

3 ČINNÉ A JALOVÉ ROČNÍ ZTRÁTY

3.1 Činný a jalový výkon

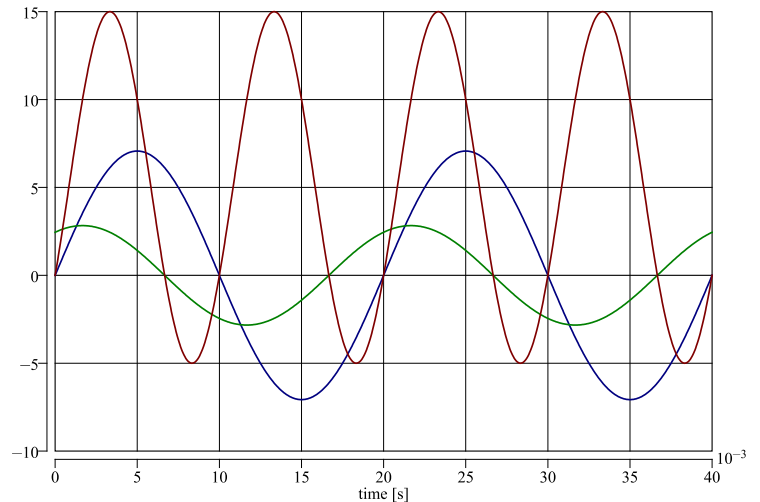
Okamžitý výkon:

$$p = u \cdot i$$

Příklad:

$$U_1 = 5 \quad I_1 = 2$$

$$\varphi = 60^\circ \quad \cos \varphi = 0.5$$



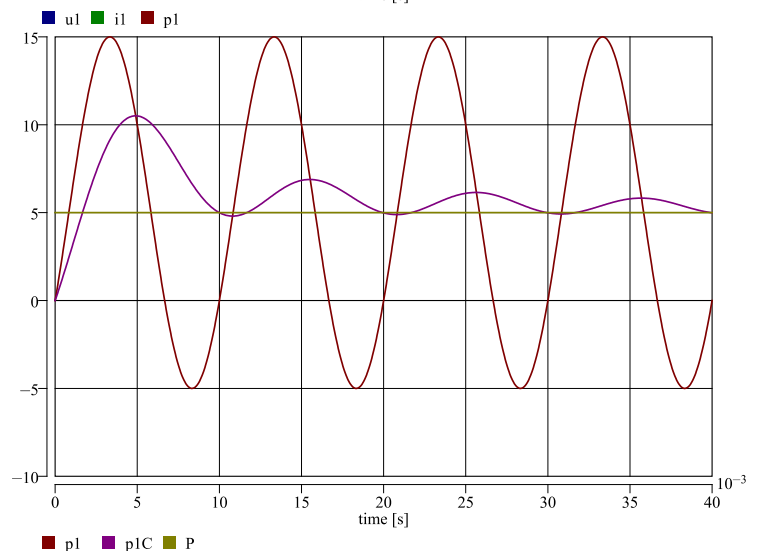
Činný výkon u harmonického

průběhu napětí a proudu:

$$P' = \frac{1}{t} \int_0^t u \cdot i \, dt$$

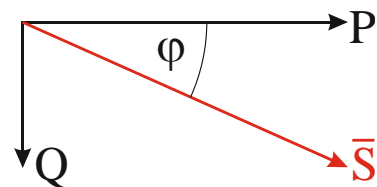
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \, dt = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (\text{W})$$

$$P = 5 \cdot 2 \cdot 0.5 \text{ W} = 5 \text{ W}$$



Zavedení jalového a zdánlivého výkonu:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (\text{VAr})$$



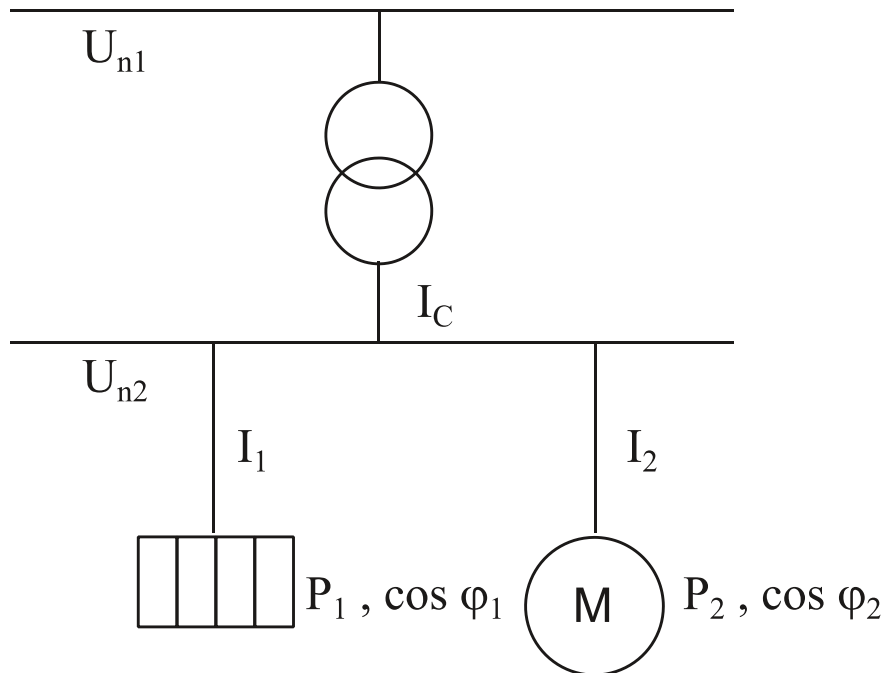
$$\bar{S} = P + jQ = \bar{U} \cdot \bar{I}^* = U \cdot I \cdot e^{j(\varphi_U - \varphi_I)} = S \cdot e^{j\varphi} \quad (\text{VA})$$

$$S_{MAX} = P_{MAX} / \cos \varphi$$

$$S_N = P_N / \cos \varphi$$

$$S_{3F} = 3 \cdot U_f \cdot I = 3 \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot I = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (\text{VA})$$

3.2 Určení celkového výkonu a proudu napájecím transformátorem



$$S_1 = P_1 / \cos \varphi_1$$

$$S_2 = P_2 / \cos \varphi_2$$

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \varphi_1 = S_1 \cdot \sin(\arccos(\cos \varphi_1)) \quad Q_2 = S_2 \cdot \sin \varphi_2$$

$$P_C = P_1 + P_2$$

$$Q_C = Q_1 + Q_2$$

$$S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} \neq S_1 + S_2$$

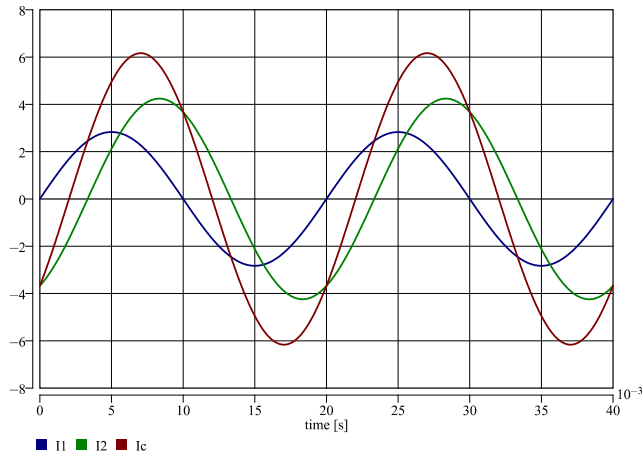
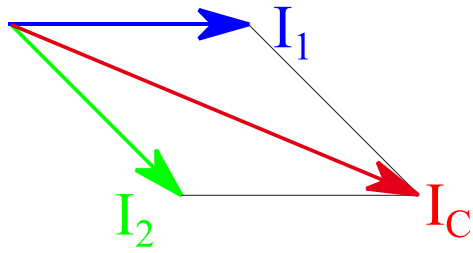
$$\cos \varphi_C = P_C / S_C$$

$$I_C = S_C / (\sqrt{3} \cdot U_{N2}) \neq I_1 + I_2$$

$$\bar{I}_C = \bar{I}_1 + \bar{I}_2$$

$$\cos \varphi_1 = 1 \rightarrow I_1$$

$$\cos \varphi_2 < 1 \rightarrow I_2$$



Příklad:

$$I_1 = 2 \quad I_2 = 3$$

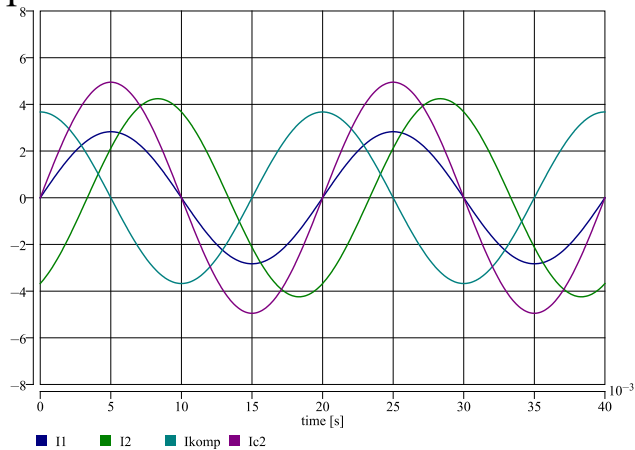
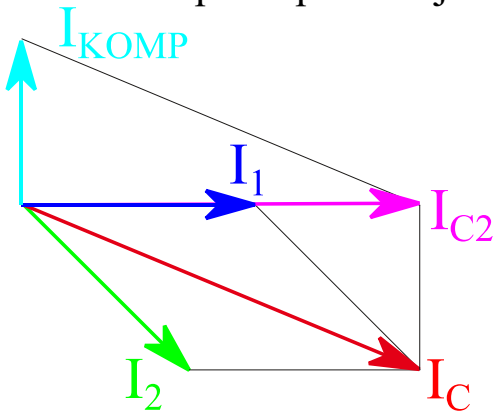
$$\cos \varphi_1 = 1 \quad \cos \varphi_2 = 0.5$$

$$\bar{I} = (\cos \varphi - j \sin \varphi) \cdot I$$

$$\bar{I}_C = 2 + (0.5 - j \sin(\arccos(0.5))) \cdot 3 \quad \bar{I}_C = 3.5 - 2.5981j$$

$$I_C = \sqrt{(2 + 0.5 \cdot 3)^2 + (\sin(\arccos(0.5)) \cdot 3)^2} \quad I_C = 4.3589 \neq 2 + 3$$

Možností zlepšení poměrů je kompenzace:



$$I_{KOMP} = -\text{Im}\{\bar{I}_C\} = 2.5981j$$

$$\bar{I}_{C2} = 3.5 < I_C = 4.3589$$

$$\bar{I}_{C2} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_{KOMP}$$

3.3 Roční činné ztráty

Celkové činné roční ztráty:

$$\Delta P|_{ROK} = \Delta P_0|_{ROK} + \Delta P_K|_{ROK} \quad (kWh)$$

Činné roční ztráty naprázdno:

$$\Delta P_0|_{ROK} = \Delta P_0 \cdot \tau_P$$

$$I = I_0 \approx 1\% I_N$$

$$\Delta p_{0\%} = \frac{\Delta P_0}{S_N} 100$$

Činné roční ztráty nakrátko:

$$\Delta P_K|_{ROK} = \Delta P_K \cdot \tau_Z \left(\frac{S_{MAX}}{S_N} \right)^2$$

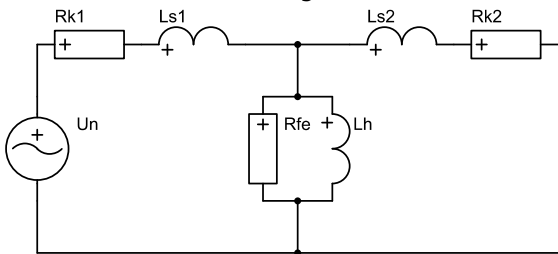
$$I = I_N = 100\% I_N$$

$$\Delta p_{K\%} = \frac{\Delta P_K}{S_N} 100$$

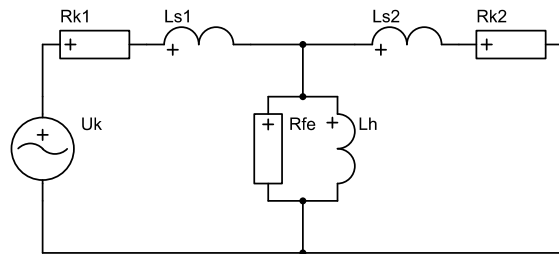
Procentní podíl činných ztrát na vyrobené elektrické energii:

$$\Delta p_{\%} = \frac{\Delta P|_{ROK}}{A_P} 100$$

3.4 Činné ztráty na transformátoru



$$\Delta P_{0T} = 3 \cdot R_{Fe} \cdot I_{Fe}^2 = 3R_{Fe} \left(\frac{U_{Nf}}{R_{Fe}} \right)^2 = \frac{U_N^2}{R_{Fe}}$$



$$\Delta P_{KT} = 3 \cdot (R_{K1} + R_{K2}) \cdot I_N^2 = 3R_K I_N^2$$

Parametry transformátorů Škoda:

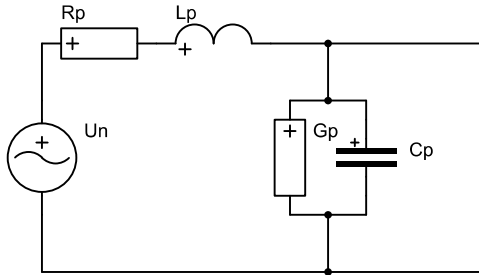
Typ	Sn [MVA]	Převod [kV]	dPo [kW]	dPo [%]	dPk [kW]
Jednofázový zvyšovací	220	242/3/15	31	0.014	225
Řadový, pro rozvodny	40	110/23	23	0.058	123
Nízkonapěťový	16	35/6.3	11	0.069	80
Se sníženým hlukem	25	110/23	14	0.056	90

Typ	Sn [MVA]	dPk [%]	dPo/dPk [-]	Uk [%]	Io [%]
Jednofázový zvyšovací	220	0.10	0.138	13.5	0.15
Řadový, pro rozvodny	40	0.31	0.187	11.0	0.20
Nízkonapěťový	16	0.50	0.138	9.0	0.45
Se sníženým hlukem	25	0.36	0.156	11.5	0.15

Odhad obvyklých parametrů transformátorů

U _k [%]	přibližně 10
l _o [%]	1 a méně
dP _o [%]	0.3 přibližně 1/3 z dP _k a méně
dP _k [%]	1 (kratší odvěsna tam, kde U _k je přeponou)

3.5 Činné ztráty na vedení

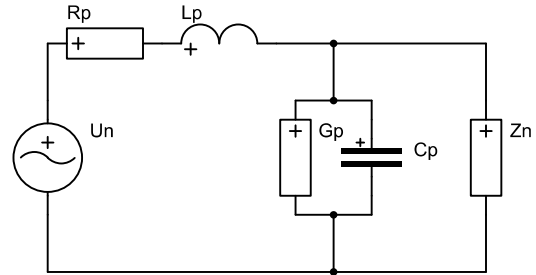


$$\Delta P_{OV} = 3 \cdot R_p \cdot I_C^2 = 3R_p (U_{Nf} \cdot \omega \cdot C_p)^2$$

$$\Delta P_{OV} = R_p (U_N \cdot \omega \cdot C_p)^2$$

Venkovní vedení

U _n [kV]	S [mm ²]	R _{20°C} [Ω/km]	X [Ω/km]	B [μS/km]	G [nS/km]	I _z [A]
22	50	0,69	0,35	3,1	—	200
22	70	0,49	0,35	3,1	—	240
22	95	0,37	0,4	2,8	—	370
22	120	0,28	0,38	2,9	—	440
22	150	0,22	0,36	3,1	—	510
35	50	0,69	0,38	2,9	—	200
35	95	0,36	0,38	2,9	—	370
35	150	0,23	0,38	2,9	—	510
110	120	0,31	0,27	2,9	—	440
110	150	0,26	0,35	2,9	—	510
110	185	0,18	0,404	2,8	50	580
110	210	0,16	0,4	2,8	50	620
110	240	0,15	0,4	2,8	50	670
110	300	0,12	0,4	2,8	50	760
110	350	0,1	0,41	2,8	50	840
110	450	0,08	0,396	2,8	50	950
110	670	0,06	0,38	2,9	50	1200
220	2 x 210	0,08	0,324	3,4	30	1000
220	2 x 300	0,06	0,32	3,5	30	2000
400	3 x 350	0,03	0,307	3,6	20	2200
400	3 x 450	0,03	0,35	3,9	20	2500



$$\Delta P_{NV} = 3 \cdot R_p \cdot I_N^2 = 3R_p \left(\frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} \right)^2$$

$$\Delta P_{NV} = R_p (S_N / U_N)^2$$

Kabelová vedení

U _n [kV]	S [mm ²]	R _{20°C} [Ω/km]	X [Ω/km]	B [μS/km]	I _z [A]
6	50	0,62	0,082	90	210
6	70	0,44	0,079	90	250
6	95	0,33	0,076	98	310
6	120	0,26	0,075	98	350
6	150	0,21	0,073	98	420
6	185	0,17	0,072	115	470
6	240	0,13	0,071	115	540
10	50	0,62	0,09	80	210
10	70	0,44	0,094	90	250
10	95	0,33	0,09	90	310
10	120	0,26	0,088	90	350
10	150	0,21	0,085	90	420
10	185	0,17	0,084	100	470
10	240	0,13	0,082	100	540
22	50	0,62	0,155	75	210
22	70	0,44	0,14	94	250
22	95	0,33	0,13	100	310
22	120	0,26	0,13	107	350
22	150	0,21	0,12	114	420
22	185	0,17	0,12	125	470
22	240	0,13	0,11	130	540

3.6 Jalové ztráty

Celkové jalové roční ztráty:

$$\Delta Q|_{ROK} = \Delta Q_0|_{ROK} + \Delta Q_K|_{ROK} \quad (kVAr h)$$

Jalové roční ztráty naprázdno:

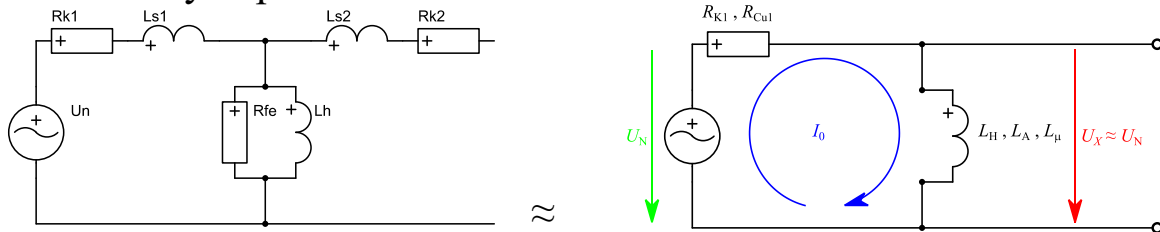
$$\Delta Q_0|_{ROK} = \Delta Q_0 \cdot \tau_P$$

Jalové roční ztráty nakrátko:

$$\Delta Q_K|_{ROK} = \Delta Q_K \cdot \tau_Z \left(\frac{S_{MAX}}{S_N} \right)^2$$

3.7 Jalové ztráty na transformátoru

Jalové ztráty naprázdno:



$$\Delta Q_0 \approx Q_0 = 3 \cdot U_{Xf} \cdot I_{Lh} \approx \sqrt{3} U_N I_0 \quad (kVAr)$$

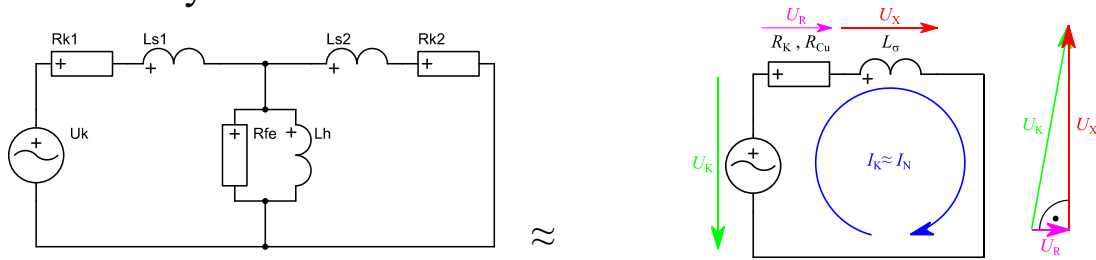
$$I_0 = i_{0\%} \frac{I_N}{100} \quad (A)$$

$$i_{0\%} = \frac{I_0}{I_N} 100$$

$$S_N = 3 \cdot U_{Nf} \cdot I_N = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N$$

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_N} \quad (A)$$

Jalové ztráty nakrátko:



$$\Delta Q_K |_{ROK} = \Delta Q_K \cdot \tau_Z \left(S_{MAX} / S_N \right)^2$$

Zdůvodnění ekvivalence $\Delta u_{R\%}$ a $\Delta p_{K\%}$:

$$\Delta U_R = \sqrt{3} \cdot \Delta U_{Rf} = \sqrt{3} \cdot I_N \cdot R_K$$

$$\Delta u_{R\%} = \frac{\Delta U_R}{U_N} 100 = \sqrt{3} \cdot I_N \cdot R_K \frac{1}{U_N} 100$$

$$\Delta P_K = 3 \cdot I_N^2 R_K$$

$$\Delta p_{K\%} = \frac{\Delta P_K}{S_N} 100 = \frac{3 \cdot I_N^2 \cdot R_K}{\sqrt{3} \cdot I_N \cdot U_N} 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot I_N \cdot R_K}{U_N} 100 = \Delta u_{R\%}$$

Poměrné napětí na reaktanční části napětí nakrátko je:

$$\Delta u_{X\%} = \sqrt{\Delta u_{K\%}^2 - \Delta u_{R\%}^2} \quad (\%)$$

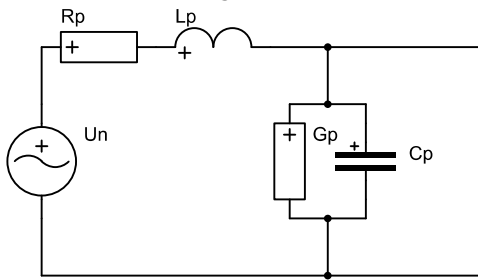
nebo přibližně:

$$\Delta u_{X\%} \approx \Delta u_{K\%} \quad (\%)$$

Potom okamžité ztráty nakrátko jsou:

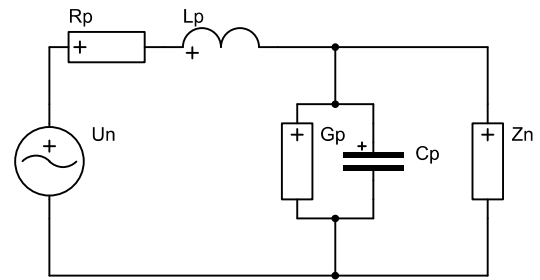
$$\begin{aligned} \Delta Q_K &\approx Q_K = 3 \cdot \Delta U_{Xf} \cdot I_N = \sqrt{3} \cdot \Delta U_X \cdot I_N = \\ &= \sqrt{3} \cdot \frac{\Delta u_{X\%}}{100} \cdot U_N \cdot I_N = \Delta u_{X\%} \frac{S_N}{100} \end{aligned}$$

3.8 Jalové ztráty na vedení



$$\Delta Q_{0V} = -3 \cdot X_C \cdot I_C^2 = -3 \frac{1}{\omega \cdot C_P} (U_{Nf} \cdot \omega \cdot C_P)^2$$

$$\Delta Q_{0V} = -U_N^2 \cdot \omega \cdot C_P$$



$$\Delta Q_{NV} = 3 \cdot X_P \cdot I_N^2 = 3\omega L_P \left(\frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} \right)^2$$

$$\Delta Q_{NV} = \omega L_P (S_N / U_N)^2$$