



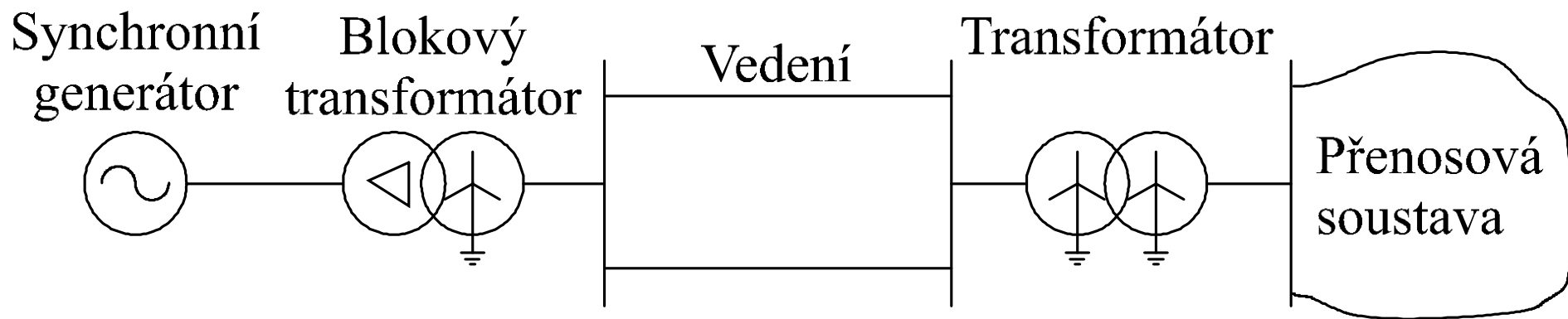
ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI



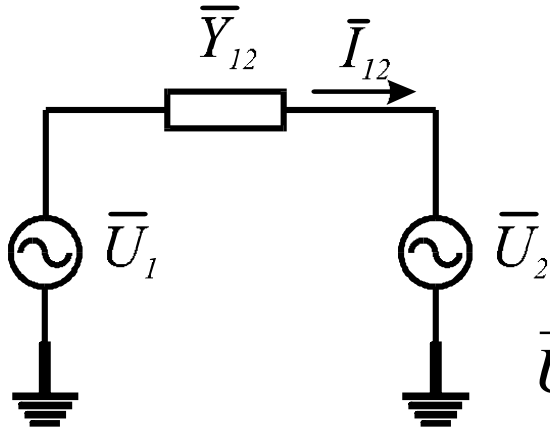
Stabilita synchronního stroje pracujícího do tvrdé sítě

doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
Plzeň 2019

Stabilita energetického systému synchronního stroje, pracujícího přes relativně omezenou síť do přibližně tvrdé sítě, kde elektrickou část nejčastější realizace ukazuje schéma:



Statická stabilita jednoduchého přenosu:



$$\bar{I}_{12} = (\bar{U}_1 - \bar{U}_2) \bar{Y}_{12}$$

$$\bar{S}_{12} = \bar{U} \cdot \bar{I}_{12}^* = \bar{U} (\bar{U}_1^* - \bar{U}_2^*) \bar{Y}_{12}^*$$

$$\bar{U}_1 = U_1 e^{j\vartheta_1}$$

$$\bar{U}_2 = U_2 e^{j\vartheta_2}$$

$$\bar{Y}_{12} = \frac{1}{\bar{Z}_{12}} = \frac{1}{Z_{12} e^{j\alpha_{12}}}$$

Protože ve vazebním členu převažuje induktivní reaktance nad činným odporem v poměru X:R v podélném směru:

Vedení vvn	2 : 1	až	10 : 1
Transformátory	10 : 1	až	100 : 1
Alternátory	20 : 1	až	200 : 1

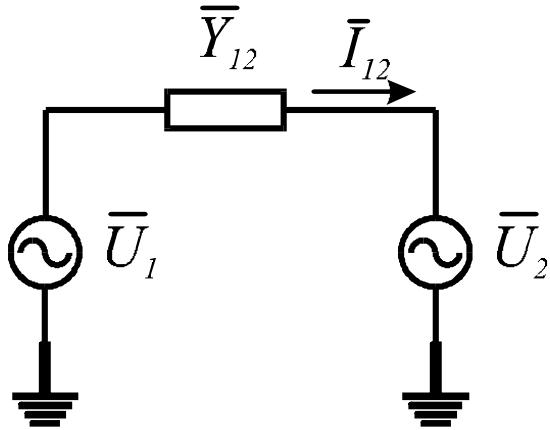
Ize přibližně podélnou vazební impedanci považovat za čistě induktivní:

$$\bar{Z}_{12} \approx X_{12} e^{j90^\circ} = jX_{12}$$

$$\bar{Y}_{12} = \frac{1}{Z_{12} e^{j\alpha_{12}}} \approx \frac{1}{jX_{12}} = \frac{-j}{X_{12}}$$

$$\bar{S}_{12} = (\bar{U} U_1 e^{-j\cdot\vartheta_1} - \bar{U} U_2 e^{-j\cdot\vartheta_2}) \left(\frac{-j}{X_{12}} \right)^*$$

Statická stabilita jednoduchého přenosu:



$$\bar{S}_{12} = (\bar{U}U_1 e^{-j\vartheta_1} - \bar{U}U_2 e^{-j\vartheta_2}) \left(\frac{-j}{X_{12}} \right)^*$$

Výkon dodávaný do sítě:

$$\bar{S}_2 = (U_2 U_1 e^{j(\vartheta_2 - \vartheta_1)} - U_2 U_2 e^{j(\vartheta_2 - \vartheta_2)}) \left(\frac{j}{X_{12}} \right)$$

$$\bar{S}_2 = (U_1 U_2 e^{j(-(\vartheta_1 - \vartheta_2))} - U_2^2) \left(\frac{j}{X_{12}} \right)$$

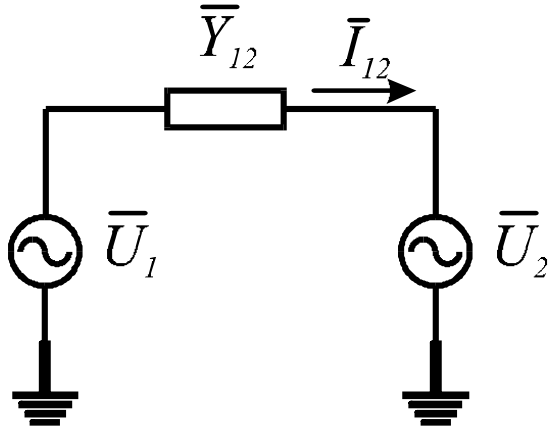
Zavedeme-li: $\Delta\vartheta = \vartheta_1 - \vartheta_2$

$$\bar{S}_2 = \frac{U_1 U_2}{X_{12}} j(\cos(-\Delta\vartheta) + j \sin(-\Delta\vartheta)) - \frac{jU_2^2}{X_{12}}$$

$$P_2 = \text{Re}(\bar{S}_2) = \frac{U_1 U_2}{X_{12}} \sin \Delta\vartheta$$

$$Q_2 = \text{Im}(\bar{S}_2) = \frac{U_1 U_2}{X_{12}} \cos \Delta\vartheta - \frac{U_2^2}{X_{12}}$$

Statická stabilita jednoduchého přenosu:



$$\bar{S}_{12} = (\bar{U}U_1 e^{-j\vartheta_1} - \bar{U}U_2 e^{-j\vartheta_2}) \left(\frac{-j}{X_{12}} \right)^*$$

Výkon vnitřní zdroje U_1 :

$$\bar{S}_1 = (U_1 U_1 e^{j(\vartheta_1 - \vartheta_1)} - U_1 U_2 e^{j(\vartheta_1 - \vartheta_2)}) \left(\frac{j}{X_{12}} \right)$$

$$\bar{S}_1 = (U_1^2 - U_1 U_2 e^{j(\vartheta_1 - \vartheta_2)}) \left(\frac{j}{X_{12}} \right)$$

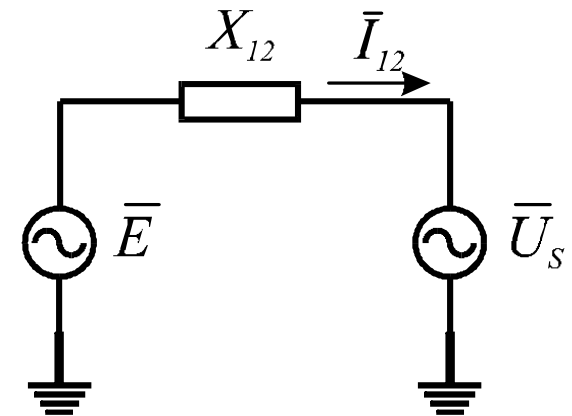
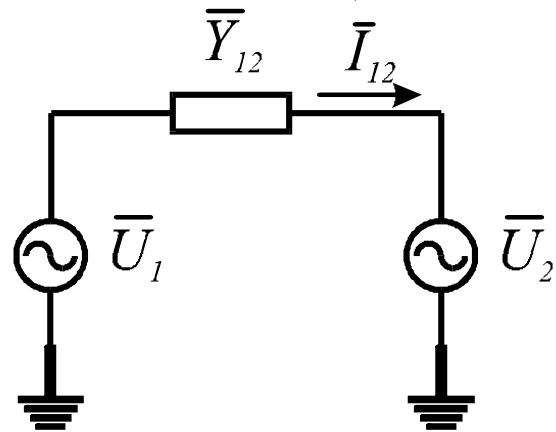
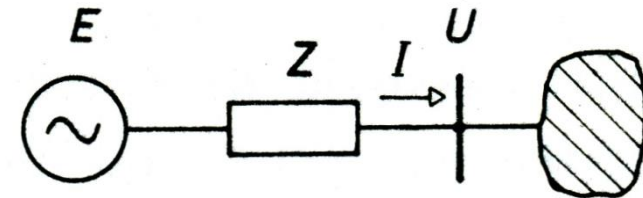
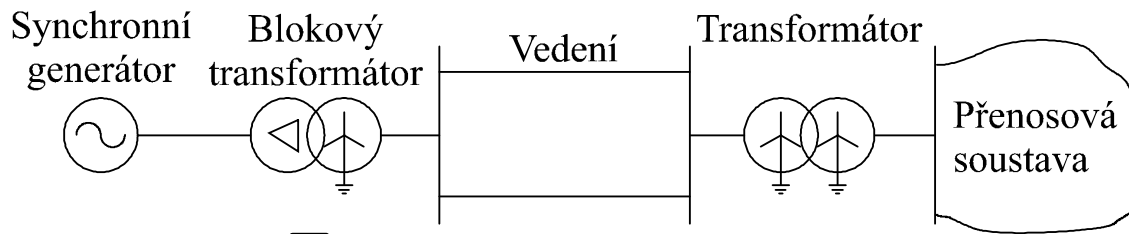
Zavedeme-li opět: $\Delta\vartheta = \vartheta_1 - \vartheta_2$

$$\bar{S}_1 = \frac{jU_1^2}{X_{12}} - \frac{U_1 U_2}{X_{12}} j(\cos(\Delta\vartheta) + j \sin(\Delta\vartheta))$$

$$P_1 = \text{Re}(\bar{S}_1) = \frac{U_1 U_2}{X_{12}} \sin \Delta\vartheta$$

$$Q_1 = \text{Im}(\bar{S}_1) = \frac{U_1^2}{X_{12}} - \frac{U_1 U_2}{X_{12}} \cos \Delta\vartheta$$

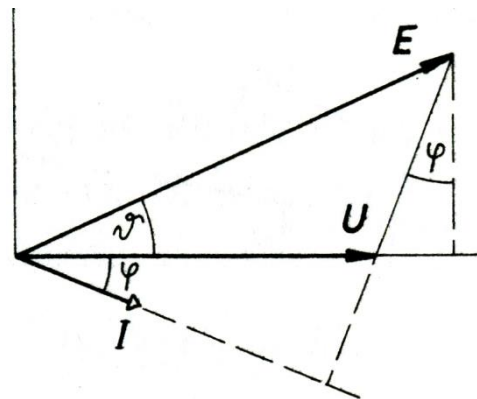
Výkony dodávané alternátorem:



$$P = \frac{U_1 U_2}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta$$

$$Q_2 = \frac{U_1 U_2}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_2^2}{X_{12}}$$

$$Q_1 = \frac{U_1^2}{X_{12}} - \frac{U_1 U_2}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$



$$P = U_s I_s \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta$$

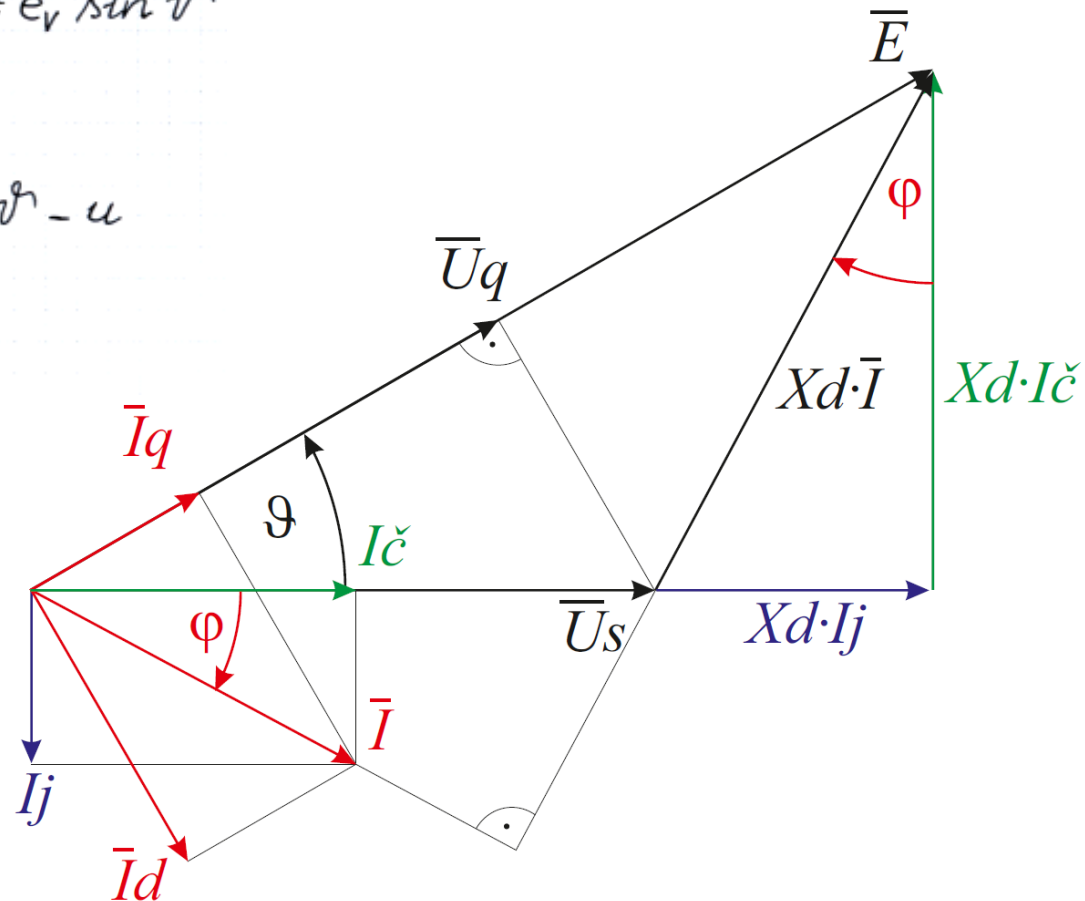
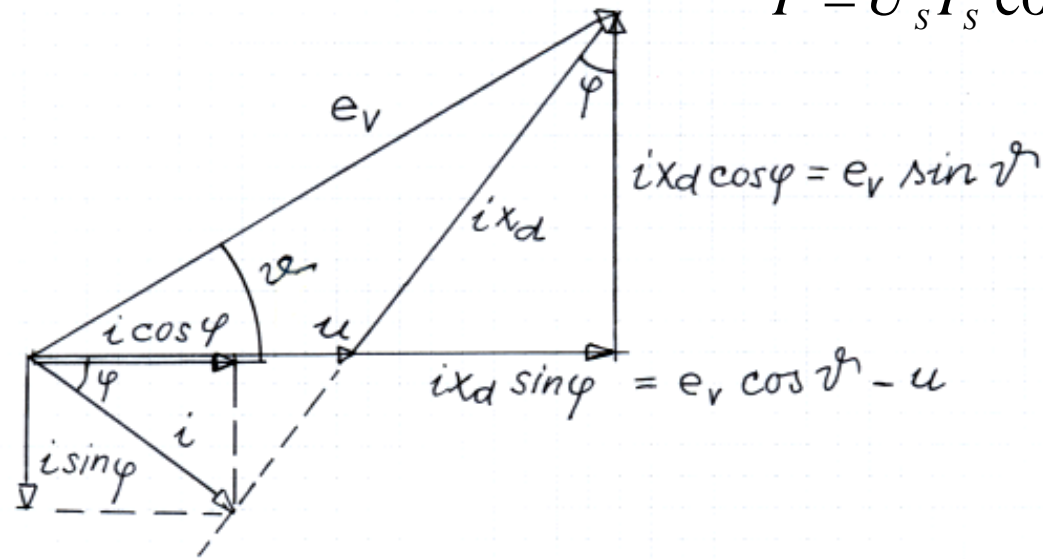
$$Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}}$$

$$Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

Výkony dodávané alternátorem:

Fázorový diagram alternátoru:

$$P = U_s I_s \cos \varphi = U_s \cdot I_{\check{c}} = E \cdot I_q = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta$$

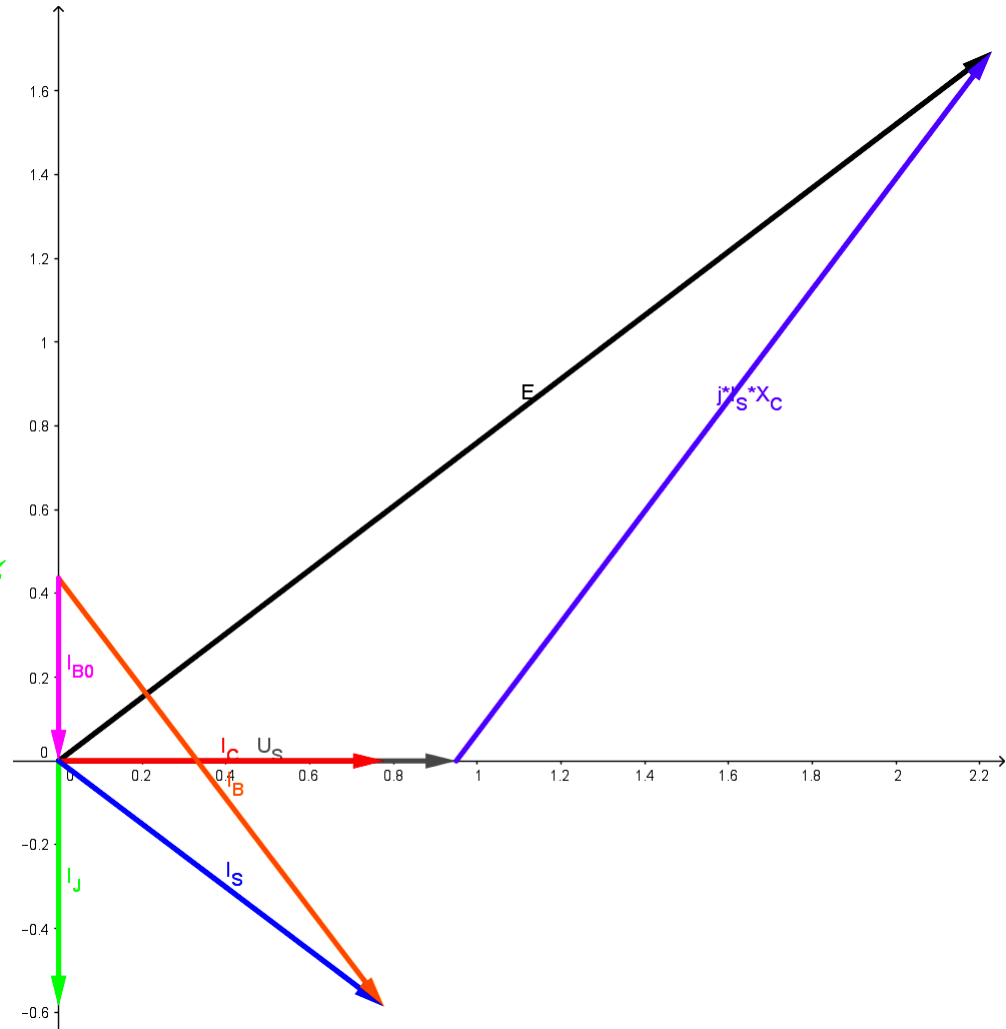
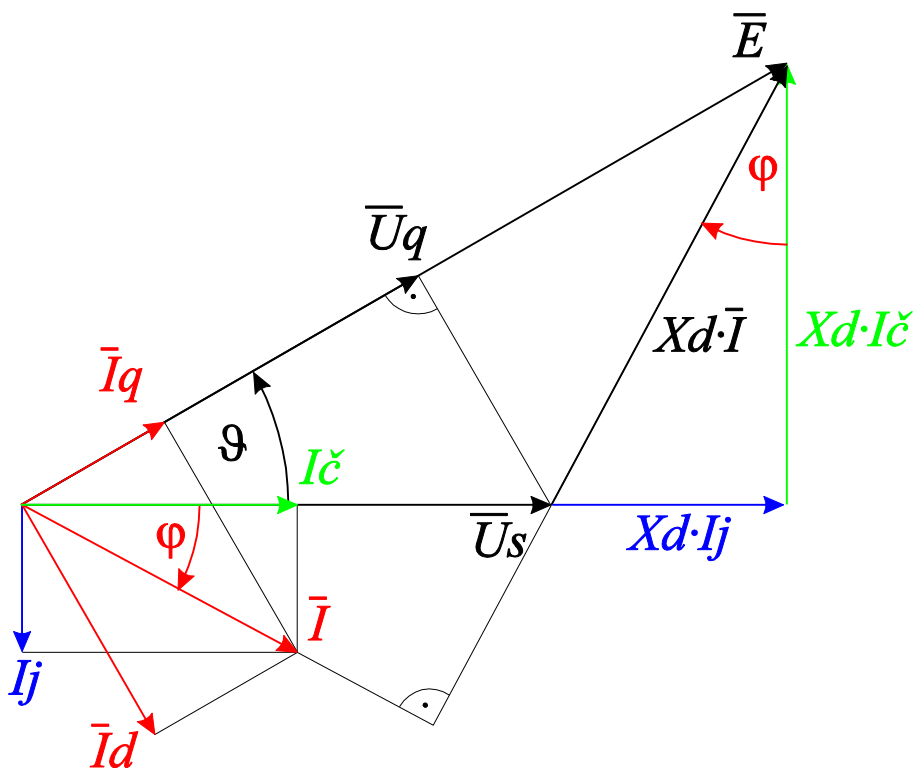


$$Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}}$$

$$Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

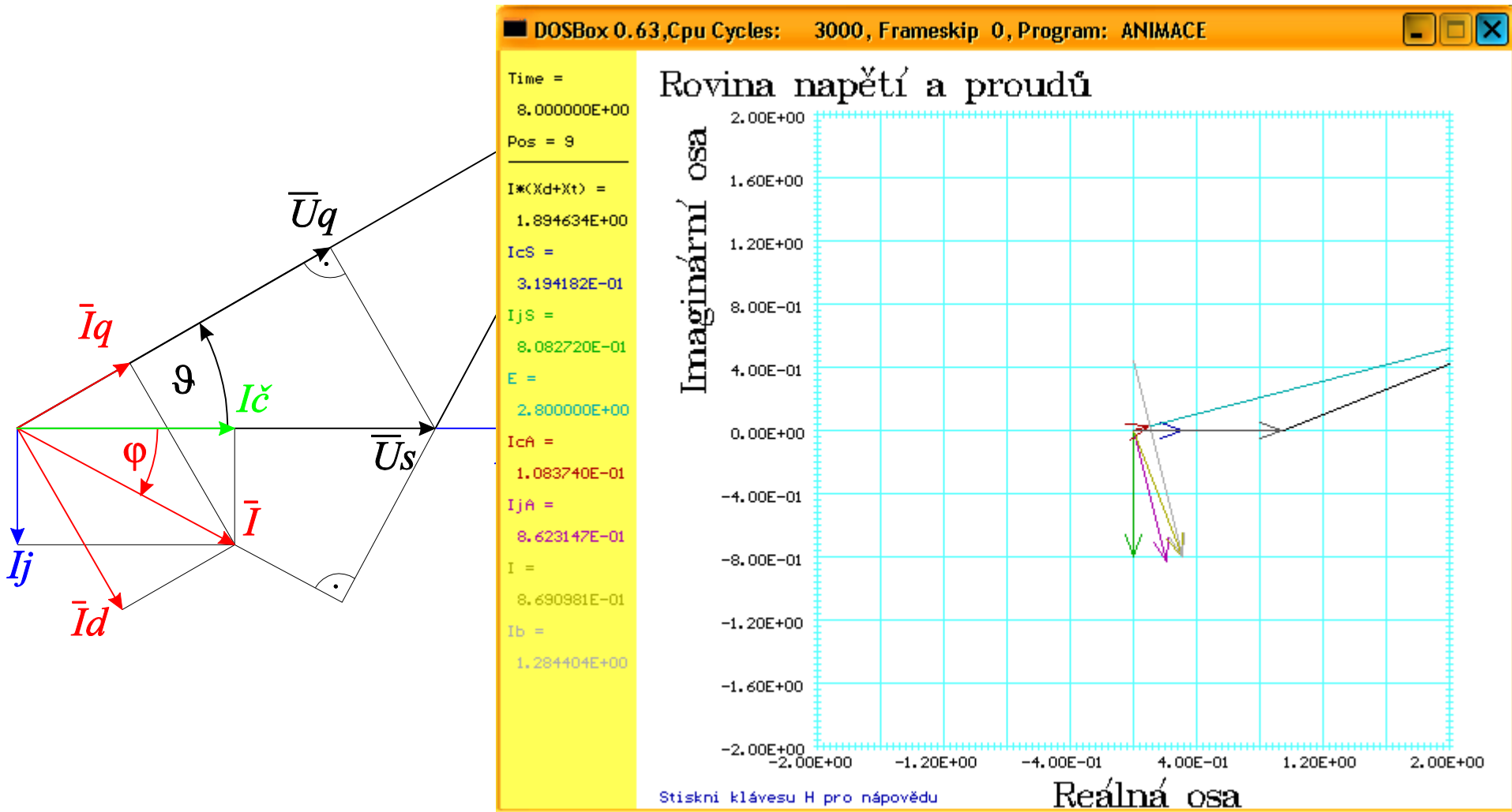
Výkony dodávané alternátorem:

Fázorový diagram
alternátoru :



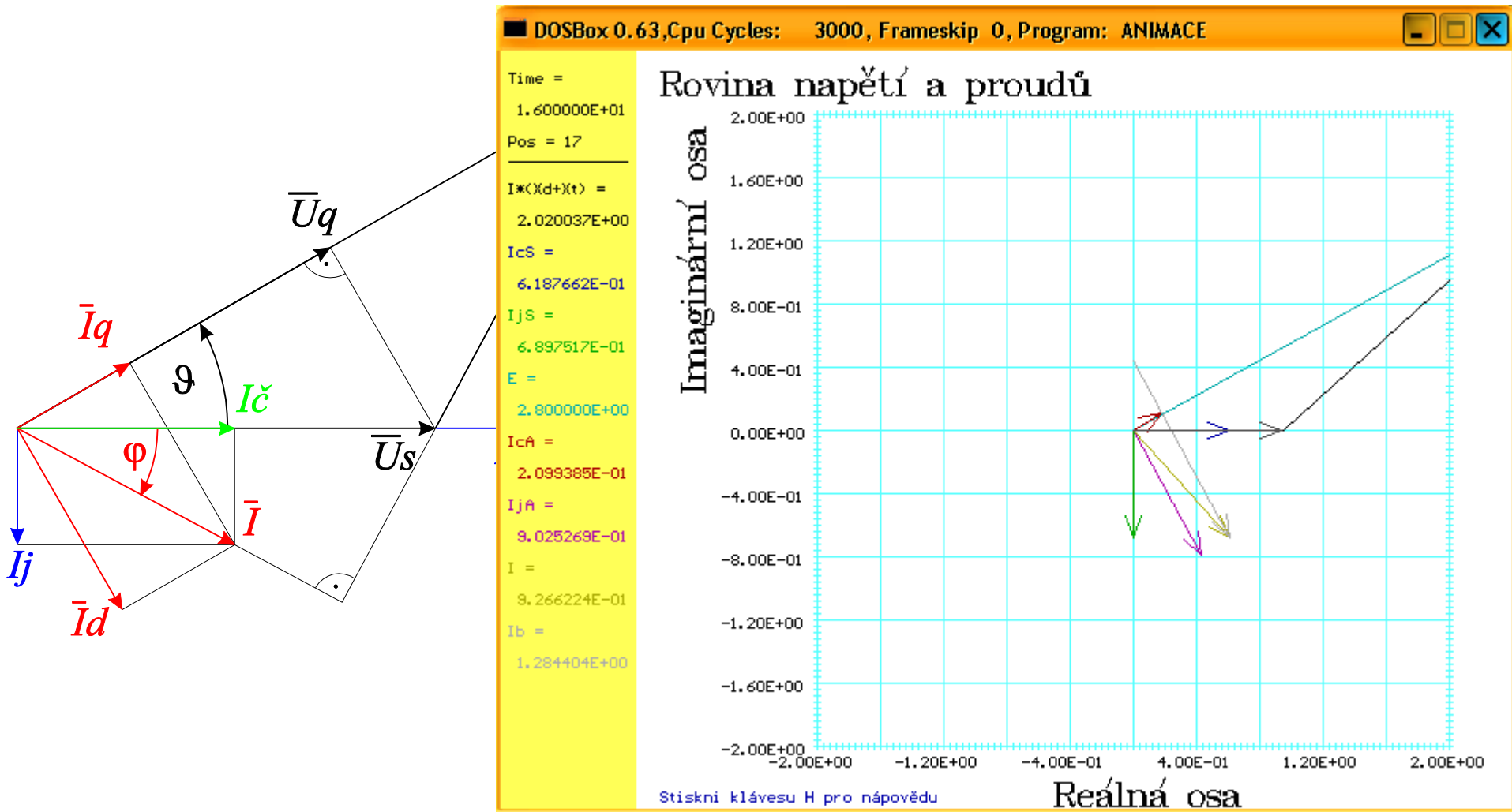
Výkony dodávané alternátorem:

Fázorový diagram alternátoru v závislosti na velikosti ϑ :



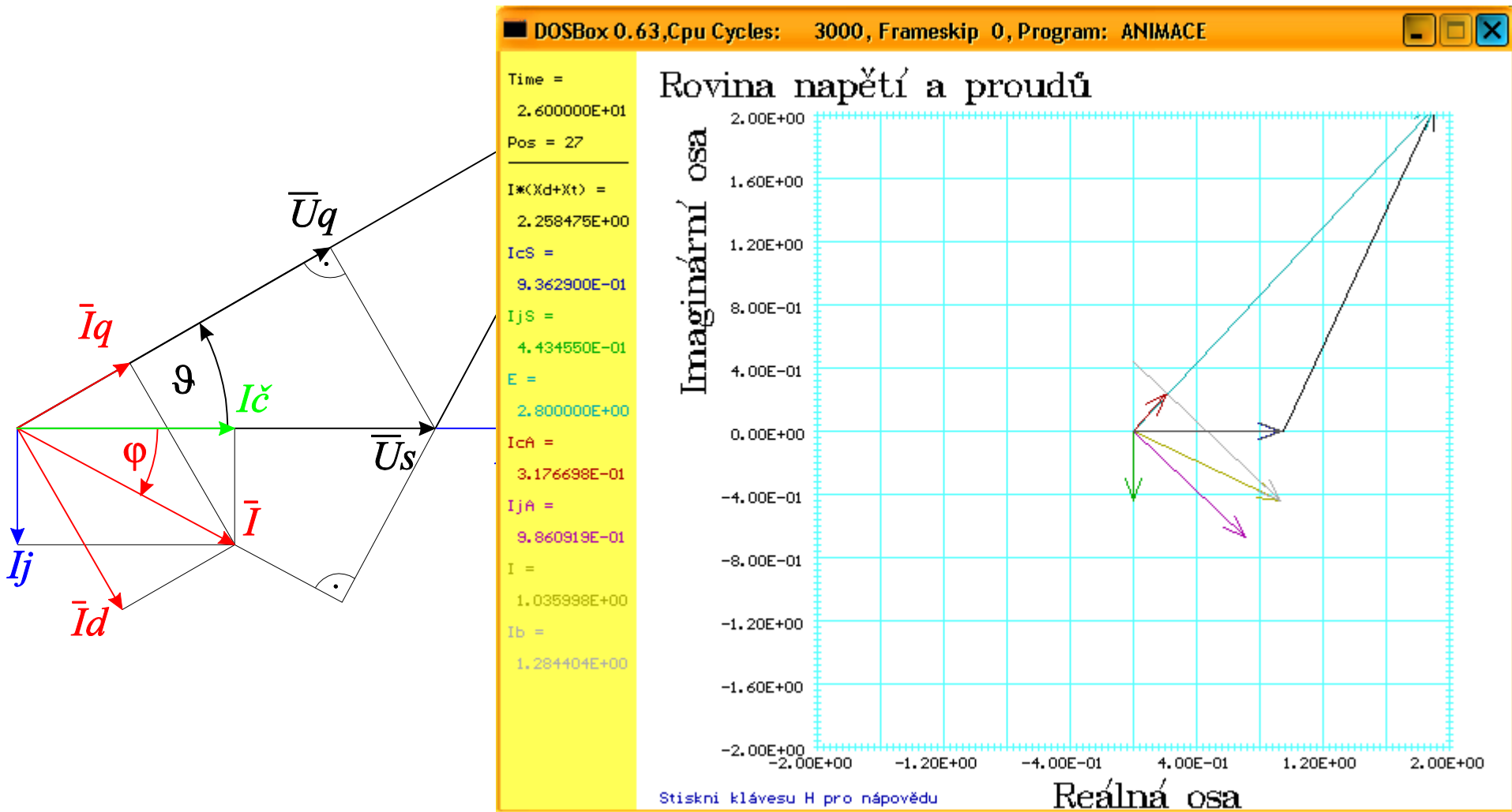
Výkony dodávané alternátorem:

Fázorový diagram alternátoru v závislosti na velikosti ϑ :



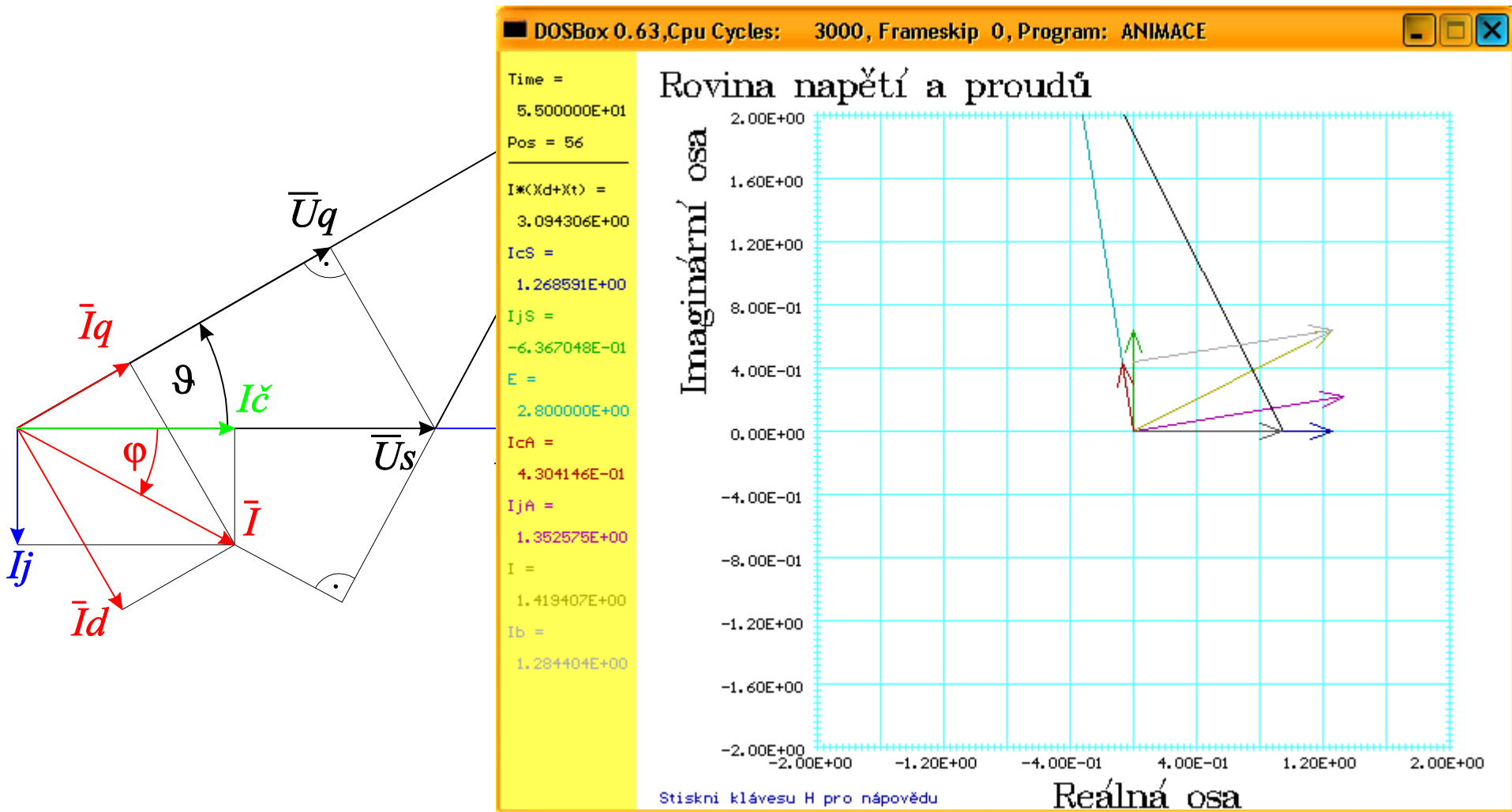
Výkony dodávané alternátorem:

Fázorový diagram alternátoru v závislosti na velikosti ϑ :



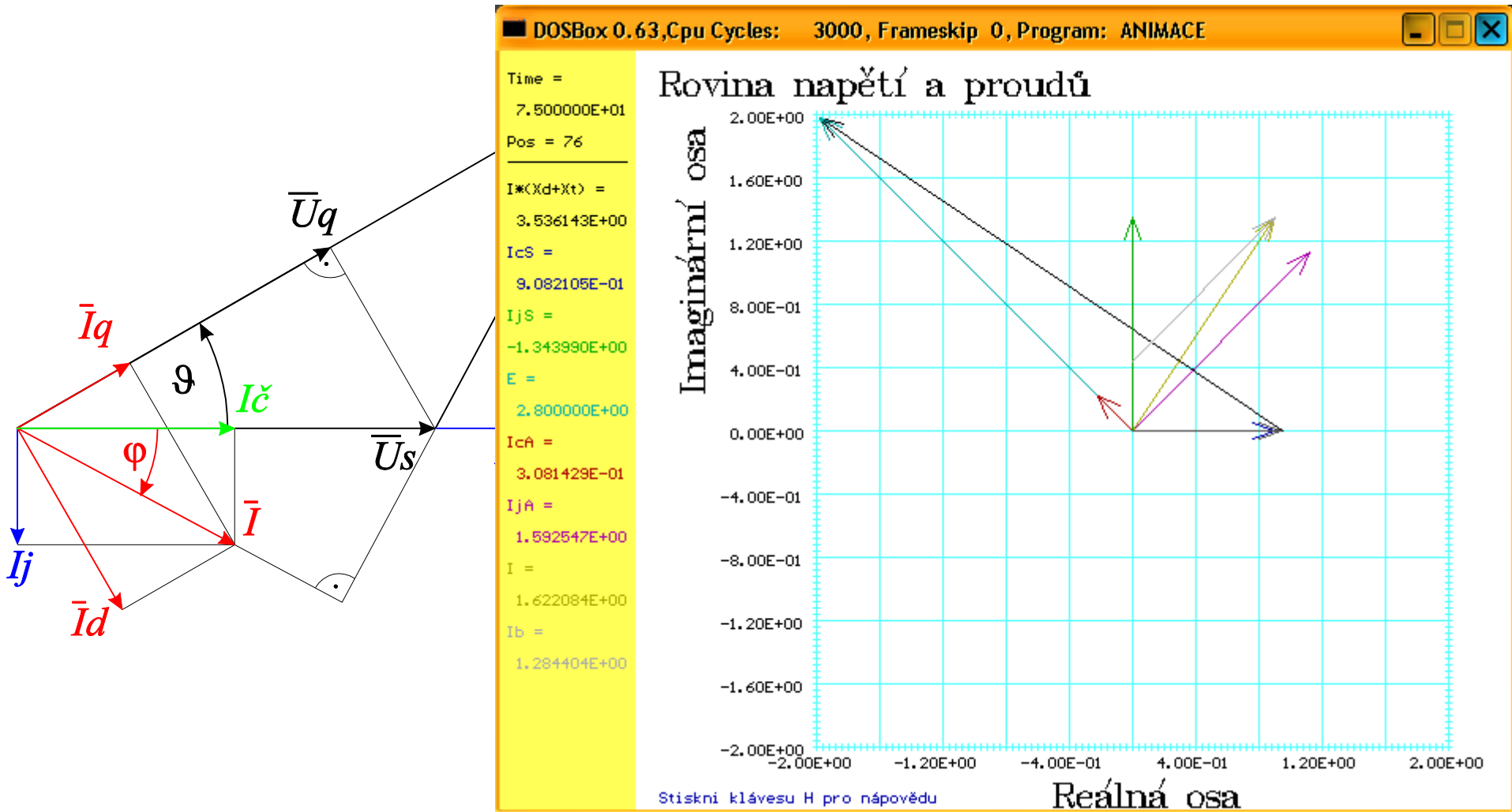
Výkony dodávané alternátorem:

Fázorový diagram alternátoru v závislosti na velikosti ϑ :



Výkony dodávané alternátorem:

Fázorový diagram alternátoru v závislosti na velikosti ϑ :



Výkony dodávané alternátorem:

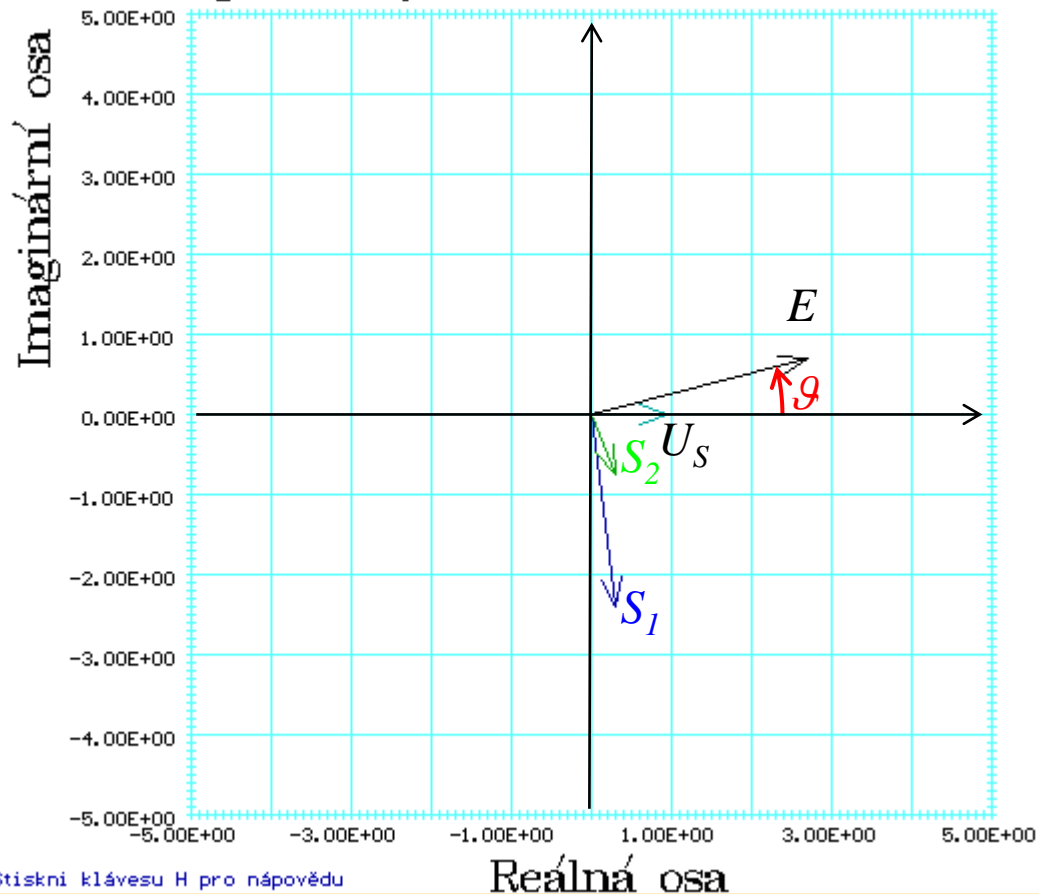
$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta \quad Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

$$Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}}$$

Závislost výkonů
na velikosti ϑ :

Time =
8.000000E+00
Pos = 9
E =
2.800000E+00
Sa =
2.433475E+00
Ss =
8.256432E-01
Us =
9.500000E-01

Rovina napětí a výkonů



Výkony dodávané alternátorem:

$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta$$

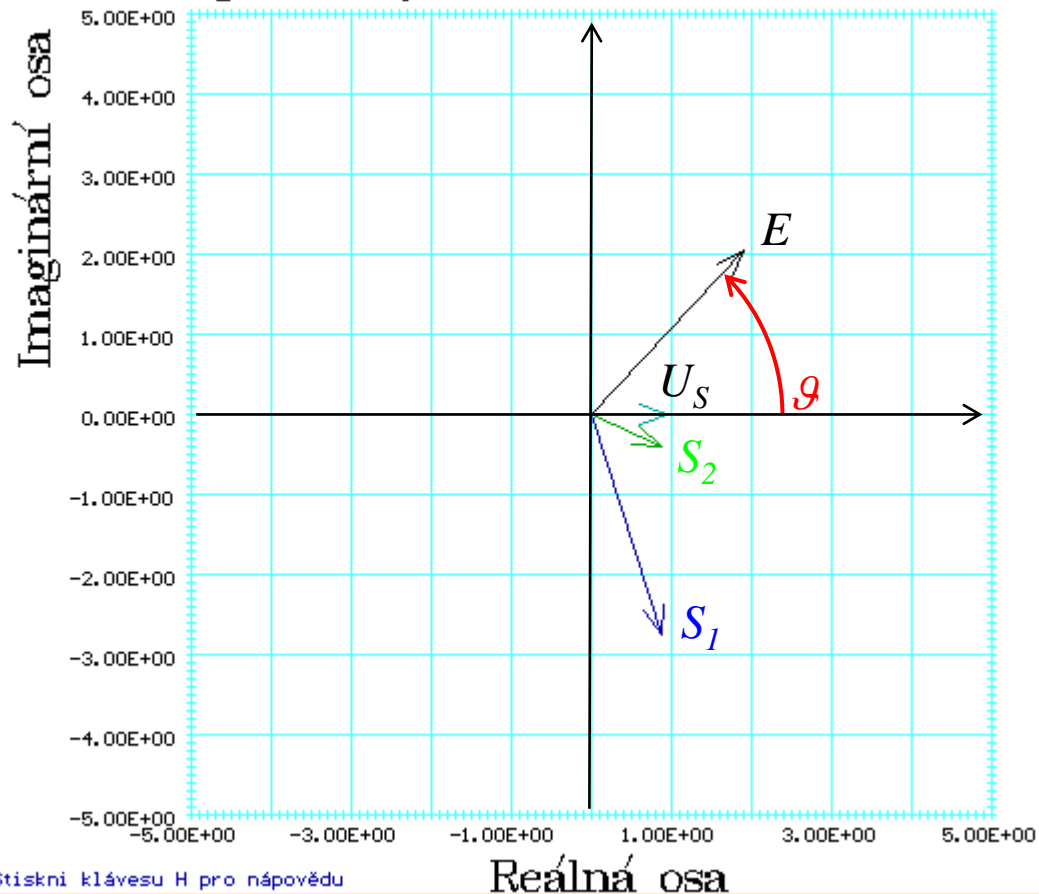
$$Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}}$$

$$Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

Závislost výkonů
na velikosti ϑ :

Time =
2.600000E+01
Pos = 27
E =
2.800000E+00
Sa =
2.900794E+00
Ss =
9.841978E-01
Us =
9.500000E-01

Rovina napětí a výkonů



Stiskni klávesu H pro nápovědu

Výkony dodávané alternátorem:

$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta$$

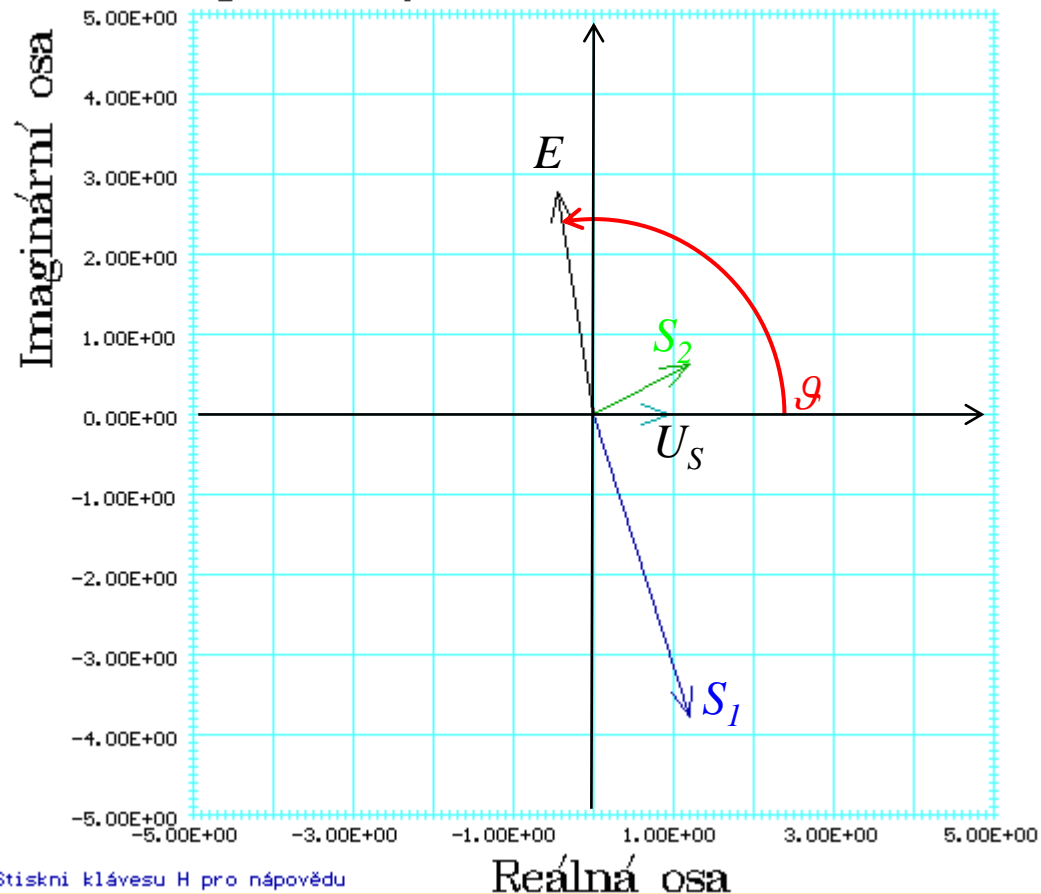
$$Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}}$$

$$Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

Závislost výkonů
na velikosti ϑ :

Time =
5.500000E+01
Pos = 56
E =
2.800000E+00
Sa =
3.974338E+00
Ss =
1.348436E+00
Us =
9.500000E-01

Rovina napětí a výkonů



Výkony dodávané alternátorem:

$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta$$

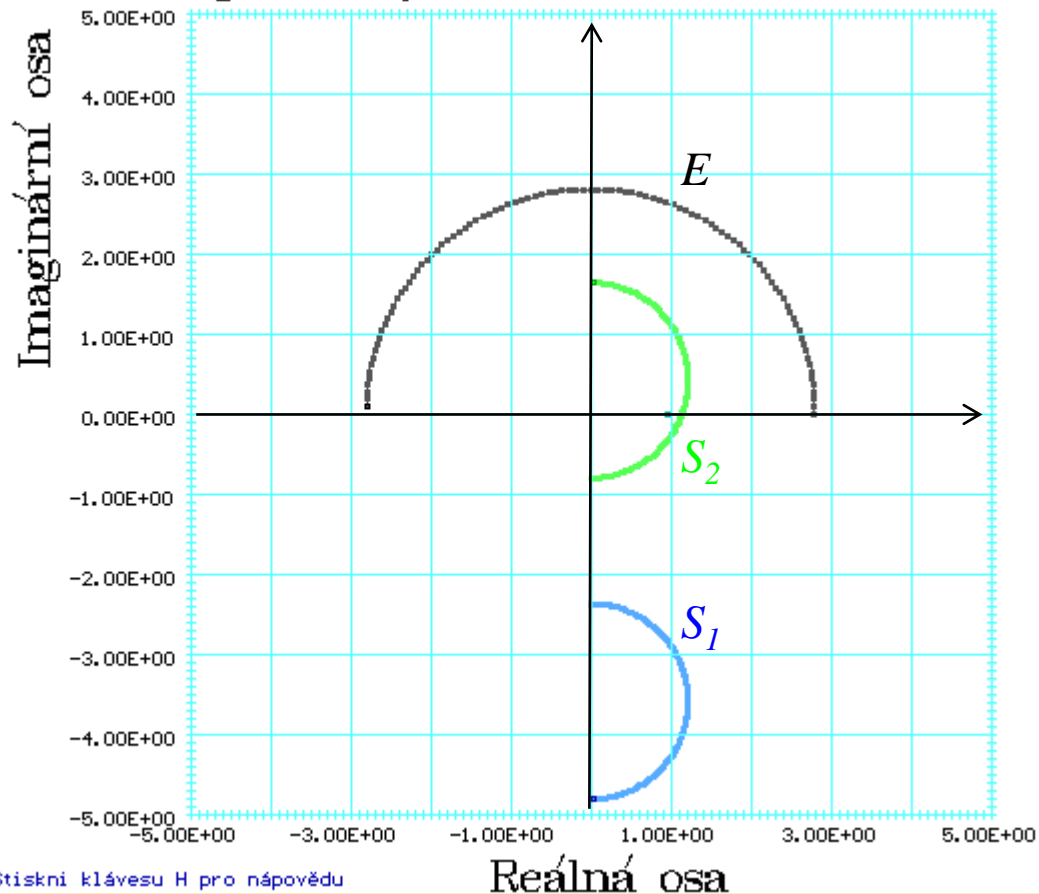
$$Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}}$$

$$Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

Závislost výkonů
na velikosti ϑ :

Time =
9.900000E+01
Pos = 100
E =
2.800000E+00
Sa =
4.816064E+00
Ss =
1.634022E+00
Us =
9.500000E-01

Rovina napětí a výkonů



Výkony dodávané alternátorem:

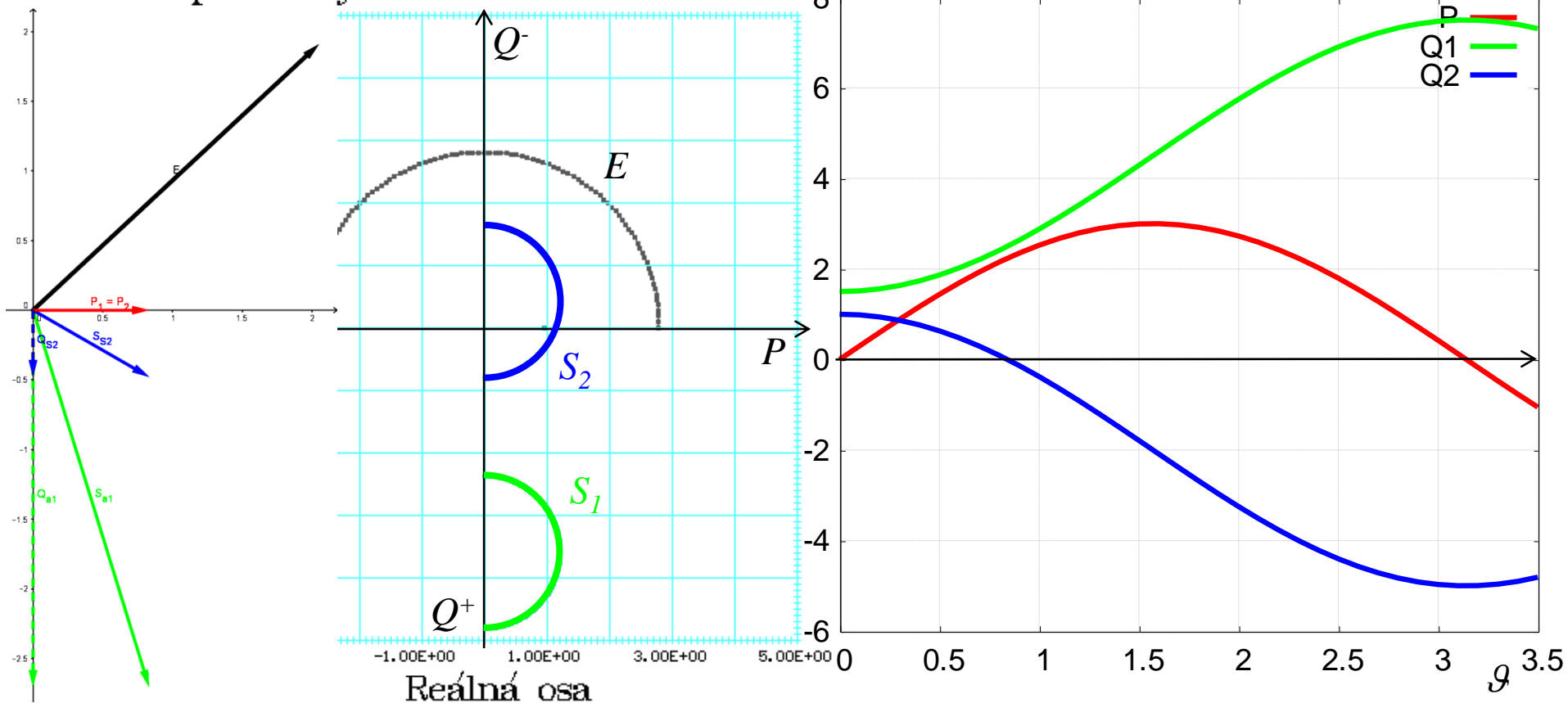
$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta$$

$$Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}}$$

$$Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

Závislost výkonů na velikosti ϑ :

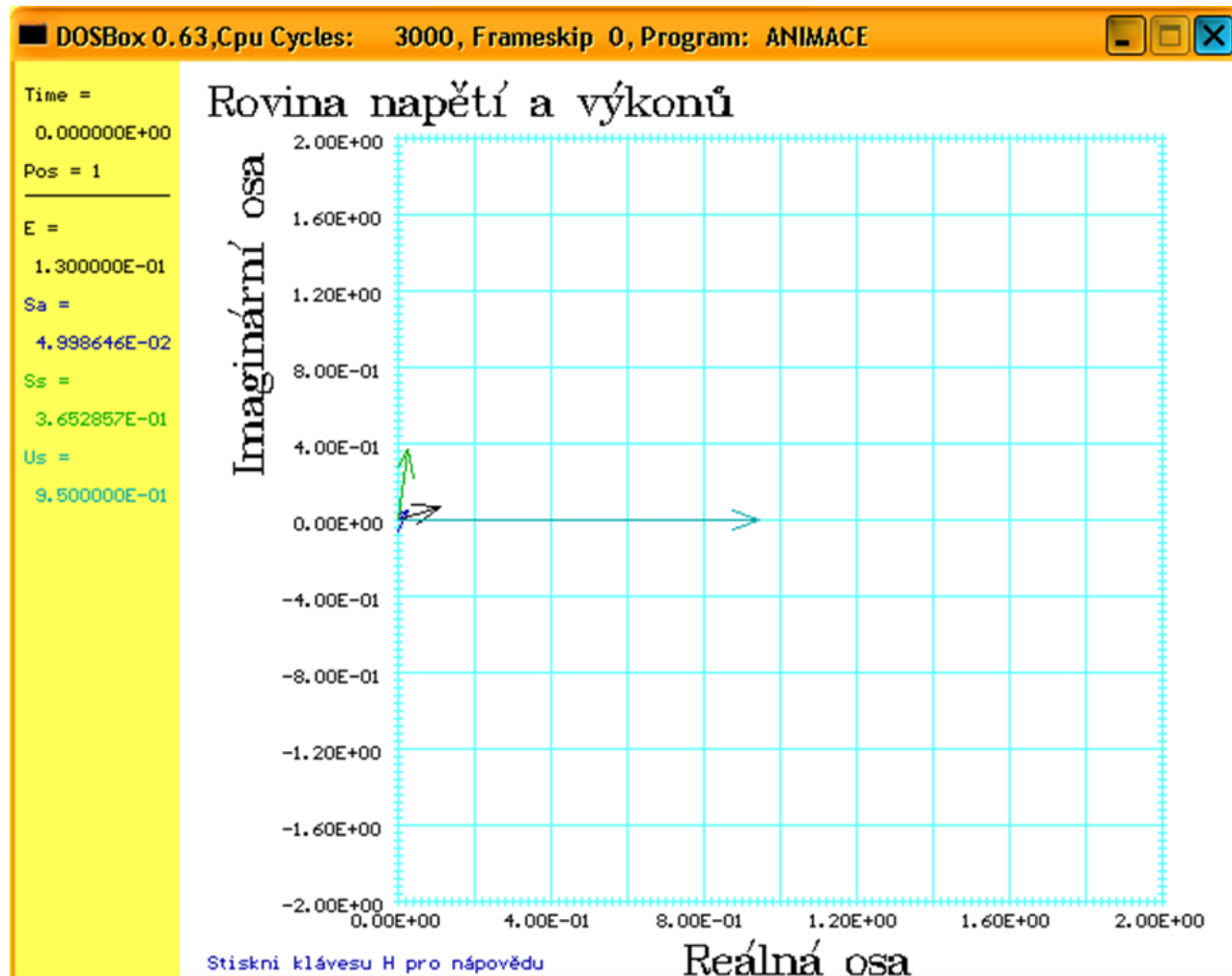
Rovina napětí a výkonů



Výkony dodávané alternátorem:

$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta \quad Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}} \quad Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

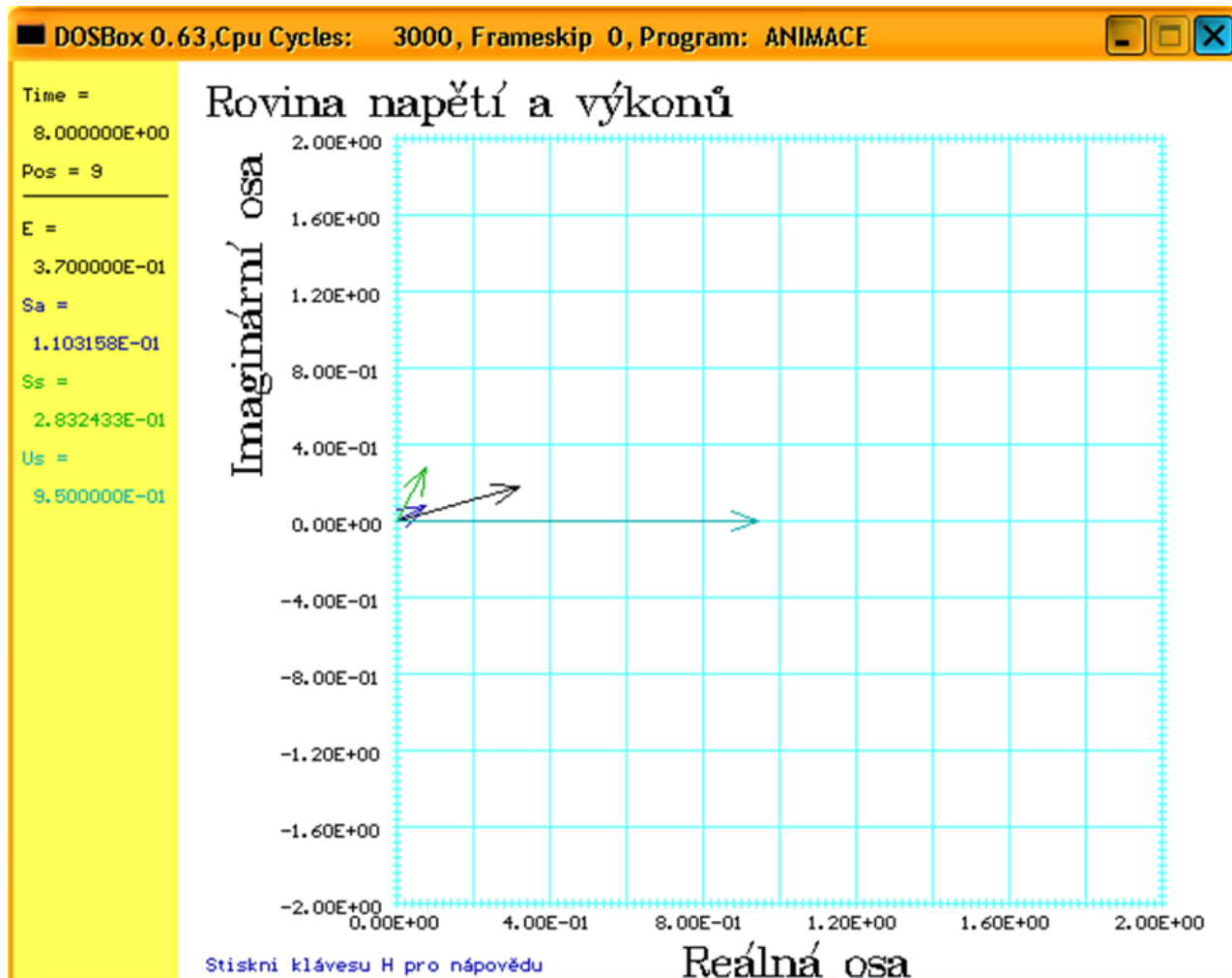
Závislost výkonů
na velikosti E :



Výkony dodávané alternátorem:

$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta \quad Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}} \quad Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

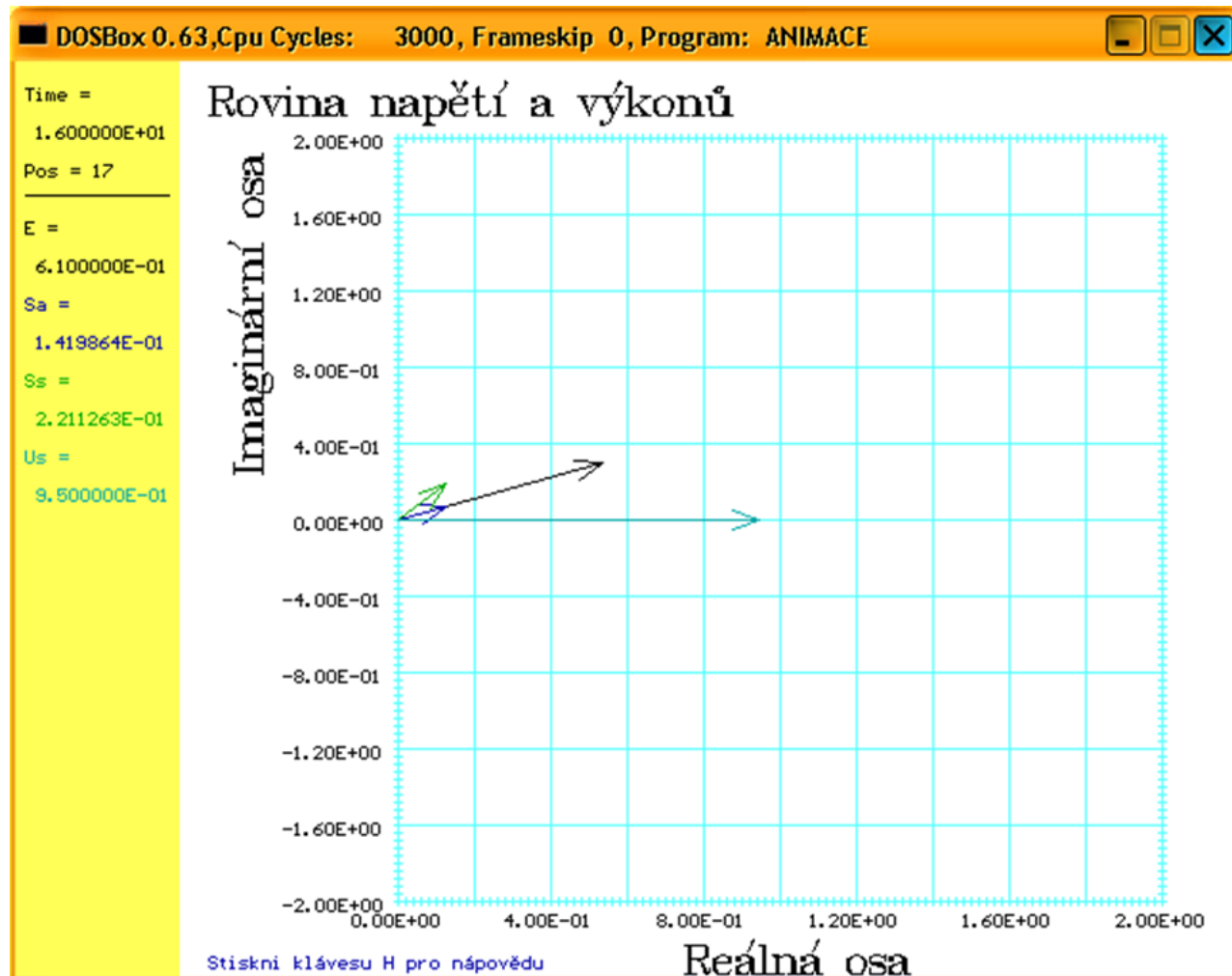
Závislost výkonů
na velikosti E :



Výkony dodávané alternátorem:

$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta \quad Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}} \quad Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

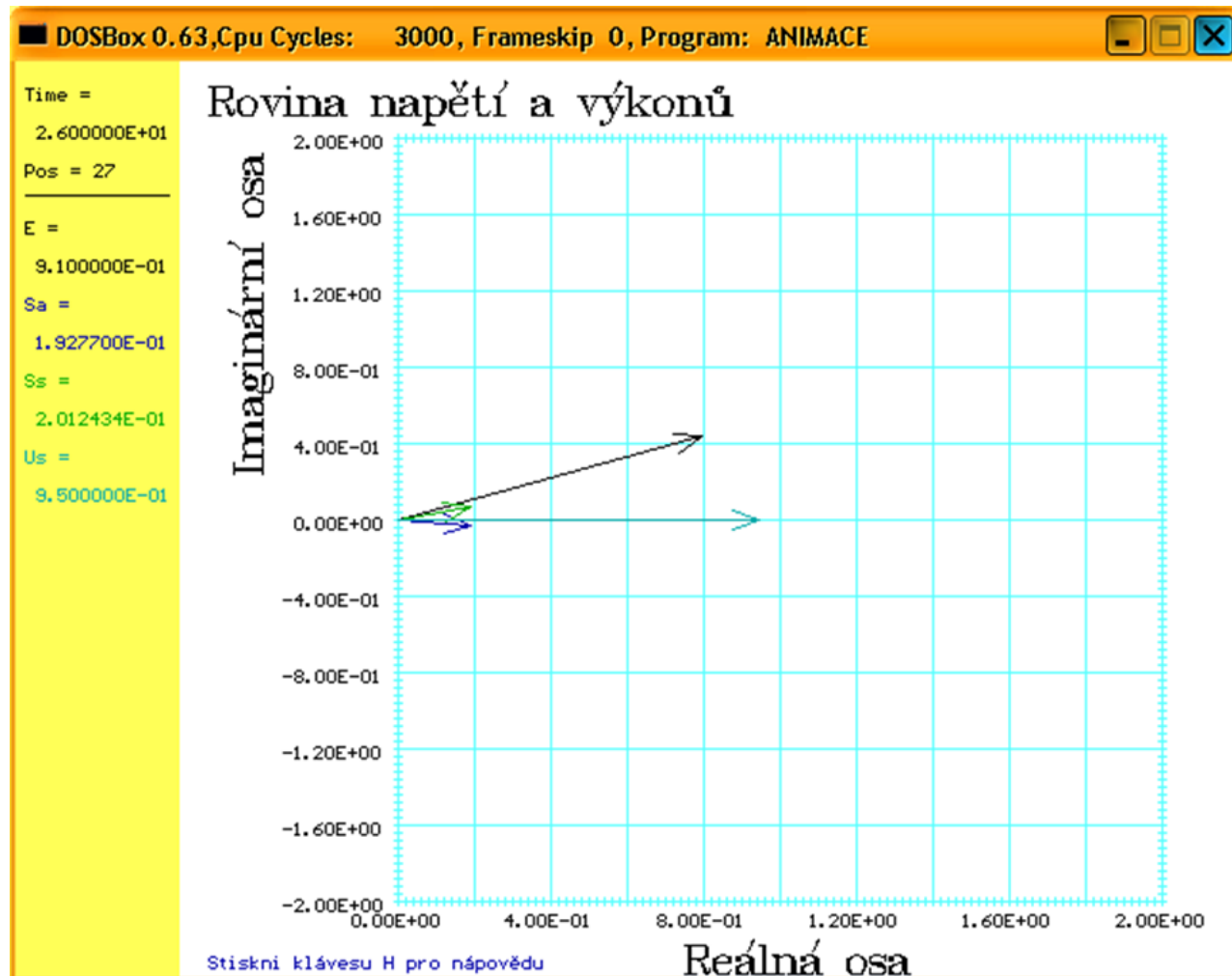
Závislost výkonů
na velikosti E :



Výkony dodávané alternátorem:

$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta \quad Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}} \quad Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

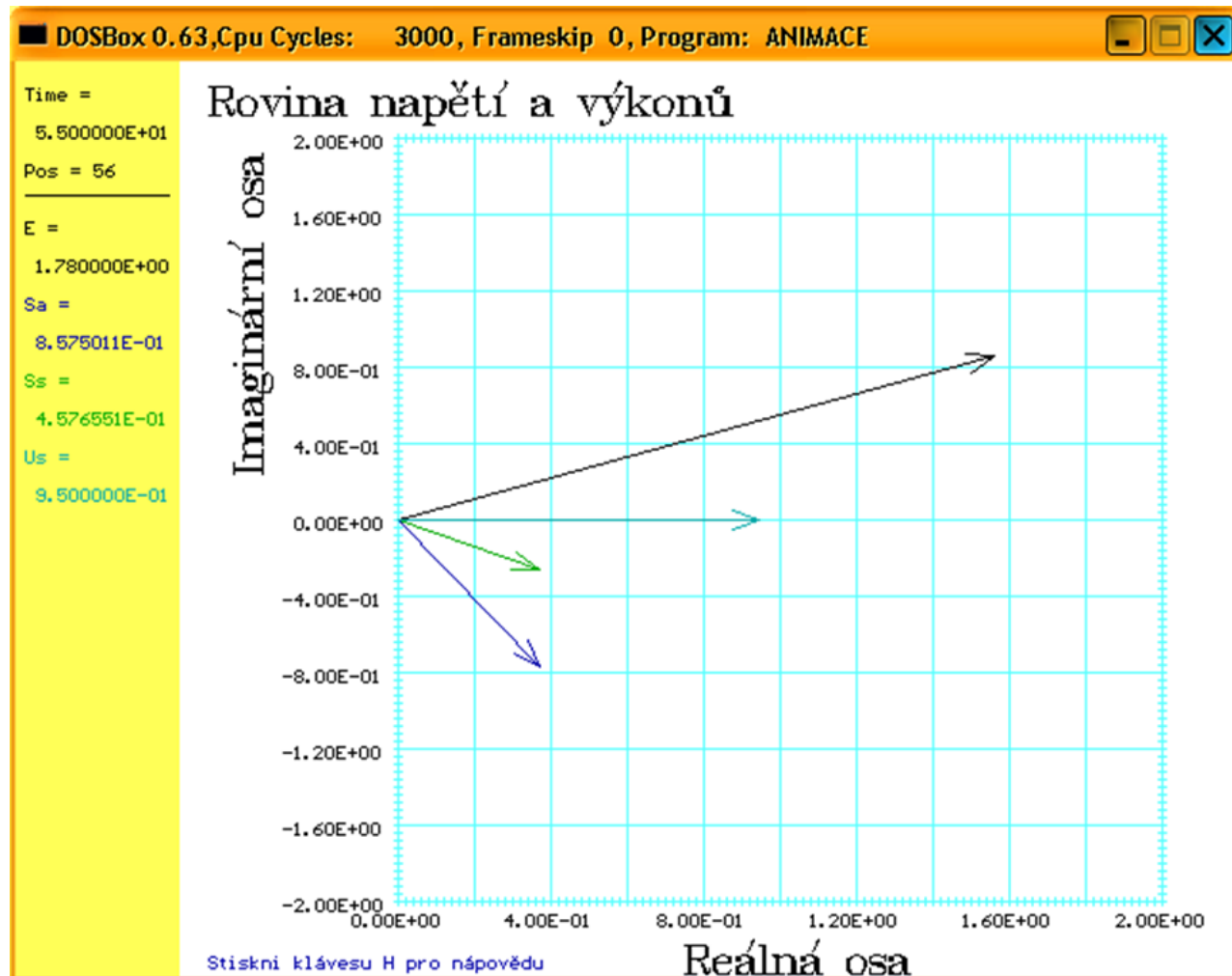
Závislost výkonů
na velikosti E :



Výkony dodávané alternátorem:

$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta \quad Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}} \quad Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

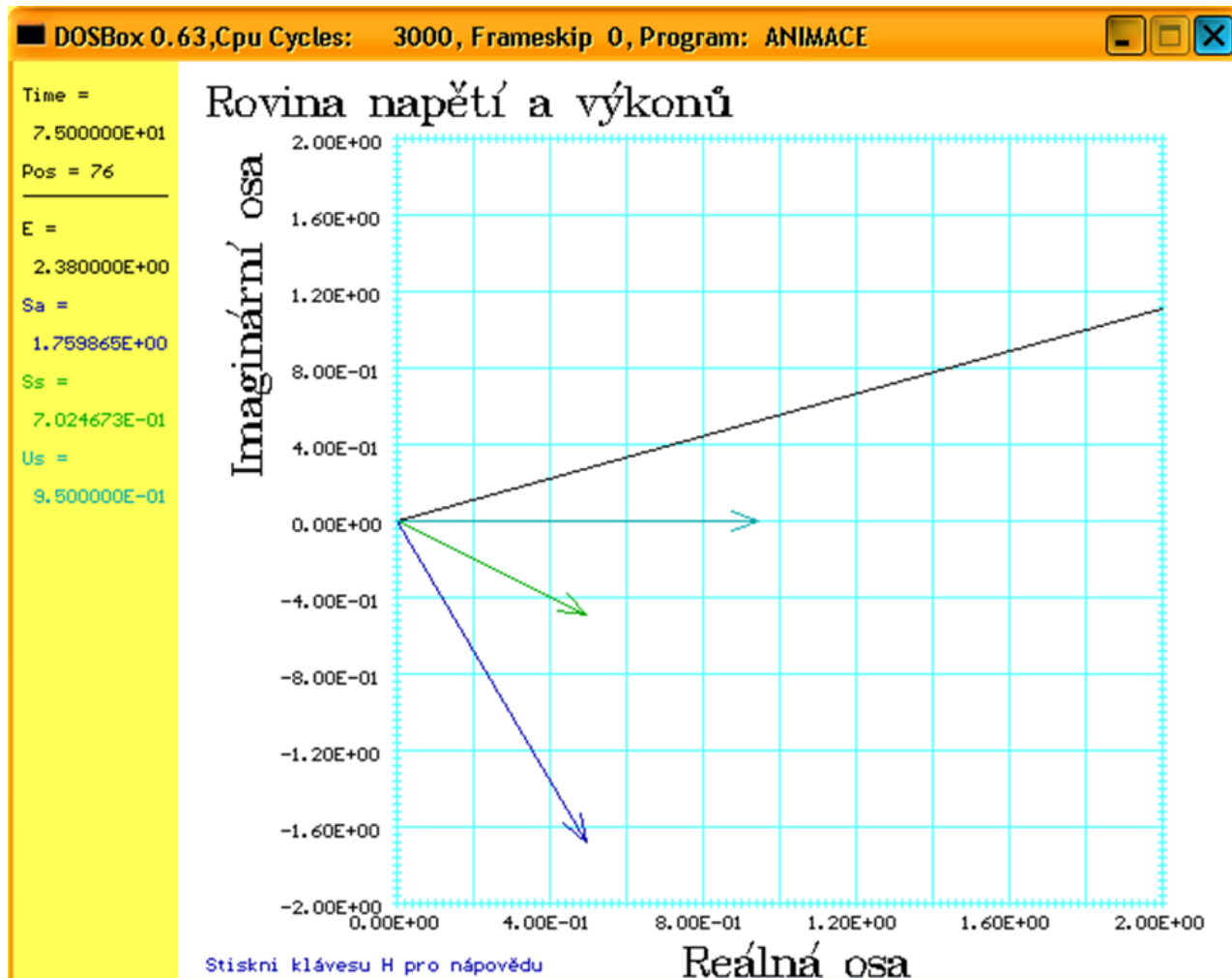
Závislost výkonů
na velikosti E :



Výkony dodávané alternátorem:

$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta \quad Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}} \quad Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

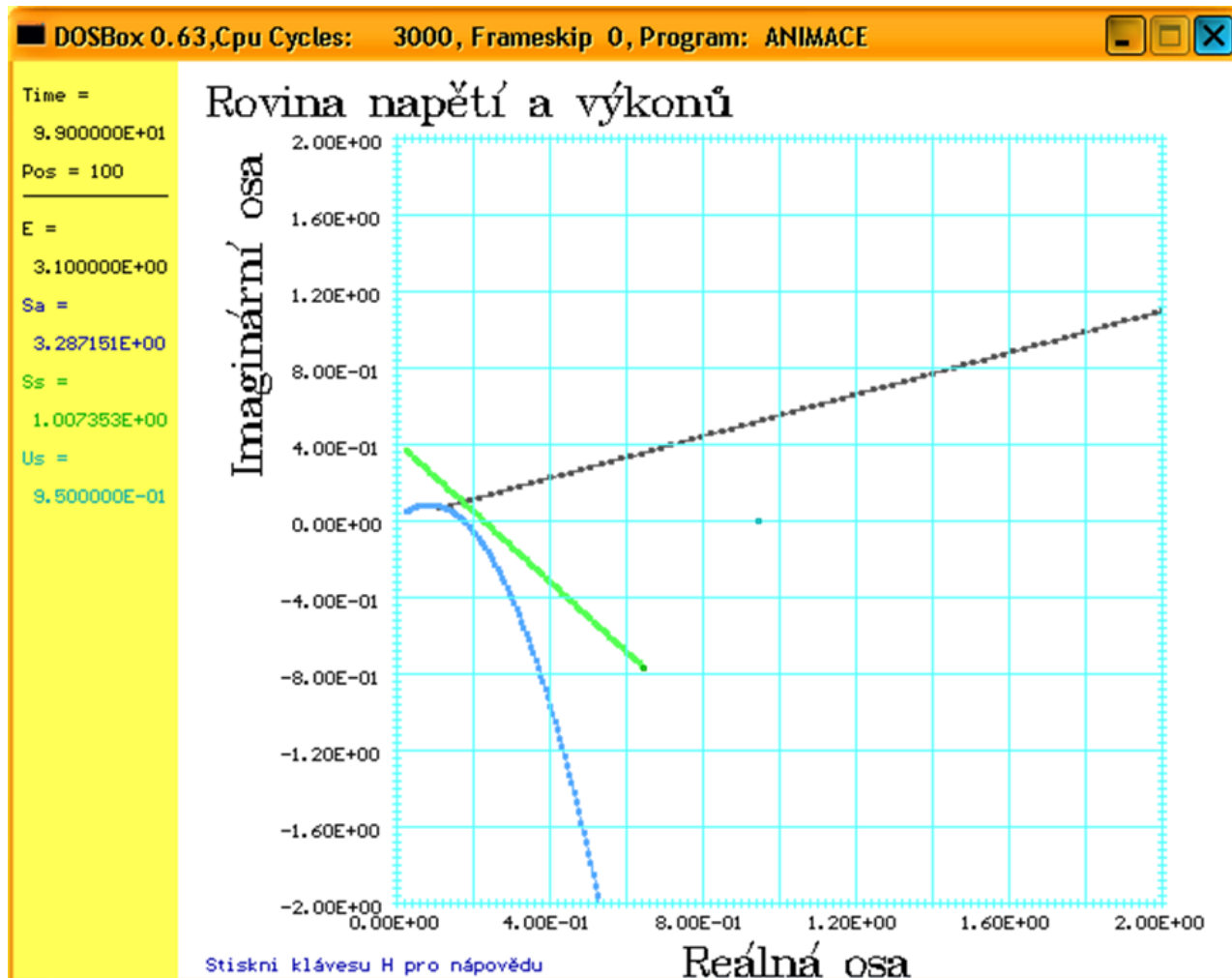
Závislost výkonů
na velikosti E :



Výkony dodávané alternátorem:

$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta \quad Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}} \quad Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

Závislost výkonů
na velikosti E :



Výkony dodávané alternátorem:

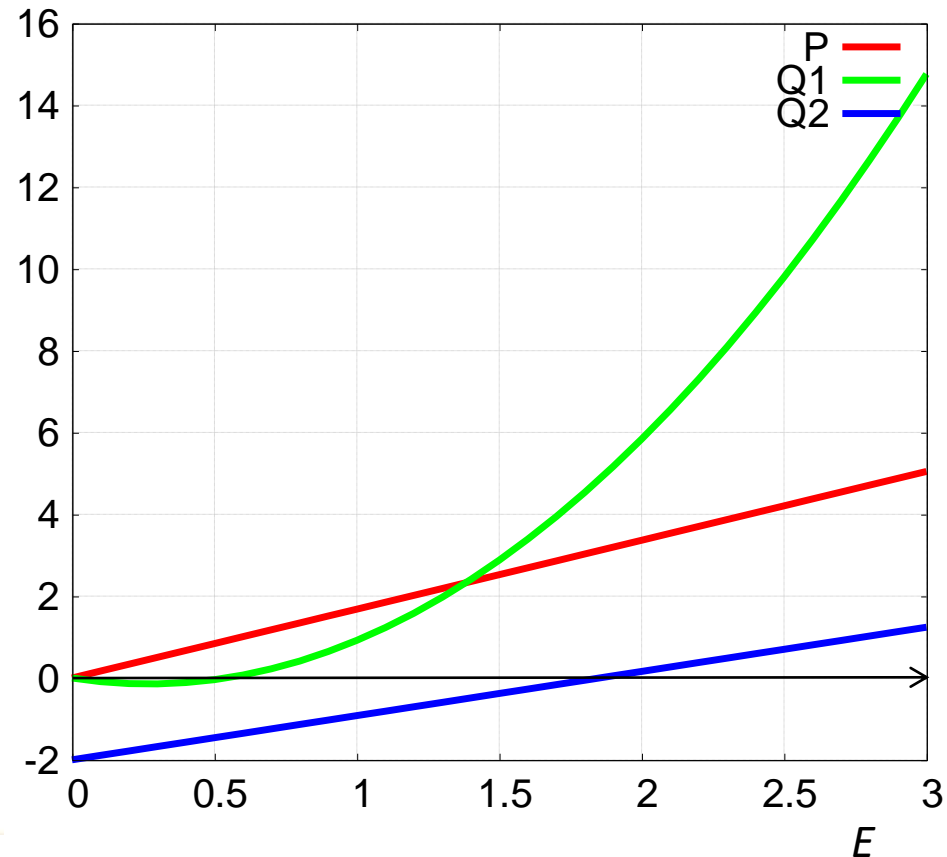
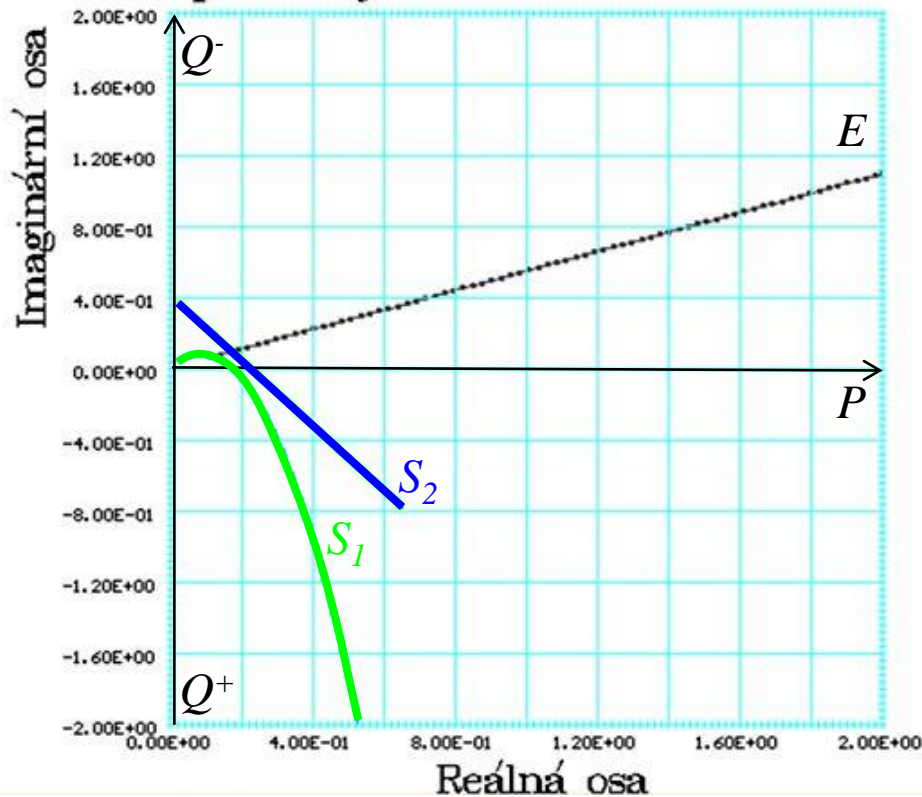
$$P = 3EU \cos \varphi = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \sin \Delta \vartheta$$

$$Q_2 = \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta - \frac{U_s^2}{X_{12}}$$

$$Q_1 = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U_s}{X_{12}} \cos \Delta \vartheta$$

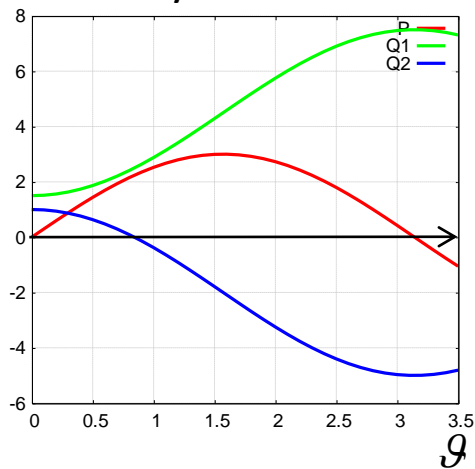
Závislost výkonů na velikosti E :

Rovina napětí a výkonů

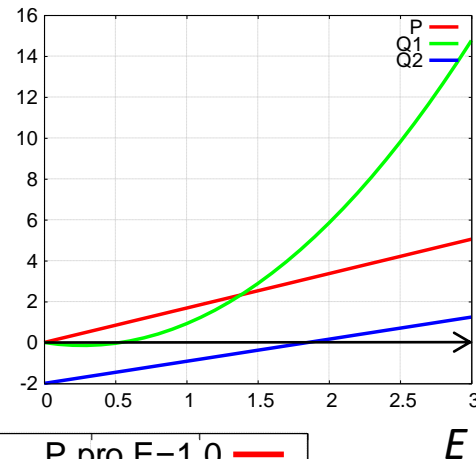
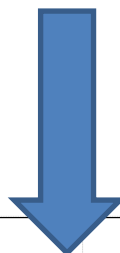


Výkony dodávané alternátorem:

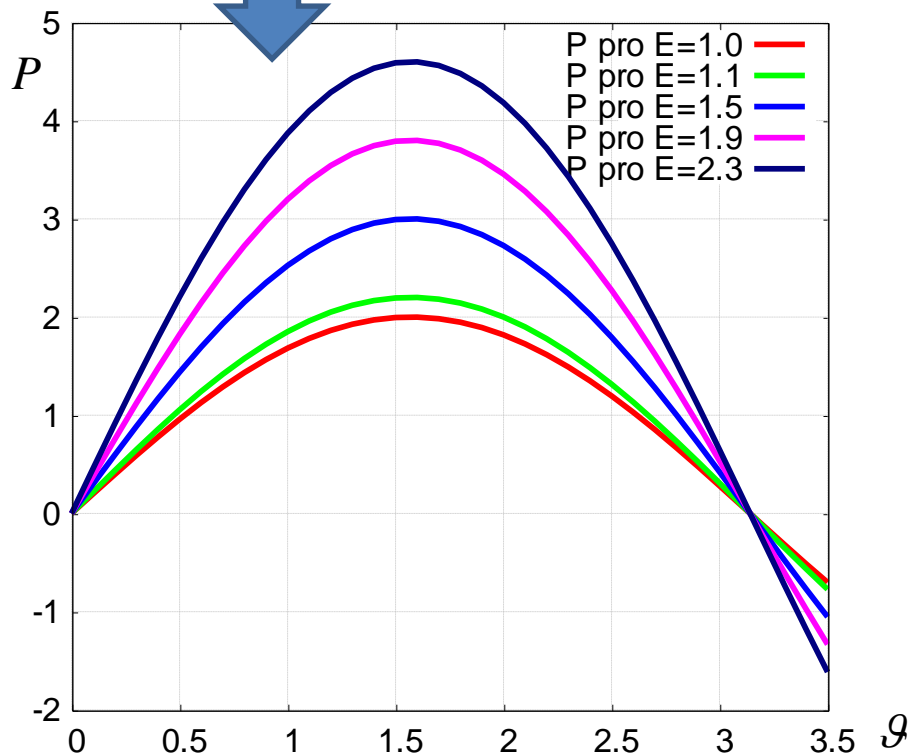
Závislosti výkonů:



+

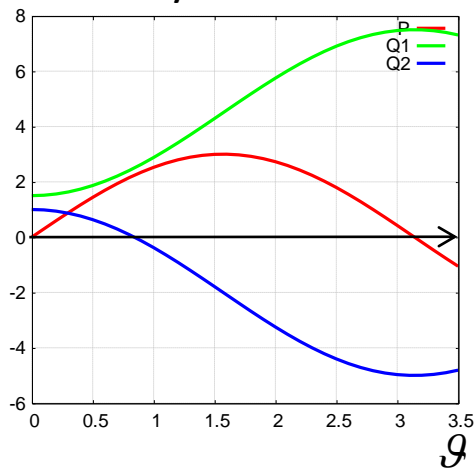


Závislost činného výkonu P
na velikosti \mathcal{G} a E :

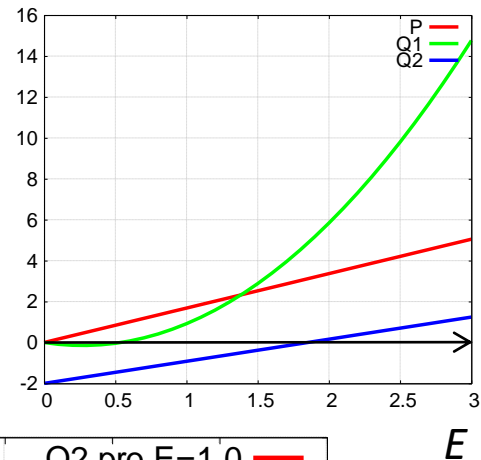
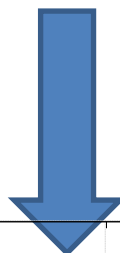


Výkony dodávané alternátorem:

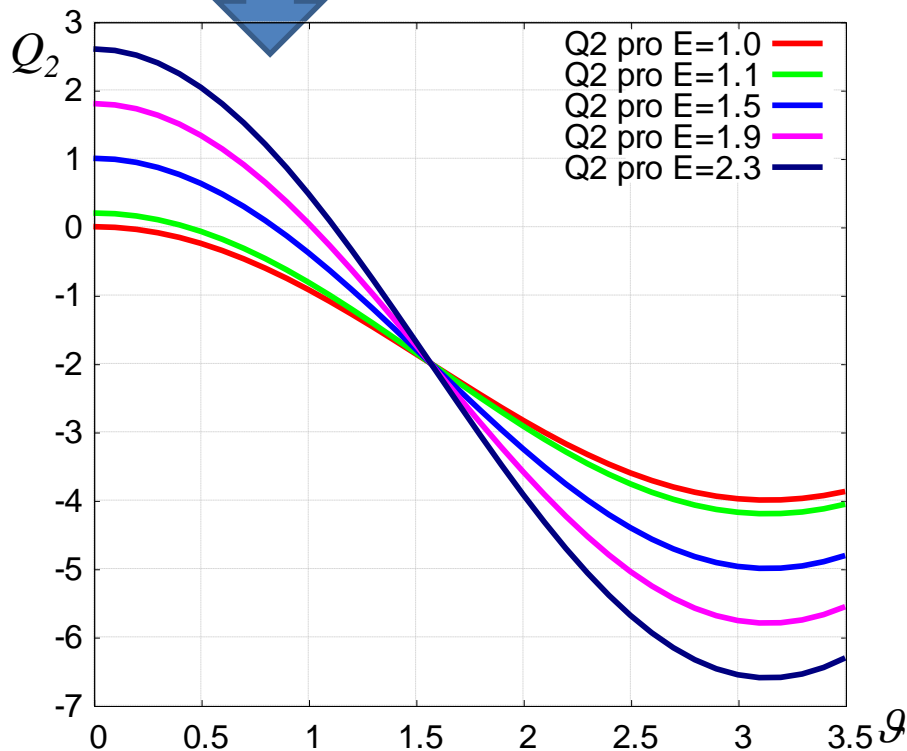
Závislosti výkonů:



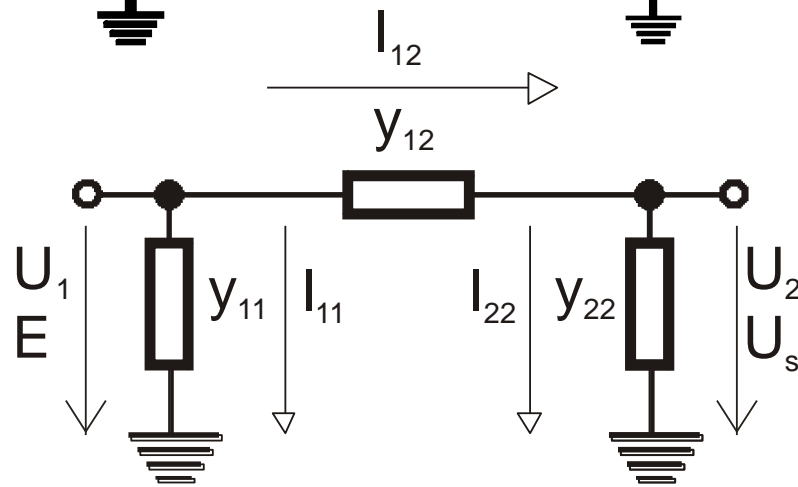
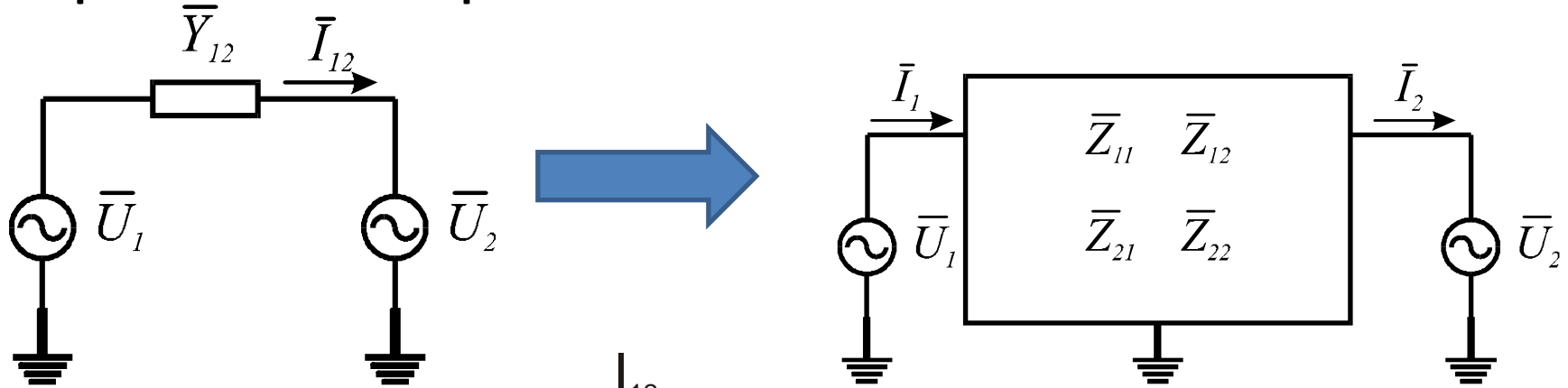
+



Závislost jalového výkonu Q_2 na velikosti ϑ a E :



Statická stabilita jednoduchého přenosu s respektováním příčné části náhradního schématu:



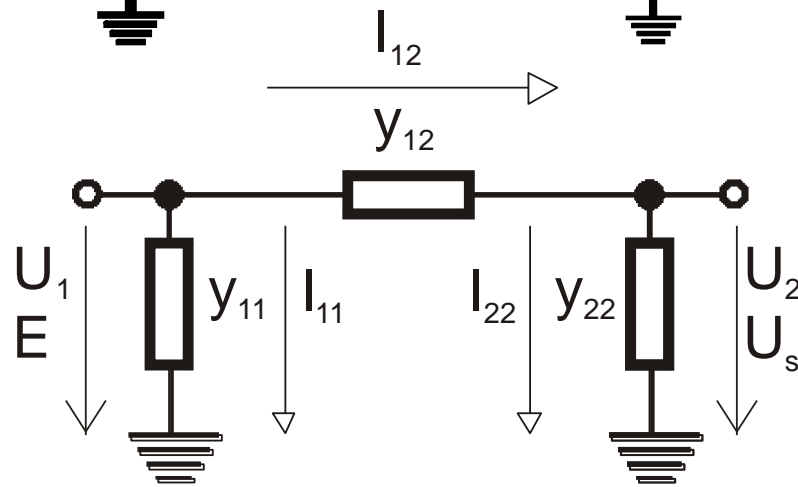
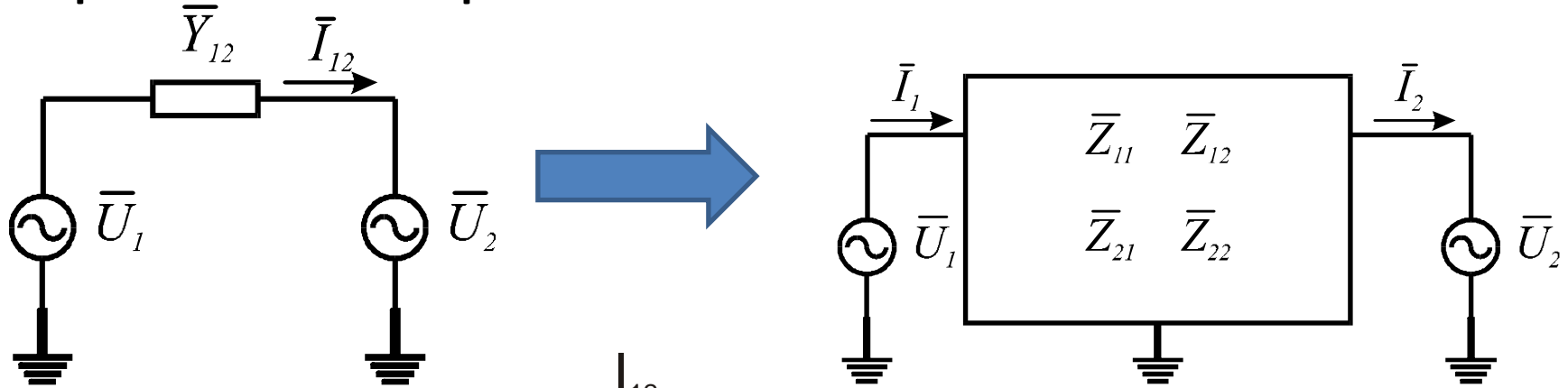
$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ -\bar{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{E} \\ \bar{U}_s \end{bmatrix}$$

$$\bar{Y}_{11} = \bar{y}_{11} + \bar{y}_{12} = \frac{1}{\bar{Z}_{11}} \quad \bar{Y}_{22} = \bar{y}_{22} + \bar{y}_{12} = \frac{1}{\bar{Z}_{22}}$$

$$\bar{Y}_{12} = \bar{Y}_{21} = -\bar{y}_{12} = -\frac{1}{\bar{Z}_{12}}$$

Admitanční označena matice jako $[\bar{Y}]$

Statická stabilita jednoduchého přenosu s respektováním příčné části náhradního schématu:



$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ -\bar{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{a}_{11} & \bar{a}_{12} \\ \bar{a}_{21} & \bar{a}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{E} \\ \bar{U}_s \end{bmatrix}$$

$$\bar{a}_{11} = \bar{y}_{11} + \bar{y}_{12} = \frac{1}{\bar{Z}_{11}}$$

$$\bar{a}_{22} = \bar{y}_{22} + \bar{y}_{12} = \frac{1}{\bar{Z}_{22}}$$

$$\bar{a}_{12} = \bar{A}_{21} = -\bar{y}_{12} = -\frac{1}{\bar{Z}_{12}}$$

Admitanční označena matice jako $[\bar{A}]$

Statická stabilita jednoduchého přenosu s respektováním příčné části náhradního schématu:

Výkon vnitřní alternátoru: $\bar{S}_1 = 3\bar{E} \cdot \bar{I}_1^* = 3\bar{E}(\bar{A}_{11}\bar{E} + \bar{A}_{12}\bar{U}_S)^* = 3\left(\frac{E^2}{Z_{11}^*} - \frac{\bar{E} \cdot \bar{U}_S^*}{Z_{12}^*}\right)$

$$\bar{S}_1 = 3\left(\frac{E^2}{Z_{11}}e^{-j\alpha_{11}}e^{j0} - \frac{E \cdot U_S}{Z_{12}}e^{-j\alpha_{12}}e^{j\Delta\vartheta}\right) \quad \boxed{\alpha_{11} = \frac{\pi}{2} - \beta_{11} \quad \alpha_{12} = \frac{\pi}{2} - \beta_{12}}$$

$$\bar{S}_1 = 3\left(\frac{E^2}{Z_{11}}e^{j\left(\frac{\pi}{2}-\beta_{11}\right)} - \frac{E \cdot U_S}{Z_{12}}e^{j\Delta\vartheta}e^{j\left(\frac{\pi}{2}-\beta_{12}\right)}\right) = 3\left(\frac{E^2}{Z_{11}}e^{j\frac{\pi}{2}}e^{-j\beta_{11}} - \frac{E \cdot U_S}{Z_{12}}e^{j\Delta\vartheta}e^{j\frac{\pi}{2}}e^{-j\beta_{12}}\right)$$

$$\bar{S}_1 = 3\left(j\frac{E^2}{Z_{11}}e^{-j\beta_{11}} - j\frac{E \cdot U_S}{Z_{12}}e^{j(\Delta\vartheta-\beta_{12})}\right)$$

$$P_1 = 3\left(j\frac{E^2}{Z_{11}}j\sin(-\beta_{11}) - j\frac{E \cdot U_S}{Z_{12}}j\sin(\Delta\vartheta - \beta_{12})\right)$$

$$\boxed{P_1 = 3\left(\frac{E^2}{Z_{11}}\sin(\beta_{11}) + \frac{E \cdot U_S}{Z_{12}}\sin(\Delta\vartheta - \beta_{12})\right)}$$

$$Q_1 = 3\left(\frac{E^2}{Z_{11}}\cos(\beta_{11}) - \frac{E \cdot U_S}{Z_{12}}\cos(\Delta\vartheta - \beta_{12})\right)$$

Statická stabilita jednoduchého přenosu s respektováním příčné části náhradního schématu:

Výkon dodávaný do sítě: $\bar{S}_2 = 3\bar{U}_S \cdot \bar{I}_2^* = 3\bar{U}_S (-\bar{A}_{21}\bar{E} - \bar{A}_{22}\bar{U}_S)^* = 3\left(\frac{\bar{U}_S \cdot \bar{E}^*}{\bar{Z}_{12}^*} - \frac{U_S^2}{\bar{Z}_{22}^*}\right)$

$$\bar{S}_2 = 3\left(\frac{U_S \cdot E}{Z_{12} e^{-j\alpha_{12}}} e^{-j\Delta\vartheta} - \frac{U_S^2}{Z_{22} e^{-j\alpha_{22}}} e^{j0}\right)$$

$$\alpha_{22} = \frac{\pi}{2} - \beta_{22}$$

$$\bar{S}_2 = 3\left(\frac{U_S \cdot E}{Z_{12}} e^{-j\Delta\vartheta} e^{j\left(\frac{\pi}{2} - \beta_{12}\right)} - \frac{U_S^2}{Z_{22}} e^{j\left(\frac{\pi}{2} - \beta_{22}\right)}\right) = 3\left(\frac{U_S \cdot E}{Z_{12}} e^{-j\Delta\vartheta} e^{j\frac{\pi}{2}} e^{-j\beta_{12}} - \frac{U_S^2}{Z_{22}} e^{j\frac{\pi}{2}} e^{-j\beta_{22}}\right)$$

$$\bar{S}_2 = 3\left(j \frac{U_S \cdot E}{Z_{12}} e^{-j(\Delta\vartheta + \beta_{12})} - j \frac{U_S^2}{Z_{22}} e^{-j\beta_{22}}\right)$$

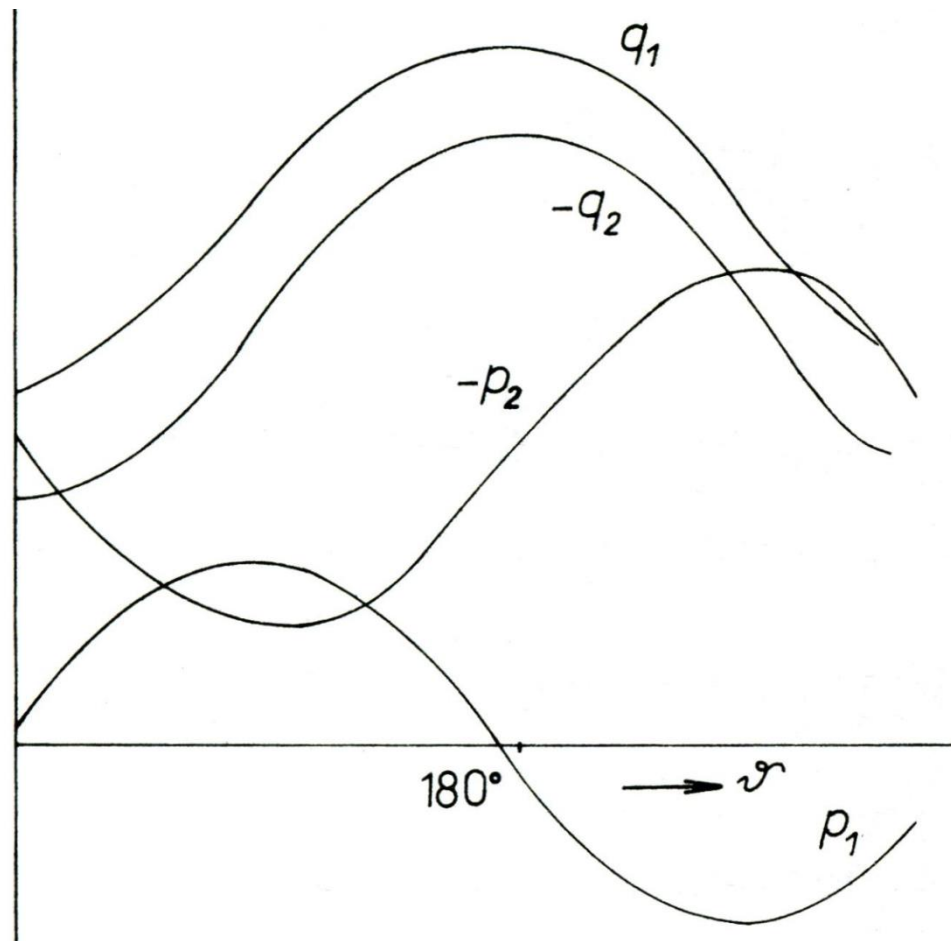
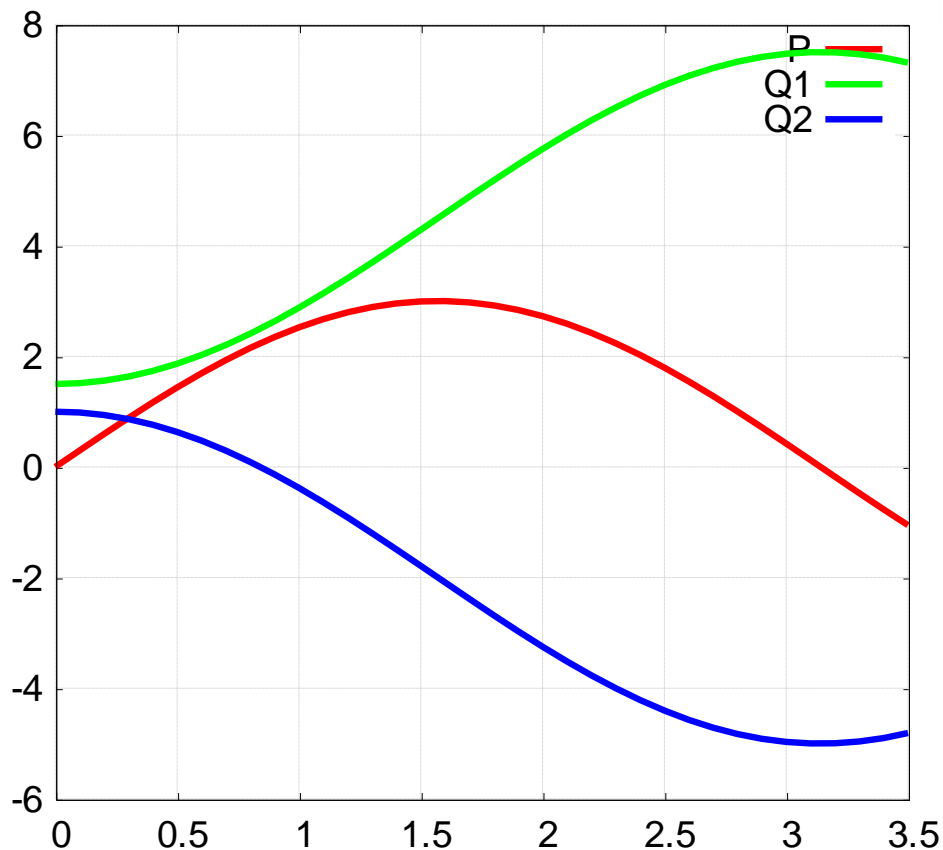
$$P_2 = 3\left(j \frac{E \cdot U_S}{Z_{12}} j \sin(-(\Delta\vartheta + \beta_{12})) - j \frac{U_S^2}{Z_{22}} j \sin(-\beta_{22})\right)$$

$$P_2 = 3\left(\frac{E \cdot U_S}{Z_{12}} \sin(\Delta\vartheta + \beta_{12}) - \frac{U_S^2}{Z_{22}} \sin(\beta_{22})\right)$$

$$Q_2 = 3\left(\frac{E \cdot U_S}{Z_{12}} \cos(\Delta\vartheta + \beta_{12}) - \frac{U_S^2}{Z_{22}} \cos(\beta_{22})\right)$$

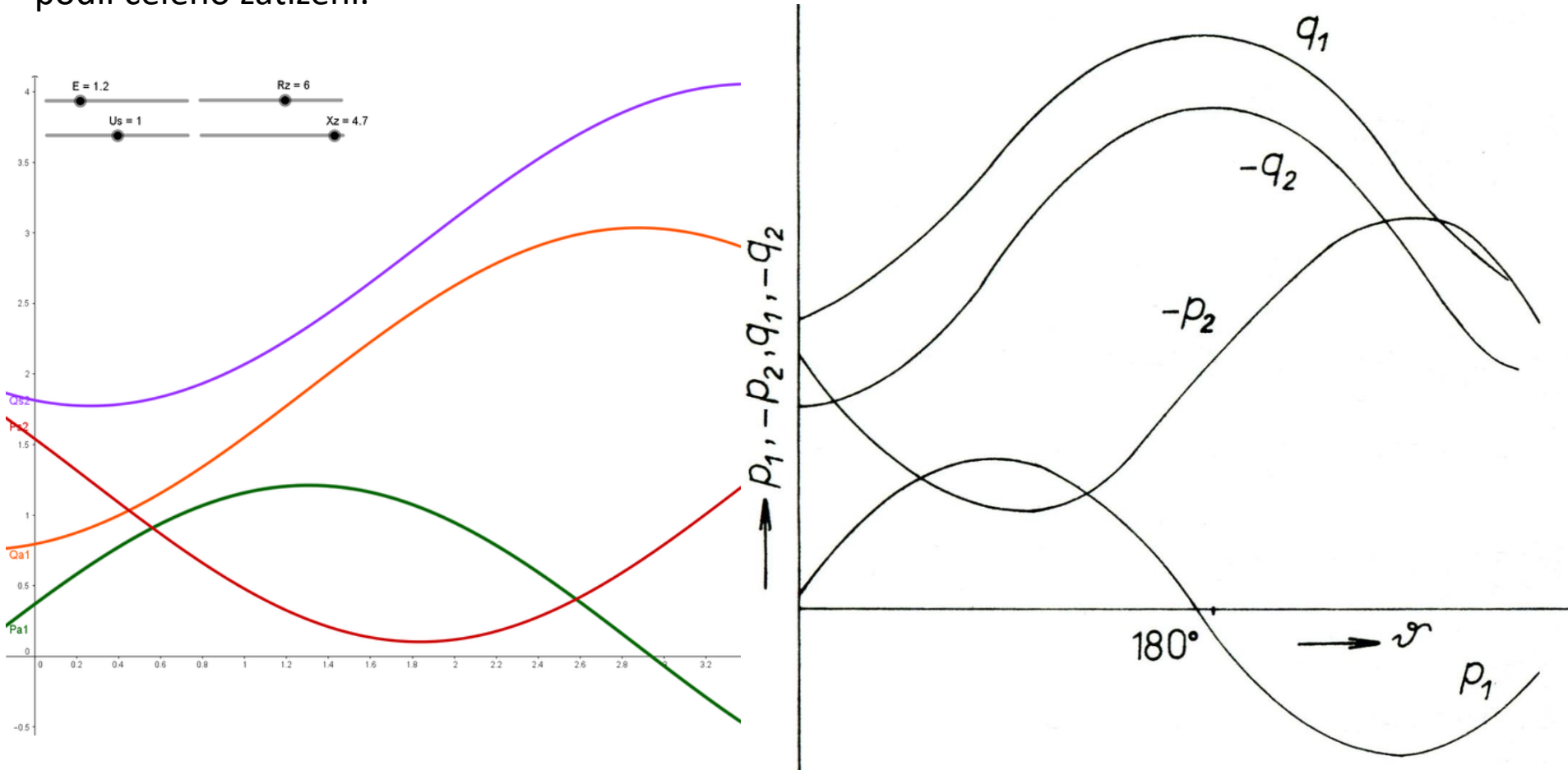
Statická stabilita jednoduchého přenosu s respektováním příčné části náhradního schématu:

Při výrazné spotřebě uvnitř dvojbranu mohou výkony P_2 a Q_2 změnit směr a síť se rovněž podílí na napájení, tedy se zvyšujícím se zátěžným úhlem alternátor pouze přebírá příslušný podíl celého zatížení.

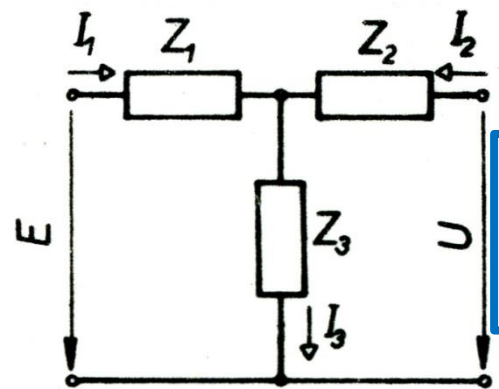
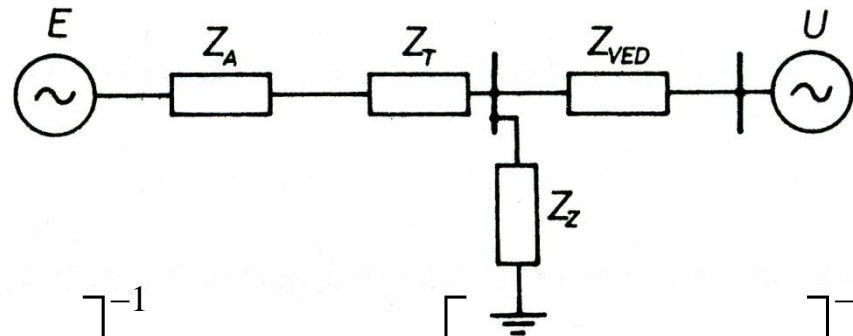
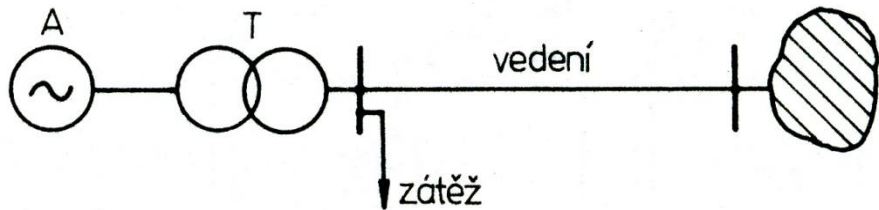


Statická stabilita jednoduchého přenosu s respektováním příčné části náhradního schématu:

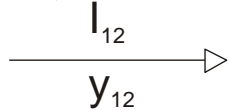
Při výrazné spotřebě uvnitř dvojbranu mohou výkony P2 a Q2 změnit směr a síť se rovněž podílí na napájení, tedy se zvyšujícím se zátěžným úhlem alternátor pouze přebírá příslušný podíl celého zatížení.



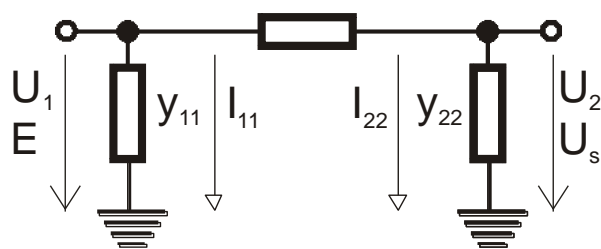
Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě:



$$\bar{a}_{11} = \frac{\bar{I}_1}{\bar{E}} = \left[\bar{Z}_1 + \frac{1}{\frac{1}{\bar{Z}_2} + \frac{1}{\bar{Z}_3}} \right]^{-1} \quad \bar{a}_{22} = \frac{-\bar{I}_2}{\bar{U}_s} = \left[\bar{Z}_2 + \frac{1}{\frac{1}{\bar{Z}_1} + \frac{1}{\bar{Z}_3}} \right]^{-1}$$



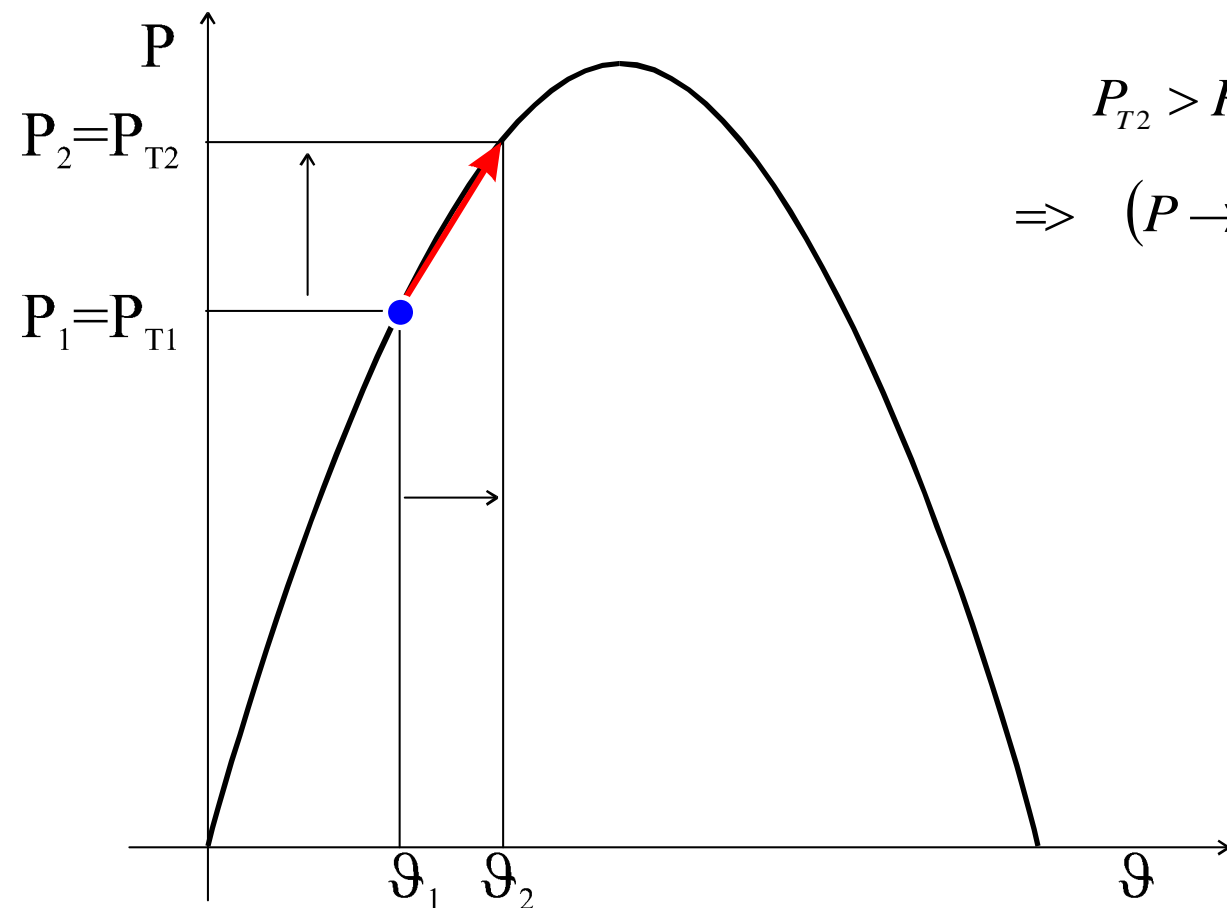
$$\bar{a}_{12} = \frac{\bar{I}_1}{\bar{U}_s} = \bar{a}_{21} = \frac{-\bar{I}_2}{\bar{E}} = \left[\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2}{\bar{Z}_3} \right]^{-1}$$



$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ -\bar{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{a}_{11} & \bar{a}_{12} \\ \bar{a}_{21} & \bar{a}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{E} \\ \bar{U}_s \end{bmatrix}$$

Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě:

Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě je schopnost systému nalézt při nekonečně malých a nekonečně pomalých změnách zátěžného úhlu, výkonu turbíny, parametrů přenosu elektrického činného výkonu, nebo jiných veličin, které tyto parametry ovlivňují, nový stav s konstantním zátěžným úhlem, čili synchronní stav.

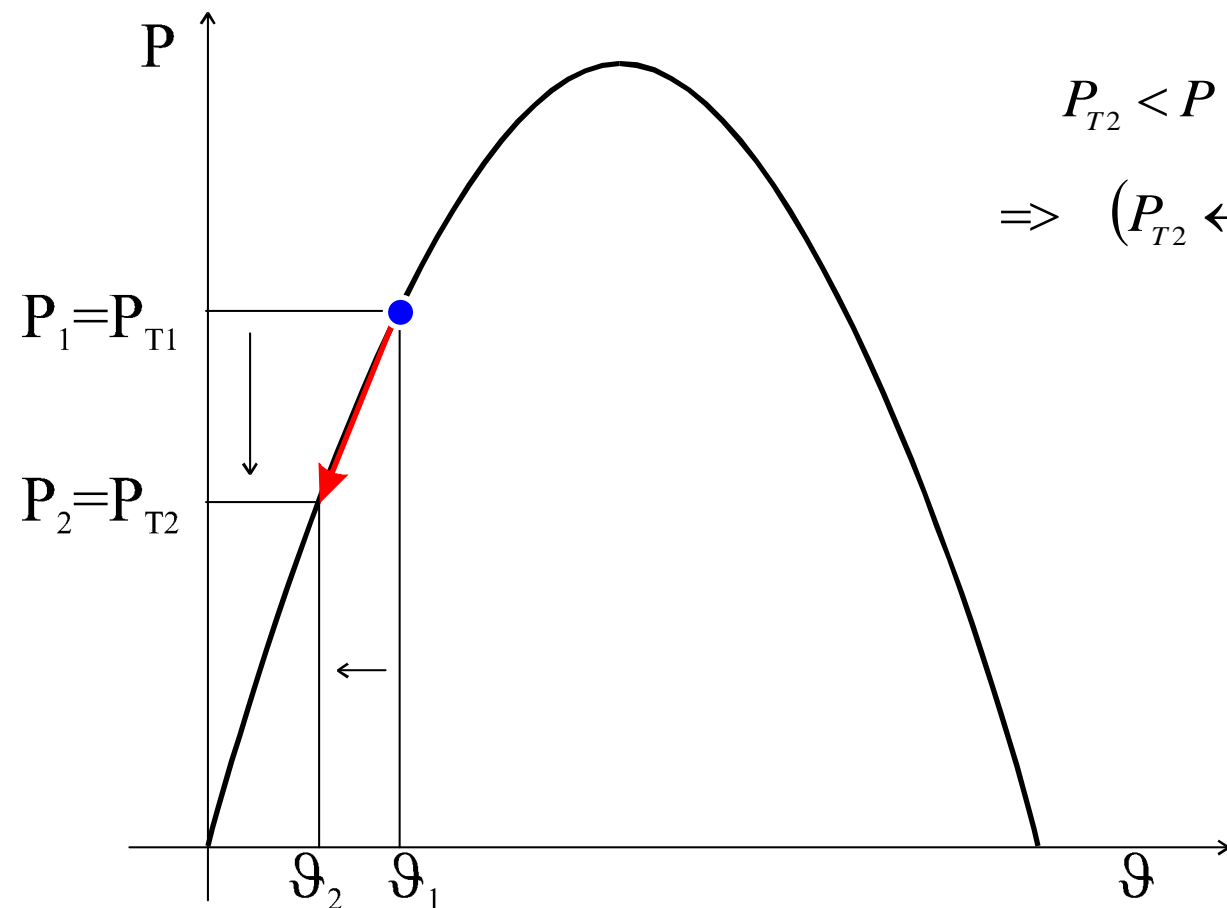


$$P_{T2} > P \Rightarrow \vartheta \text{ se zvětšuje}$$

$$\Rightarrow (P \rightarrow P_{T2}) \Rightarrow \text{stabilní stav „1“}$$

Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě:

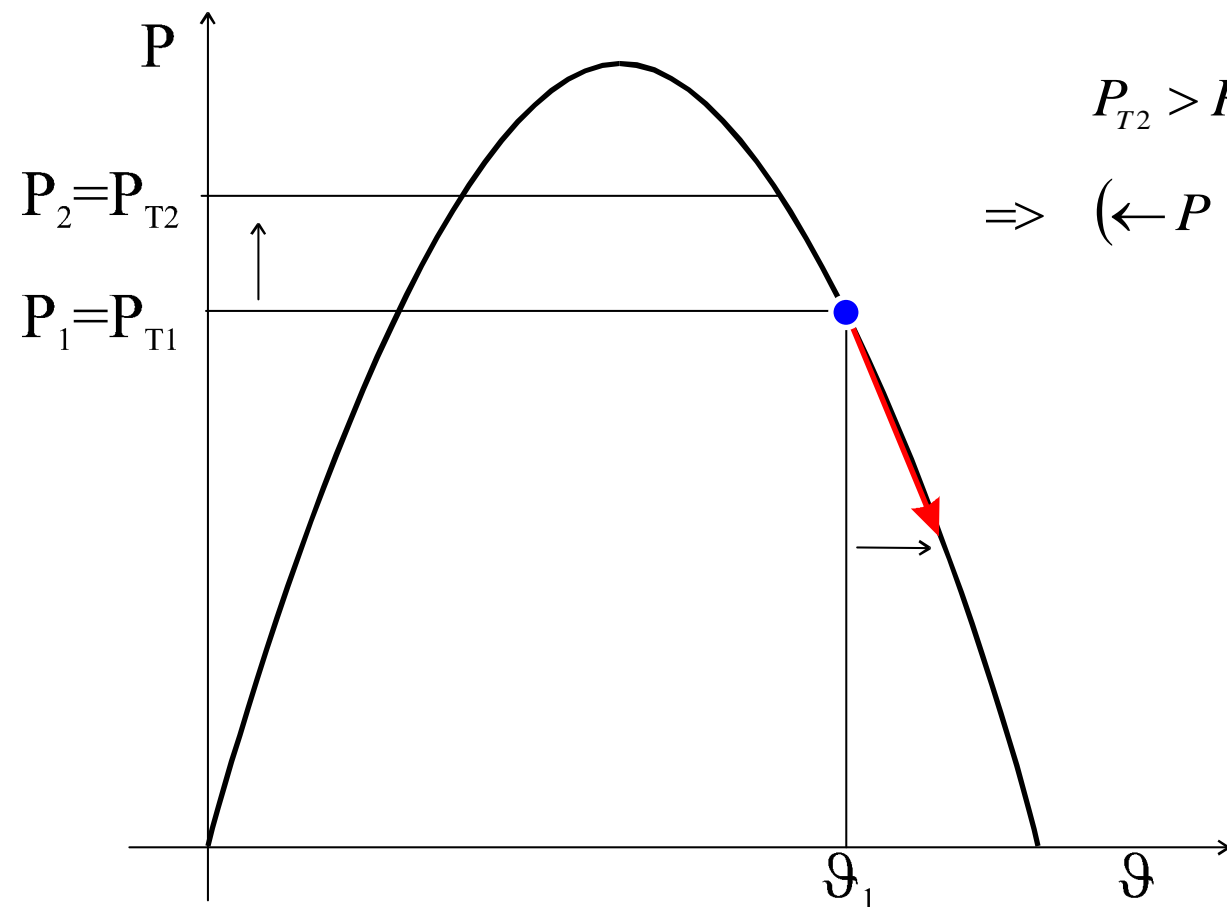
Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě je schopnost systému nalézt při nekonečně malých a nekonečně pomalých změnách zátěžného úhlu, výkonu turbíny, parametrů přenosu elektrického činného výkonu, nebo jiných veličin, které tyto parametry ovlivňují, nový stav s konstantním zátěžným úhlem, čili synchronní stav.



$$P_{T2} < P \Rightarrow \vartheta \text{ se zmenšuje}$$
$$\Rightarrow (P_{T2} \leftarrow P) \Rightarrow \text{stabilní stav „1“}$$

Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě:

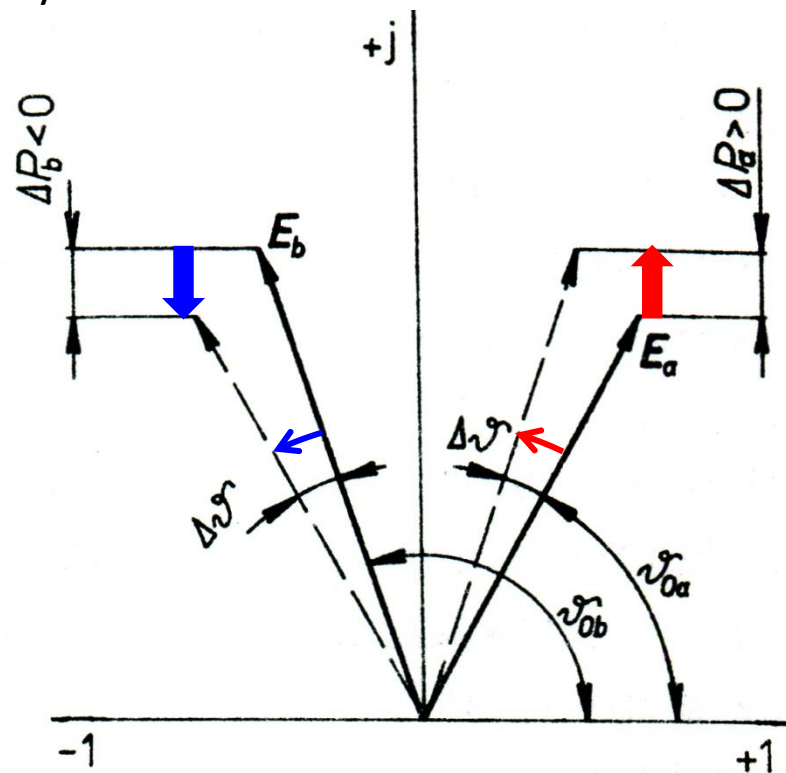
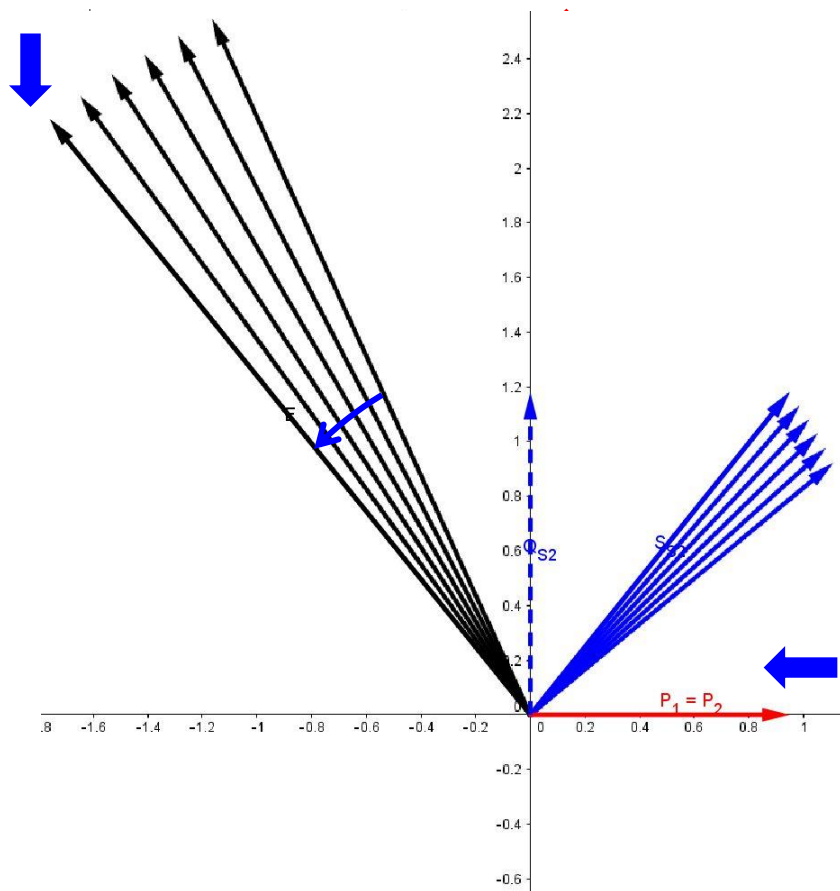
Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě je schopnost systému nalézt při nekonečně malých a nekonečně pomalých změnách zátěžného úhlu, výkonu turbíny, parametrů přenosu elektrického činného výkonu, nebo jiných veličin, které tyto parametry ovlivňují, nový stav s konstantním zátěžným úhlem, čili synchronní stav.



$P_{T2} > P \Rightarrow \vartheta$ se zvětšuje
 $\Rightarrow (\leftarrow P \ P_{T2}) \Rightarrow$ nestabilní stav „1“

Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě:

Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě je schopnost systému nalézt při nekonečně malých a nekonečně pomalých změnách zátěžného úhlu, výkonu turbíny, parametrů přenosu elektrického činného výkonu, nebo jiných veličin, které tyto parametry ovlivňují, nový stav s konstantním zátěžným úhlem, čili synchronní stav.



Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě:

Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě je schopnost systému nalézt při nekonečně malých a nekonečně pomalých změnách zátěžného úhlu, výkonu turbíny, parametrů přenosu elektrického činného výkonu, nebo jiných veličin, které tyto parametry ovlivňují, nový stav s konstantním zátěžným úhlem, čili synchronní stav.

Podmínka splnění statické stability:

$$\begin{array}{l} P_{T2} > P \Rightarrow \vartheta \text{ se zvětšuje} \\ \Rightarrow (P \rightarrow P_{T2}) \Rightarrow \text{stabilní stav „1“} \\ P_{T2} < P \Rightarrow \vartheta \text{ se zmenšuje} \\ \Rightarrow (P_{T2} \leftarrow P) \Rightarrow \text{stabilní stav „1“} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} P_{T2} > P \\ \Rightarrow (P \rightarrow P_{T2}) \\ P_{T2} < P \\ \Rightarrow (P_{T2} \leftarrow P) \end{array}} \right\} \left(\frac{\partial P}{\partial \vartheta} \right)_{\vartheta=\vartheta_1} > 0$$
$$\rightarrow -90^\circ < \vartheta < 90^\circ$$

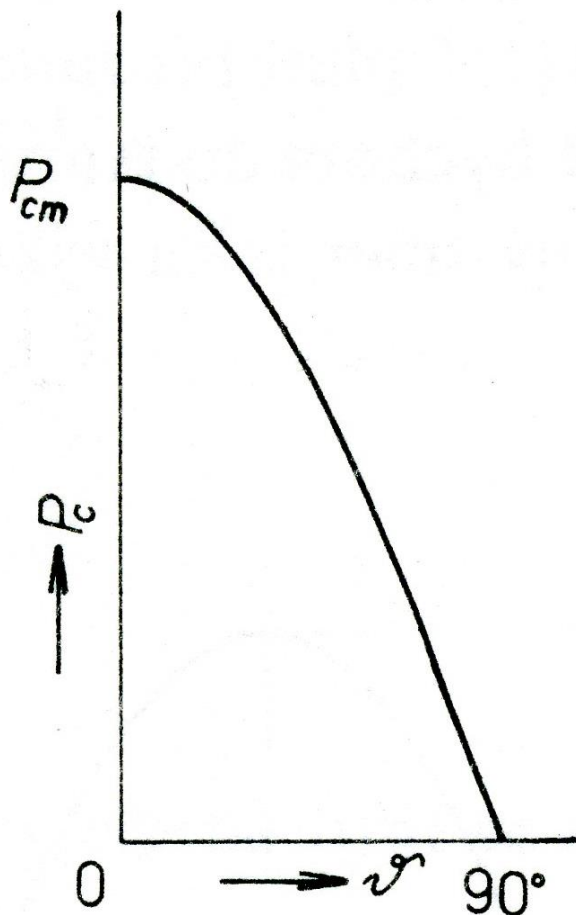
Maximální přenositelný výkon určen vztahem:

$$0 = \left(\frac{dP}{d\vartheta} \right)_{\vartheta=\vartheta_{\max}} = 3 \frac{E \cdot U}{X_{12}} \cos \vartheta_{\max}$$
$$P_{\max} = 3 \frac{E \cdot U}{X_{12}}$$

Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě:

Synchronizační výkon (velikost přírůstku výkonu pro jednotkovou změnu úhlu ϑ):

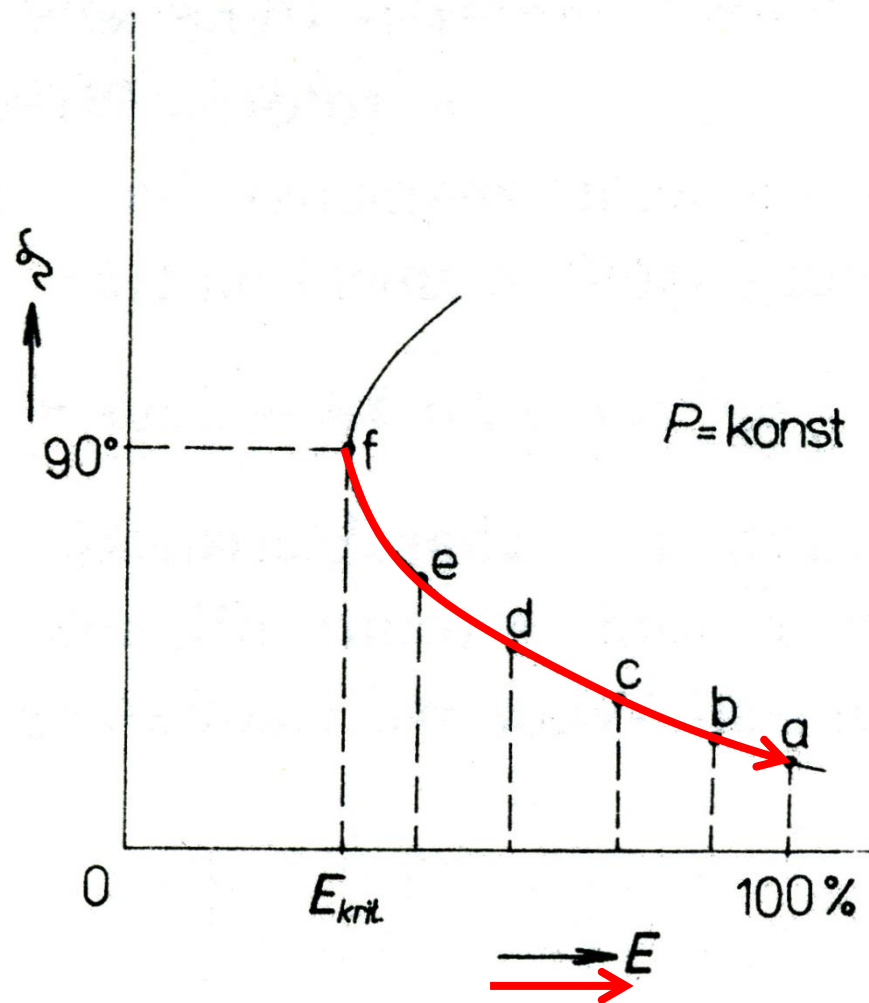
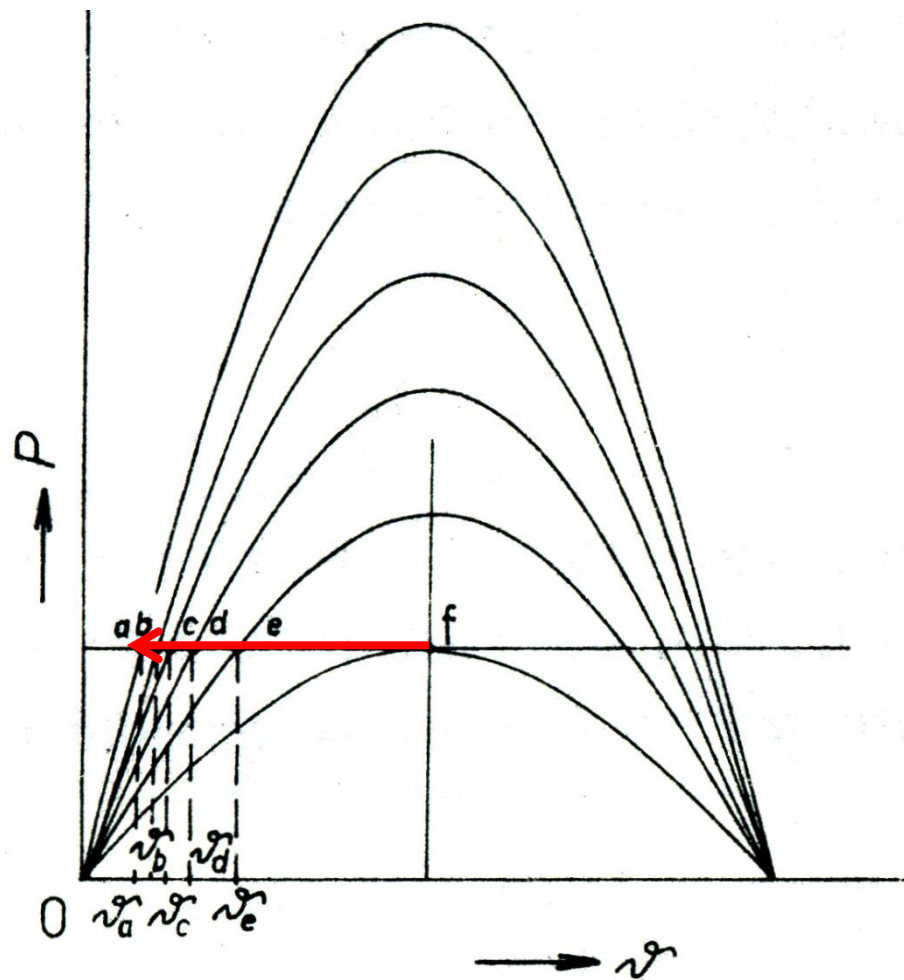
$$P_c(\vartheta_1) = \left(\frac{\partial P}{\partial \vartheta} \right)_{\vartheta = \vartheta_1}$$



$$\text{Činitel rezervy : } k_{p\%}(\vartheta_1) = \frac{P_{\max} - P_1}{P_1} 100 \geq 20\%$$

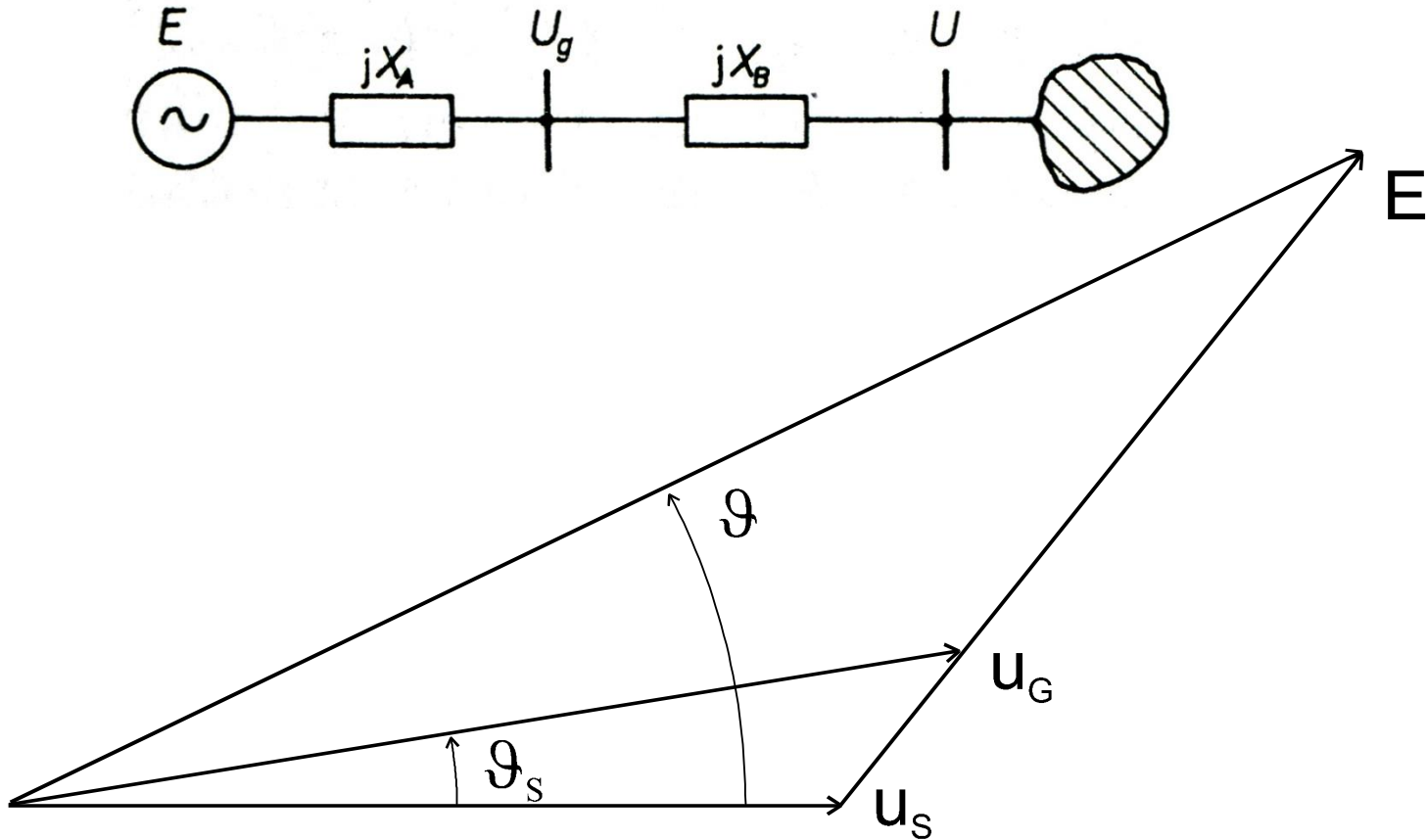
Statická stabilita alternátoru pracujícího do pevné sítě:

Vztah zátěžného úhlu ϑ a vnitřního elektromotorického napětí E :



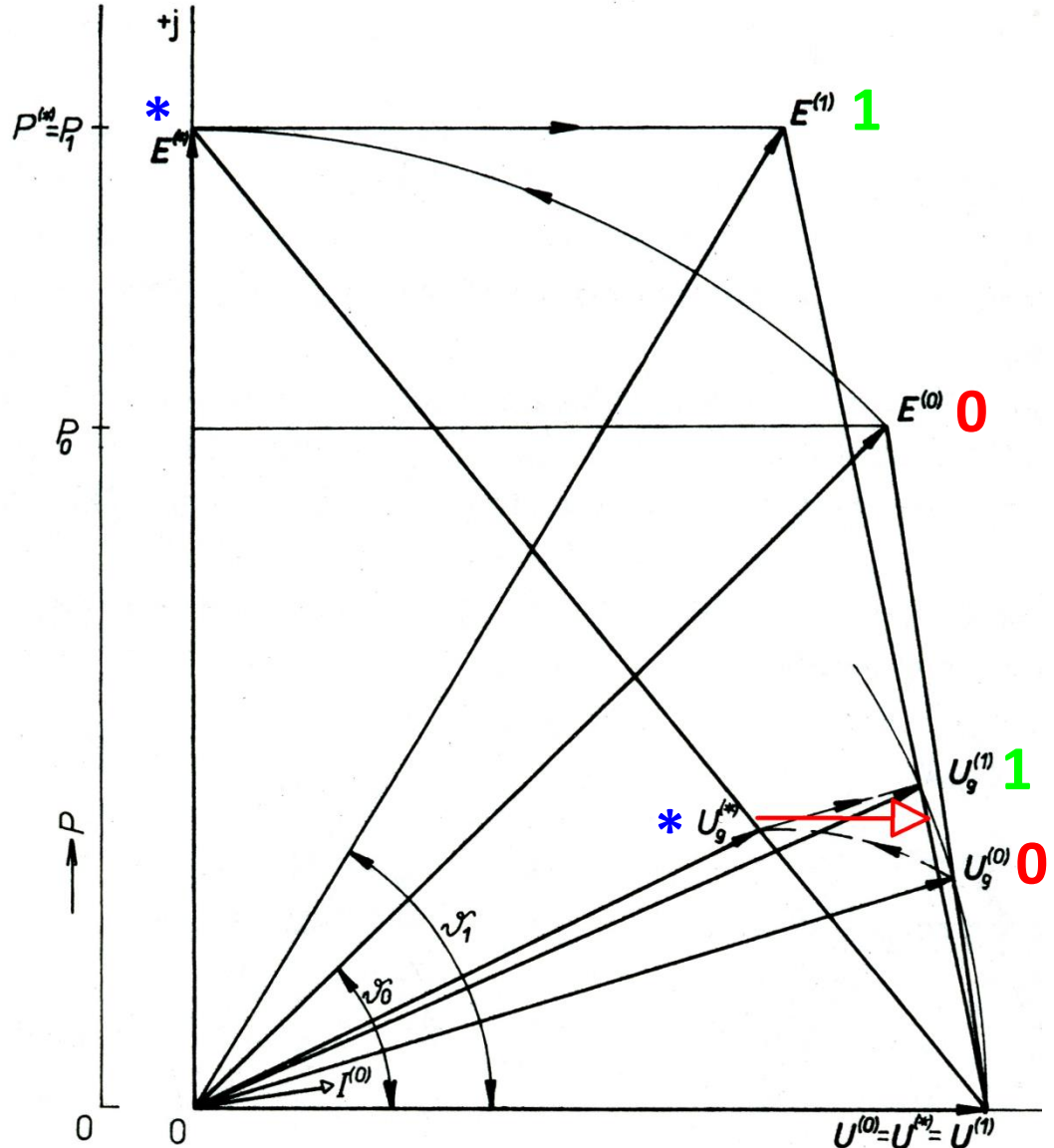
Závislost činného výkonu alternátoru při regulaci buzení

Soustava s konstantní hodnotou svorkového napětí alternátoru U_G .



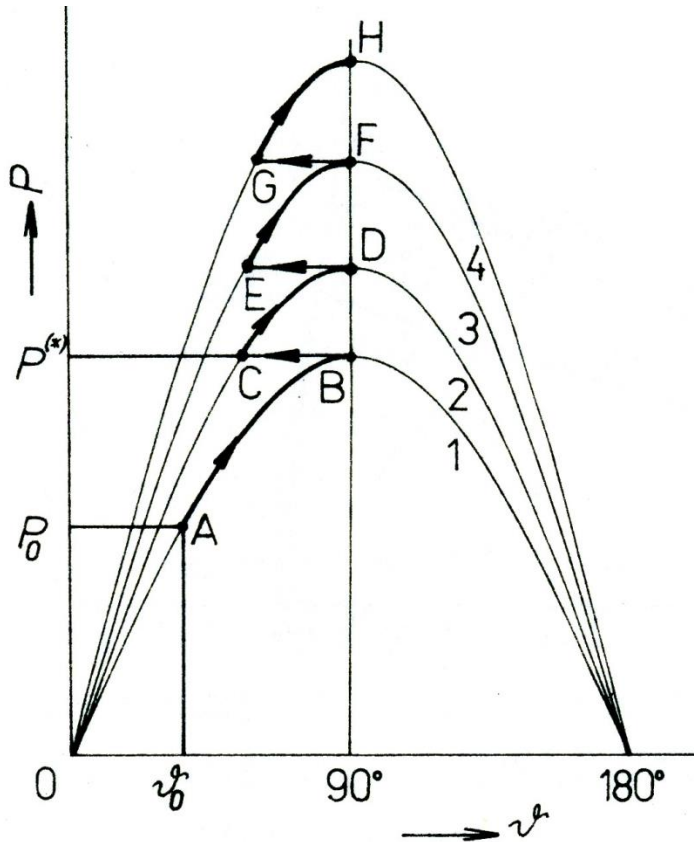
Závislost činného výkonu alternátoru při regulaci buzení

Soustava s konstantní hodnotou svorkového napětí alternátoru U_G .

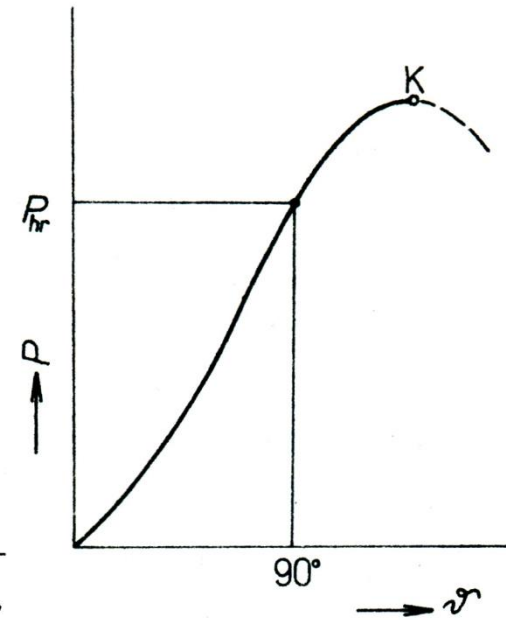
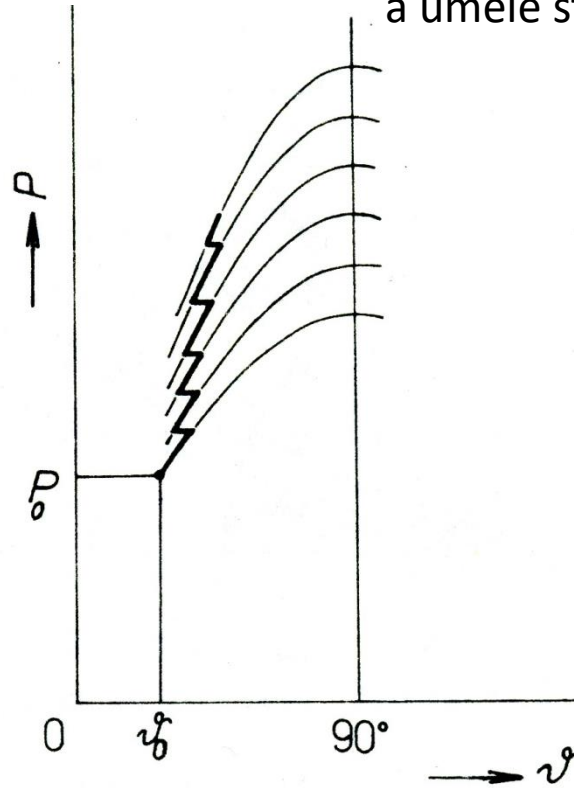


Závislost činného výkonu alternátoru při regulaci buzení

Vnější charakteristika:



Existuje oblast přirozené $0 < \vartheta < 90^\circ$ a umělé stability $\vartheta > 90^\circ$.



$$P_{SREG} = \frac{U_q \cdot U_s}{X_{ext}} \sin \vartheta - \frac{U_s^2}{2} \cdot \frac{X_q}{(X_q + X_{ext}) \cdot X_{ext}} \sin(2\vartheta)$$

Závislost činného výkonu alternátoru při regulaci buzení

Matematický model vyšetření vnější charakteristiky (hledání potřebné hodnoty E_{Xn}):

$$X_{12} = X_d + X_{ext} \quad \vartheta = \arcsin\left(\frac{P \cdot X_{12}}{3E \cdot U_s}\right) \quad E_x = E \cos \vartheta \quad E_y = E \sin \vartheta$$

$$\frac{U_{GX} - U_s}{X_{ext}} = \frac{E_x - U_s}{X_d + X_{ext}} \quad \Rightarrow \quad U_{GX} = U_s + (E_x - U_s) \frac{X_{ext}}{X_d + X_{ext}}$$

$$\frac{U_{GY}}{X_{ext}} = \frac{E_y}{X_d + X_{ext}} \quad \Rightarrow \quad U_{GY} = E_y \frac{X_{ext}}{X_d + X_{ext}}$$

$$\left. \begin{array}{l} U_{GX} = U_s + (E_x - U_s) \frac{X_{ext}}{X_d + X_{ext}} \\ U_{GY} = E_y \frac{X_{ext}}{X_d + X_{ext}} \end{array} \right\} |U_G| = \sqrt{U_{GX}^2 + U_{GY}^2}$$

$$\frac{E_{Xn} - U_s}{X_d + X_{ext}} = \frac{U_{GXn} - U_s}{X_{ext}} \quad E_{Xn} = U_s + (U_{GXn} - U_s) \frac{X_d + X_{ext}}{X_{ext}} \quad |E| = \sqrt{E_{Xn}^2 + E_y^2}$$

Závislost činného výkonu alternátoru při regulaci buzení

Matematický model vyšetření vnější charakteristiky alternativní (hledání potřebné hodnoty E_n):

$$\vartheta = \arcsin\left(\frac{P \cdot X_{12}}{3E \cdot U_s}\right)$$

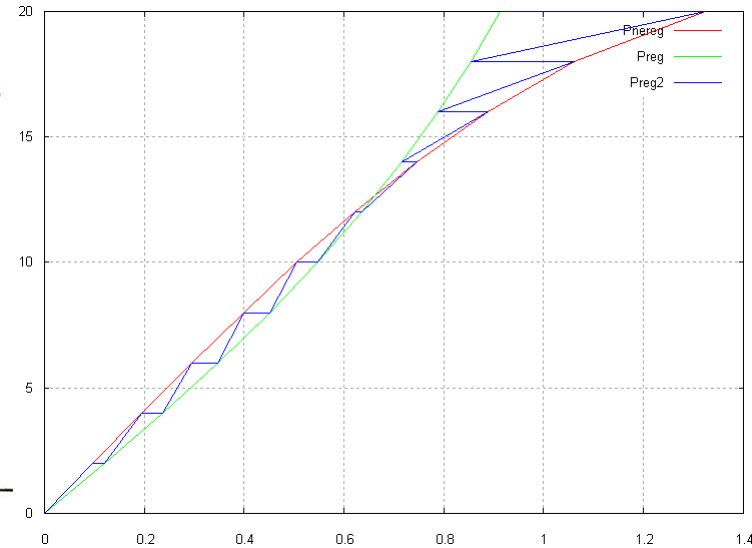
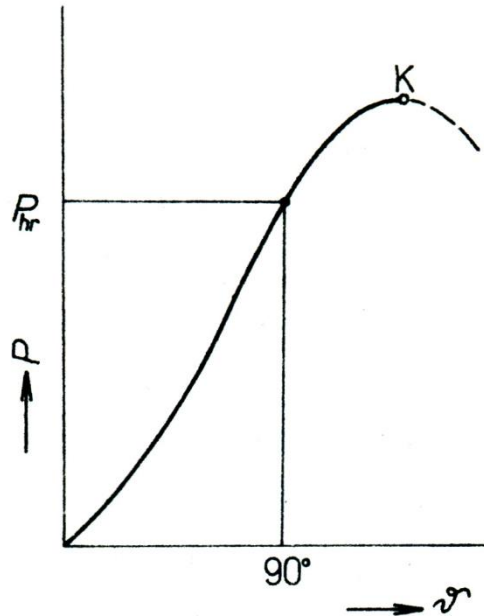
$$\vartheta_s = \arcsin\left(\frac{P \cdot X_{ext}}{3U_G \cdot U_s}\right)$$

$$\bar{I} = \left(\frac{P - jQ}{3U_s}\right)^*$$

$$Q = 3\left(\frac{U_G U_s}{X_{ext}} \cos \vartheta_s - \frac{U_s^2}{X_{ext}}\right)$$

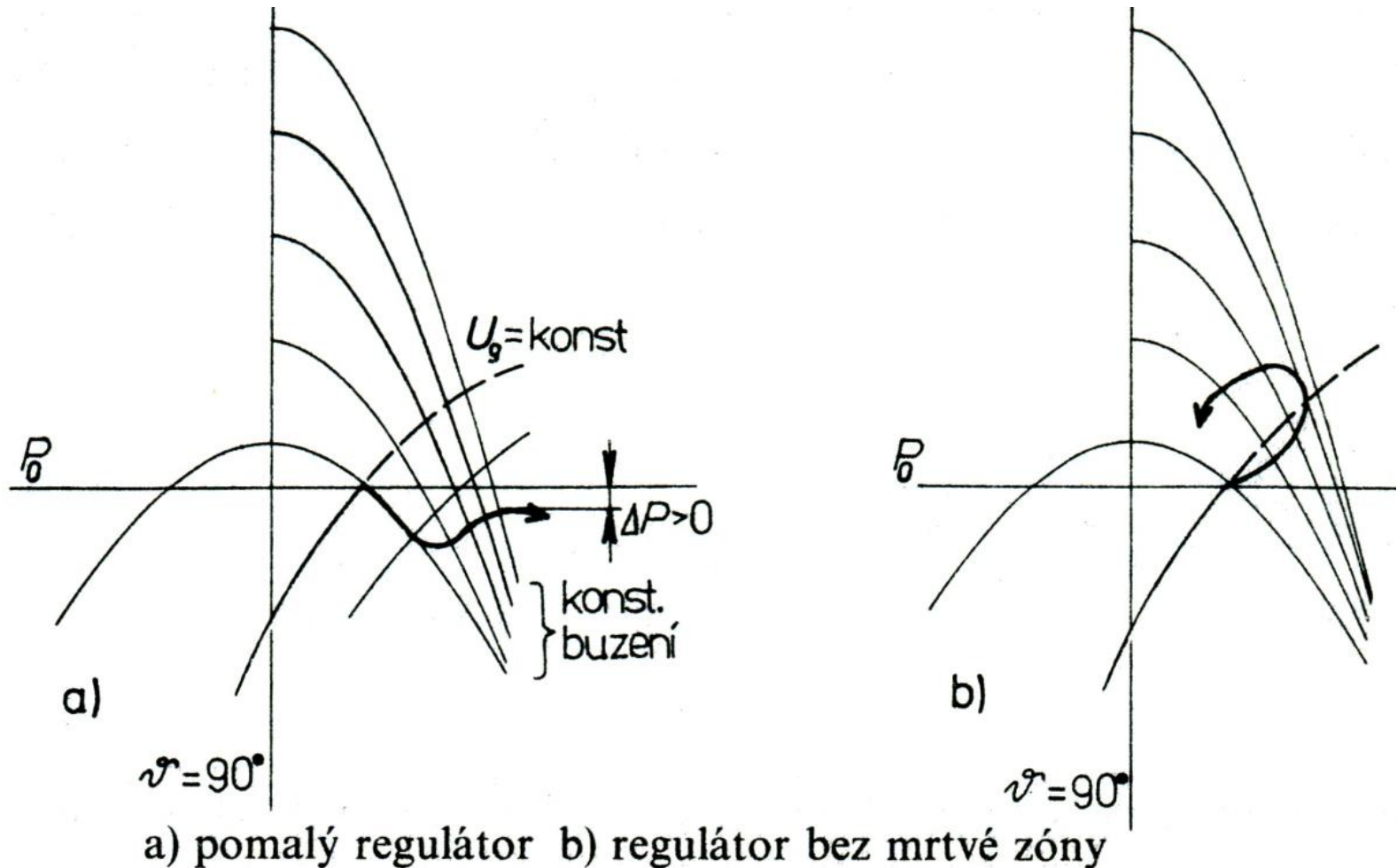
$$\bar{U}_G = U_s + \bar{I} \cdot jX_{ext}$$

$$\bar{E} = U_s + \bar{I} \cdot j(X_d + X_{ext})$$



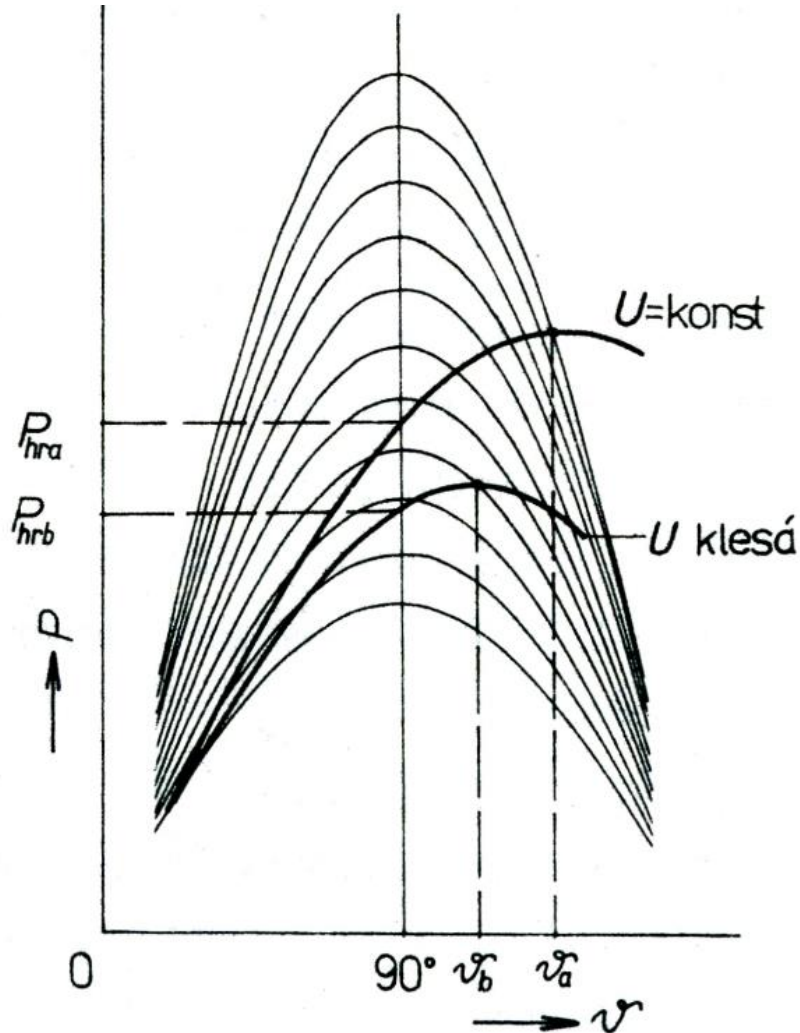
Závislost činného výkonu alternátoru při regulaci buzení

Negativní průběh změny mezi pracovními bodu může ovlivnit pásmo necitlivosti regulátoru a případná tendence k samovolnému rozkývání zátěžného úhlu:



Závislost činného výkonu alternátoru při regulaci buzení

Vliv kolísání napětí vnější sítě:



Možné snížení napětí sítě ovlivňuje negativně výkonovou charakteristiku. Snižuje se jak maximální přenositelný výkon, tak mezní zátěžný úhel.