$$

$$\alpha_{\text{Cu}} = 0.00393 \text{ 1}/^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{\text{Al}} = 0.00403 \text{ 1}/^{\circ}\text{C}$$

Материјал	K (kW·m/mm <sup>2</sup> )	
	Температура на околината	
	20°C	30°C
Бакар	87	84
Алуминиум	53	51

Материјал	K <sub>ф.</sub> (kW·m/mm <sup>2</sup> )	
	Температура на околината	
	20°C	30°C
Бакар	14.5	14
Алуминиум	8.8	8.5

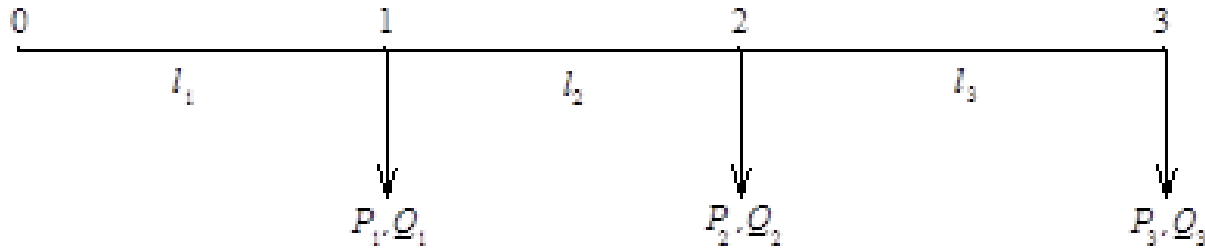
- Ако не се знае активната отпорност на водот

$$R_{\text{Cu}} = \frac{18.3}{S}$$

$$R_{\text{Al}} = \frac{30}{S}$$

# ЗАГУБА НА НАПОН

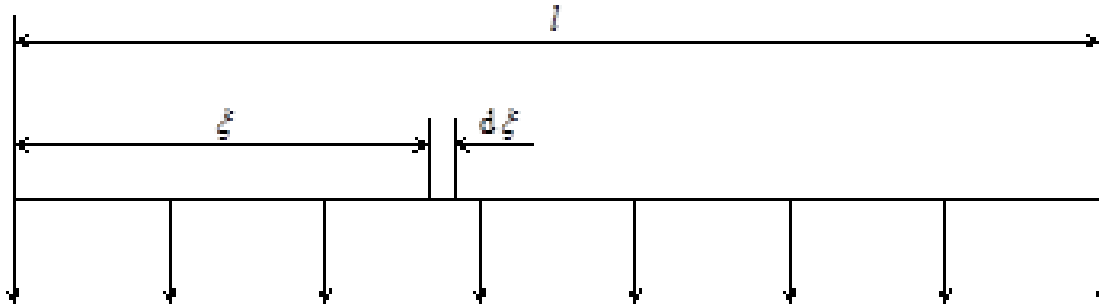
- Загуба на напон на редно врзани водови



$$\Delta u \approx \Delta u_1 + \Delta u_2 + \Delta u_3 = \sum_{i=1}^3 \Delta u_i$$

# ЗАГУБА НА НАПОН

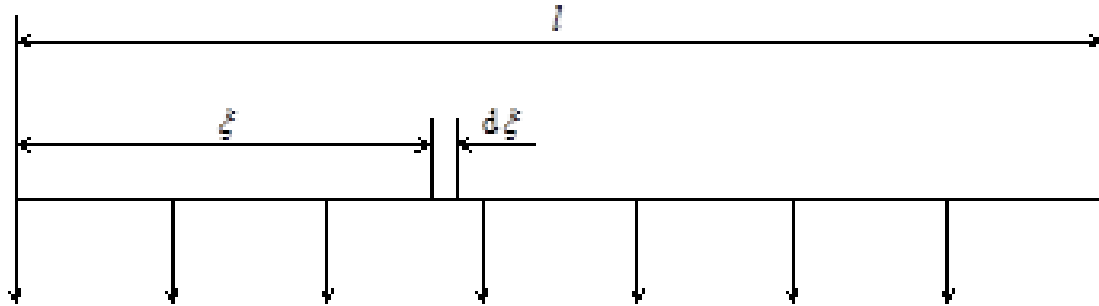
- Трифазен урамнотежен вод со рамномерно распределено оптоварување
  - вкупното оптоварување на водот е рамномерно распределено по единица должина, т.е.  $p=P/l$  и  $q=Q/l$
  - за елементот со должина  $d\xi$  и кој се наоѓа на растојание  $\xi$  од почетокот на водот
    - активното и реактивното оптоварување се  $p \cdot (l-\xi)$  и  $q \cdot (l-\xi)$
    - активната и реактивната отпорност се  $r \cdot d\xi$  и  $x \cdot d\xi$



$$d(\Delta u) = \frac{100}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot (p \cdot r + q \cdot x) \cdot (l - \xi) \cdot d\xi$$

# ЗАГУБА НА НАПОН

- Трифазен урамнотежен вод со рамномерно распределено оптоварување
- За загубата на напон на крајот на водот се добива



$$d(\Delta u) = \frac{100}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot (p \cdot r + q \cdot x) \cdot (l - \xi) \cdot d\xi$$

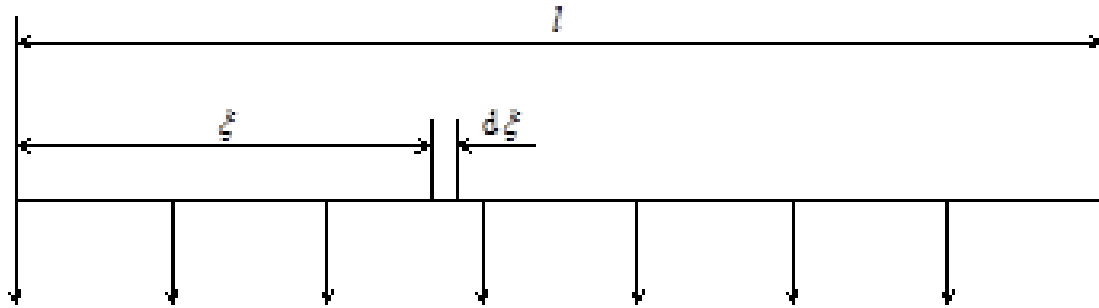
$$\Delta u = \int_0^l d(\Delta u) \cdot d\xi$$

$$\Delta u = \frac{100}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot (p \cdot r + q \cdot x) \cdot \int_0^l (l - \xi) \cdot d\xi$$

$$\Delta u = \frac{100 \cdot p \cdot r}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \frac{q}{p} \right) \cdot \frac{l^2}{2}$$

# ЗАГУБА НА НАПОН

- Трифазен урамнотежен вод со рамномерно распределено оптоварување



$$\Delta u = \frac{100 \cdot p \cdot r}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \frac{q}{p} \right) \cdot \frac{l^2}{2}$$

$$\Delta u = \frac{100}{2 \cdot U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot (P \cdot R + Q \cdot X) = \frac{100 \cdot P \cdot R}{2 \cdot U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right) \quad K = \frac{U_{\text{НОМ.}}^2}{100 \cdot \rho}$$

$$\Delta u = \frac{P \cdot l}{2 \cdot K \cdot S} \cdot \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

$$\Delta u = \frac{P \cdot l}{K \cdot S} \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

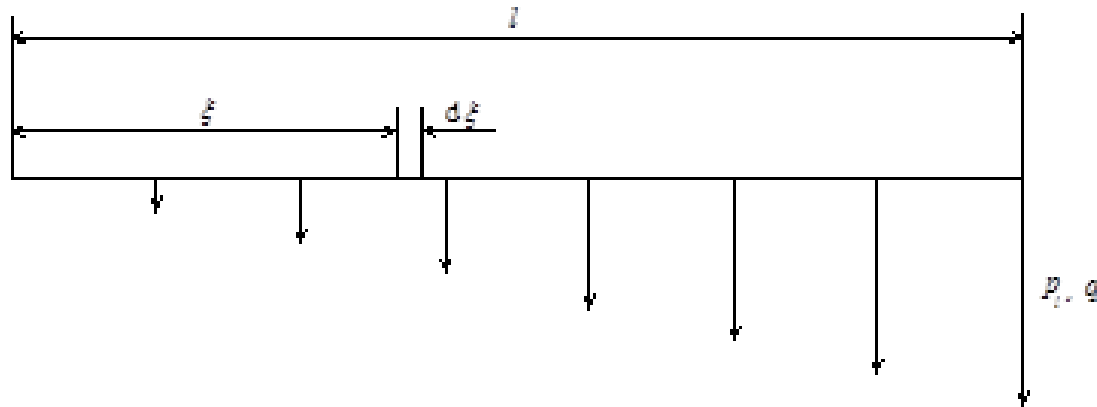


# ЗАГУБА НА НАПОН

- Трифазен урамнотежен вод со линейно растечко распределено оптоварување
  - активното и реактивното оптоварување по единица должина се  $p_l \cdot \xi/l$  и  $q_l \cdot \xi/l$
  - за елементот со должина  $d\xi$  и кој се наоѓа на растојание  $\xi$  од почетокот на водот
    - активната и реактивната отпорност се  $r \cdot d\xi$  и  $x \cdot d\xi$
    - активното и реактивното оптоварување се

$$P_\xi = \int_\xi^l p_\xi \cdot d\xi = \int_\xi^l p_l \cdot \frac{\xi}{l} \cdot d\xi = \frac{p_l}{2 \cdot l} \cdot (l^2 - \xi^2)$$

$$Q_\xi = \int_\xi^l q_\xi \cdot d\xi = \int_\xi^l q_l \cdot \frac{\xi}{l} \cdot d\xi = \frac{q_l}{2 \cdot l} \cdot (l^2 - \xi^2)$$

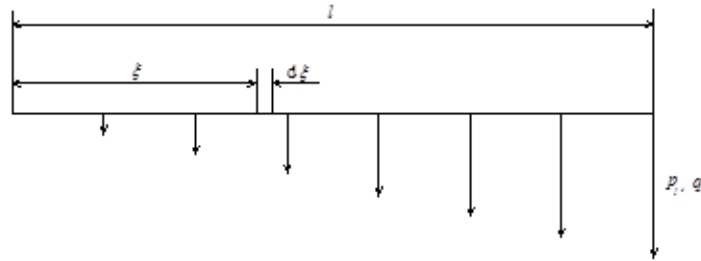


$$P = \frac{p_l \cdot l}{2}$$

$$Q = \frac{q_l \cdot l}{2}$$

## ЗАГУБА НА НАПОН

- Трифазен урамнотежен вод со линеарно растечко распределено оптоварување



$$P_{\xi} = \int_{\xi}^l p_{\xi} \cdot d\xi = \int_{\xi}^l p_l \cdot \frac{\xi}{l} \cdot d\xi = \frac{p_l}{2 \cdot l} \cdot (l^2 - \xi^2)$$

$$Q_{\xi} = \int_{\xi}^l q_{\xi} \cdot d\xi = \int_{\xi}^l q_l \cdot \frac{\xi}{l} \cdot d\xi = \frac{q_l}{2 \cdot l} \cdot (l^2 - \xi^2)$$

- Загубата на напон во елементот со должина  $d\xi$

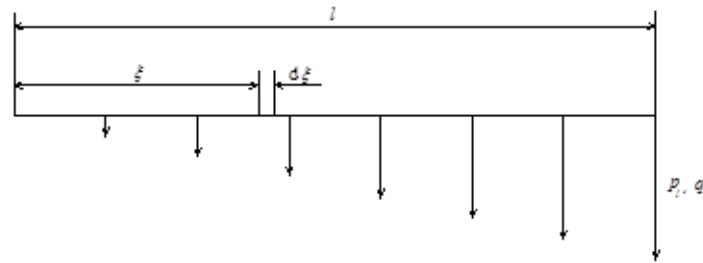
$$d(\Delta u) = \frac{100}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot (P_{\xi} \cdot r \cdot d\xi + Q_{\xi} \cdot x \cdot d\xi)$$

$$\Delta u = \int_0^l d(\Delta u) \cdot d\xi$$

$$\Delta u = \frac{100}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot \int_0^l (P_{\xi} \cdot r \cdot d\xi + Q_{\xi} \cdot x \cdot d\xi)$$

## ЗАГУБА НА НАПОН

- Трифазен урамнотежен вод со линейно растечко распределено оптоварување



$$\Delta u = \frac{100}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot \int_0^l (P_{\xi} \cdot r \cdot d\xi + Q_{\xi} \cdot x \cdot d\xi)$$

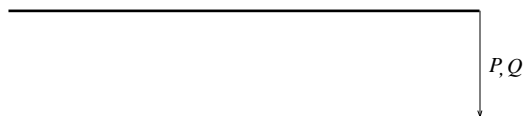
$$\Delta u = \frac{100}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot \int_0^l \left( \frac{p_l}{2 \cdot l} \cdot (l^2 - \xi^2) \cdot r + \frac{q_l}{2 \cdot l} \cdot (l^2 - \xi^2) \cdot x \right) \cdot d\xi$$

$$\Delta u = \frac{100}{3 \cdot U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot (p_l \cdot r + q_l \cdot x) \cdot l^2$$

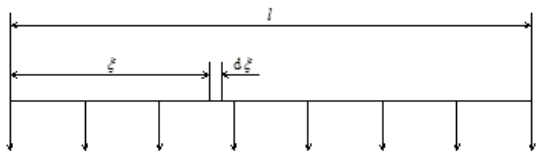
$$\Delta u = \frac{2}{3} \cdot \frac{100}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot (P \cdot R + Q \cdot X) = \frac{2}{3} \cdot \frac{100 \cdot P \cdot R}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

# ЗАГУБА НА НАПОН

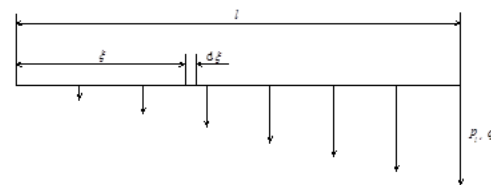
- Трифазани урамнотежени вод со различно распределени оптоварувања



$$\Delta u = \frac{100 \cdot P \cdot R}{U_{\text{НОМ.}}^2} \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$



$$\Delta u = \frac{100 \cdot P \cdot R}{2 \cdot U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

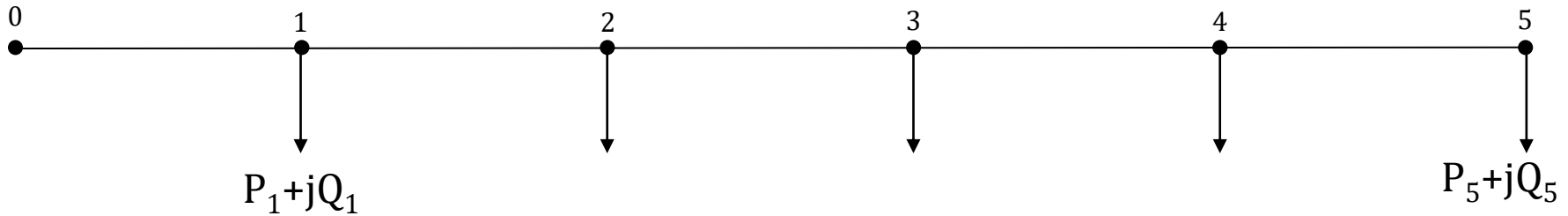


$$\Delta u = \frac{2}{3} \cdot \frac{100 \cdot P \cdot R}{U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$



# ЗАГУБА НА НАПОН

- За еден 10 kV извод (надземен вод со спроводници 36/6 - Al/Ѓ) со пет потрошувачи (ТС СН/НН) да се пресметаат загубите на напон
  - приближна пресметка
  - приближна пресметка сметајќи дека вкупното оптоварување е рамномерно распределено по должината на изводот
  - точна пресметка со методот на сумирање на струи



Напоен јазол	0
$U_{nom}$ (kV)	10
$S_b$ (kVA)	1000
$U_0$ (p.u.)	1

Пос	Крај	L (km)	r ( $\Omega$ /km)	x ( $\Omega$ /km)
0	1	2.000	0.83530	0.37000
1	2	2.000	0.83530	0.37000
2	3	2.000	0.83530	0.37000
3	4	2.000	0.83530	0.37000
4	5	2.000	0.83530	0.37000

Јазли	Pload (kW)	Qload (kvar)
1	204.00	66.00
2	204.00	66.00
3	204.00	66.00
4	204.00	66.00
5	204.00	66.00

# ЗАГУБА НА НАПОН

– приближна пресметка

- загубите на моќност и генерираните реактивни моќности во водовите се занемарени

$$\Delta u = \frac{100 \cdot P \cdot L \cdot r}{U_{\text{НОМ.}}^2} \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

Un (kV)	Почеток	Крај	P (kW)	Q (kvar)	x/r	tan(φ)	L (km)	Δu (%)	ΣΔu (%)
10	0	1	1,020.00	330.00	0.4430	0.3235	2.000	1.95	1.95
	1	2	816.00	264.00	0.4430	0.3235	2.000	1.56	3.51
	2	3	612.00	198.00	0.4430	0.3235	2.000	1.17	4.68
	3	4	408.00	132.00	0.4430	0.3235	2.000	0.78	5.45
	4	5	204.00	66.00	0.4430	0.3235	2.000	0.39	5.84

– приближна пресметка со рамномерно распределено оптоварување

- загубите на моќност и генерираните реактивни моќности во водовите се занемарени

$$\Delta u = \frac{100}{2 \cdot U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot (P \cdot R + Q \cdot X) = \frac{100 \cdot P \cdot L \cdot r}{2 \cdot U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

Un (kV)	P (kW)	Q (kvar)	x/r	tan(φ)	L (km)	Δu (%)
10	1,020.00	330.00	0.4430	0.3235	10.00	4.87

# ЗАГУБА НА НАПОН

- пресметка со помош на методот за сумирање струи
  - генерираните реактивни моќности во водовите се занемарени

Итерации	4
Рвкупно (kW)	1,066.823
ΔP (kW)	46.830
Ропт. (kW)	1,020.000
Рген. (kW)	0.000
ΔP	4.39%
ΔUmin	-6.17%
ΔUmax	0.00%
Imax (A)	64.8
Qвкупно (kvar)	350.741
ΔQ (kvar)	20.743
Qопт. (kvar)	330.000
Qген. (kvar)	0.000
Рамен старт	U0
Тест за конвергенција	dS
eps (p.u.)	0.001

Јазли	Име	P (kW)	Q (kvar)	Ur (kV)	Ui (kV)	U (kV)	θ (°)	ΔU%
0	0	0.0	0.0	10.00000	0.00000	10.0000	0.000	0.00
1	1	204.0	66.0	9.79582	-0.02035	9.7958	-0.119	-2.04
2	2	204.0	66.0	9.63143	-0.03663	9.6315	-0.218	-3.68
3	3	204.0	66.0	9.50751	-0.04883	9.5076	-0.294	-4.92
4	4	204.0	66.0	9.42459	-0.05697	9.4248	-0.346	-5.75
5	5	204.0	66.0	9.38303	-0.06104	9.3832	-0.373	-6.17

Гранки	Извод	Ркрај (kW)	Qкрај (kvar)	ΔP (kW)	ΔQ (kvar)	I (A)
---> 0		1,066.823	350.741	46.830	20.743	64.8
0-1	1	1,045.755	341.409	21.068	9.332	64.8
1-2	1	828.099	269.360	13.656	6.049	52.2
2-3	1	616.341	199.923	7.759	3.437	39.3
3-4	1	408.869	132.385	3.474	1.539	26.3
4-5	1	203.998	65.999	0.872	0.386	13.2

## ЗАГУБА НА НАПОН

- ако не се занемарат генерираните реактивни моќности  $b=2.96 \mu\text{S}/\text{km}$

Рвкупно (kW)	1,066.756
$\Delta P$ (kW)	46.763
Ропт. (kW)	1,020.000
Рген. (kW)	0.000
$\Delta P$	4.38%
$\Delta U_{\min}$	-6.16%
$\Delta U_{\max}$	0.00%
$I_{\max}$ (A)	64.8
Qвкупно (kvar)	347.977
$\Delta Q$ (kvar)	20.714
Qопт. (kvar)	330.000

Јазли	Име	P (kW)	Q (kvar)	Ur (kV)	Ui (kV)	U (kV)	$\theta$ (°)	$\Delta U\%$
0	0	0.0	0.0	10.00000	0.00000	10.0000	0.000	0.00
1	1	204.0	66.0	9.79602	-0.02076	9.7960	-0.121	-2.04
2	2	204.0	66.0	9.63177	-0.03735	9.6318	-0.222	-3.68
3	3	204.0	66.0	9.50796	-0.04977	9.5081	-0.300	-4.92
4	4	204.0	66.0	9.42510	-0.05804	9.4253	-0.353	-5.75
5	5	204.0	66.0	9.38357	-0.06215	9.3838	-0.379	-6.16

- ако изводот е изведен со кабелски вод IPO-13-A 3x70 0.6/10 kV
  - $x/r=0.089/0.443$ ,  $b=119.4 \mu\text{S}/\text{km}$

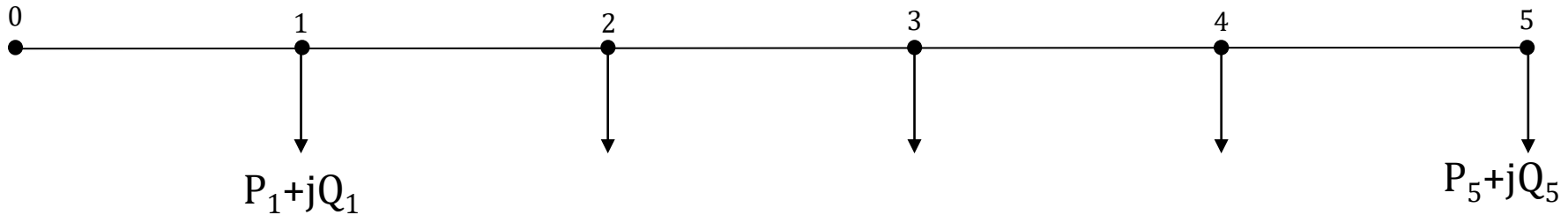
Рвкупно (kW)	1,042.359
$\Delta P$ (kW)	22.372
Ропт. (kW)	1,020.000
Рген. (kW)	0.000
$\Delta P$	2.15%
$\Delta U_{\min}$	-2.91%
$\Delta U_{\max}$	0.00%
$I_{\max}$ (A)	61.6
Qвкупно (kvar)	219.448
$\Delta Q$ (kvar)	4.495

0	0	0.0	0.0	10.00000	0.00000	10.0000	0.000	0.00
1	1	204.0	66.0	9.90353	0.00195	9.9035	0.011	-0.96
2	2	204.0	66.0	9.82607	0.00375	9.8261	0.022	-1.74
3	3	204.0	66.0	9.76779	0.00539	9.7678	0.032	-2.32
4	4	204.0	66.0	9.72880	0.00684	9.7288	0.040	-2.71
5	5	204.0	66.0	9.70918	0.00808	9.7092	0.048	-2.91



# ЗАГУБА НА НАПОН

- Во претходниот пример оптоварувањата во јазлите беа еднакви и одделните секции од изводот беа еднакви
  - пример поинаква распределба на оптоварувањата
  - нема големи разлики во добиените резултати



Напоен јазол	0
$U_{nom}$ (kV)	10
$S_b$ (kVA)	1000
$U_0$ (p.u.)	1

Поч	Крај	L (km)	r ( $\Omega$ /km)	x ( $\Omega$ /km)
0	1	2.500	0.83530	0.37000
1	2	6.000	0.83530	0.37000
2	3	0.400	0.83530	0.37000
1	4	0.500	0.83530	0.37000
2	5	0.600	0.83530	0.37000

Јазли	Pload (kW)	Qload (kvar)
1	400.00	130.00
2	180.00	60.00
3	140.00	40.00
4	200.00	70.00
5	100.00	30.00

# ЗАГУБА НА НАПОН

– приближна пресметка

- загубите на моќност и генерираните реактивни моќности во водовите се занемарени

$$\Delta u = \frac{100 \cdot P_2 \cdot L \cdot r}{U_{\text{НОМ.}}^2} \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

Un (kV)	Почеток	Крај	P (kW)	Q (kvar)	x/r	tan(φ)	L (km)	Δu (%)	ΣΔu (%)
10	0	1	1,020.00	330.00	0.4430	0.3235	2.500	2.44	2.44
	1	2	620.00	200.00	0.4430	0.3226	6.000	3.55	5.99
	2	3	440.00	140.00	0.4430	0.3182	0.400	0.17	6.15
	3	4	300.00	100.00	0.4430	0.3333	0.500	0.14	6.30
	4	5	100.00	30.00	0.4430	0.3000	0.600	0.06	6.35

– приближна пресметка со рамномерно распределено оптоварување

- загубите на моќност и генерираните реактивни моќности во водовите се занемарени

$$\Delta u = \frac{100}{2 \cdot U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot (P \cdot R + Q \cdot X) = \frac{100 \cdot P \cdot L \cdot r}{2 \cdot U_{\text{НОМ.}}^2} \cdot \left( 1 + \frac{x}{r} \cdot \text{tg} \varphi \right)$$

Un (kV)		P (kW)	Q (kvar)	x/r	tan(φ)	L (km)	Δu (%)
10		1,020.00	330.00	0.4430	0.3235	10.00	4.87

# ЗАГУБА НА НАПОН

- пресметка со помош на методот за сумирање струи
  - генерираните реактивни моќности во водовите се занемарени

Итерации	4
Рвкупно (kW)	1,072.338
ΔP (kW)	52.350
Ропт. (kW)	1,020.000
Рген. (kW)	0.000
ΔP	4.88%
ΔUmin	-6.76%
ΔUmax	0.00%
I <sub>max</sub> (A)	65.2
Qвкупно (kvar)	353.185
ΔQ (kvar)	23.189
Qопт. (kvar)	330.000
Qген. (kvar)	0.000
Рамен старт	U0
Тест за конвергенција	dS
eps (p.u.)	0.001

Јазли	Име	P (kW)	Q (kvar)	U <sub>г</sub> (kV)	U <sub>и</sub> (kV)	U (kV)	θ (°)	ΔU%
0	0	0.0	0.0	10.00000	0.00000	10.0000	0.000	0.00
1	1	400.0	130.0	9.74340	-0.02544	9.7434	-0.150	-2.57
2	2	180.0	60.0	9.36299	-0.06283	9.3632	-0.384	-6.37
3	3	140.0	40.0	9.34501	-0.06467	9.3452	-0.397	-6.55
4	4	200.0	70.0	9.32958	-0.06603	9.3298	-0.406	-6.70
5	5	100.0	30.0	9.32349	-0.06676	9.3237	-0.410	-6.76

Гранки	Извод	Ркрај (kW)	Qкрај (kvar)	ΔP (kW)	ΔQ (kvar)	I (A)
---> 0		1,072.338	353.185	52.350	23.189	65.2
0-1	1	1,045.720	341.394	26.618	11.790	65.2
1-2	1	621.351	200.599	24.371	10.795	40.3
2-3	1	440.536	140.238	0.818	0.362	28.6
3-4	1	300.058	100.026	0.480	0.213	19.6
4-5	1	99.998	30.000	0.063	0.028	6.5