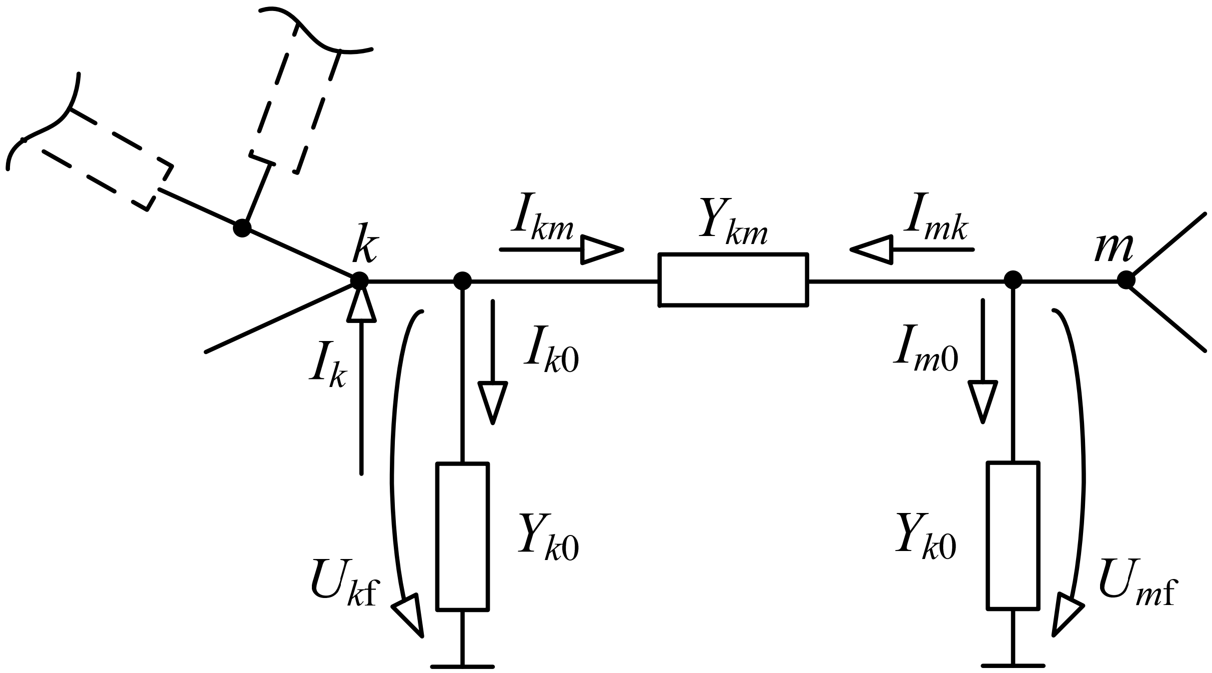
# USTÁLENÉ CHODY V UZLOVÝCH SÍTÍCH

## Metoda uzlových napětí

Část sítě s uvažovaným uzlem *k* a s uzlem bezprostředně sousedícím




$$\hat{I}_k - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^{n} \hat{I}_{km} - \hat{I}_{k0} = 0$$

Pro proudy platí

$$\hat{I}_{km} = \left(\hat{U}_{fk} - \hat{U}_{fm}\right)\hat{Y}_{km}$$

$$\hat{I}_{k0} = \hat{U}_{fk}\hat{Y}_{k0}$$

$$\hat{I}_{k} = \sum_{\substack{m=1\\ m\neq k}}^{n}\left(\hat{U}_{fk} - \hat{U}_{fm}\right)\hat{Y}_{km} + \hat{U}_{fk}\hat{Y}_{k0}$$

$$\hat{I}_{k} = \hat{U}_{fk}\left(\sum_{\substack{m=1\\ m\neq k}}^{n}\hat{Y}_{km} + \hat{Y}_{k0}\right) - \sum_{\substack{m=1\\ m\neq k}}^{n}\hat{U}_{fm}\hat{Y}_{km}$$

Zavedeme vlastní uzlovou admitanci

$$\hat{Y}_{kk} = \sum_{\substack{m=1\\ m\neq k}}^{n}\hat{Y}_{km} + \hat{Y}_{k0} = \sum_{\substack{m=0\\ m\neq k}}^{n}\hat{Y}_{km}$$

Potom platí pro *k*-tý proud

$$\hat{I}_k = \hat{U}_{fk}\hat{Y}_{kk} - \sum_{\substack{m=1\\ m\neq k}}^{n} \hat{U}_{fm}\hat{Y}_{km}$$

$$\hat{I}_k = \sum_{m=1}^{n} \hat{U}_{fm}\hat{Y}_{(k,m)}$$

Maticový zápis pak poskytuje

$$\left(\hat{I}\right) = \left(\hat{Y}\right)\left(\hat{U}_f\right) \qquad \sqrt{3}\left(\hat{I}\right) = \left(\hat{Y}\right)\left(\hat{U}\right)$$

Admitanční matice regulární

$$\left(\hat{U}_f\right) = \left(\hat{Y}\right)^{-1}\left(\hat{I}\right) = \left(\hat{Z}\right)\left(\hat{I}\right)$$

Admitanční matice singulární – zadáno napětí v uzlech x (1 ÷ n-1)

$$\begin{pmatrix} \left(\hat{I}_x\right) \\ \left(\hat{I}_y\right) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left(\hat{Y}_A\right) & \left(\hat{Y}_B\right) \\ \left(\hat{Y}_B\right)^T & \left(\hat{Y}_D\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \left(\hat{U}_{fx}\right) \\ \left(\hat{U}_{fy}\right) \end{pmatrix}$$

Odtud

$$\left(\hat{\mathrm{I}}_{\mathrm{x}}\right)=\left(\hat{\mathrm{Y}}_{\mathrm{A}}\right)\left(\hat{\mathrm{U}}_{\mathrm{fx}}\right)+\left(\hat{\mathrm{Y}}_{\mathrm{B}}\right)\left(\hat{\mathrm{U}}_{\mathrm{fy}}\right)$$

$$\left(\hat{\mathrm{I}}_{\mathrm{y}}\right)=\left(\hat{\mathrm{Y}}_{\mathrm{B}}\right)^{\mathrm{T}}\left(\hat{\mathrm{U}}_{\mathrm{fx}}\right)+\left(\hat{\mathrm{Y}}_{\mathrm{D}}\right)\left(\hat{\mathrm{U}}_{\mathrm{fy}}\right)$$

Vypočteme $\left(\hat{\mathrm{I}}_{\mathrm{x}}\right), \left(\hat{\mathrm{U}}_{\mathrm{fy}}\right)$

$$\left(\hat{\mathrm{U}}_{\mathrm{fy}}\right)=\left(\hat{\mathrm{Y}}_{\mathrm{D}}\right)^{-1}\left(\hat{\mathrm{I}}_{\mathrm{y}}\right)-\left(\hat{\mathrm{Y}}_{\mathrm{D}}\right)^{-1}\left(\hat{\mathrm{Y}}_{\mathrm{B}}\right)^{\mathrm{T}}\left(\hat{\mathrm{U}}_{\mathrm{fx}}\right)$$

# Gauss-Seidelova metoda

- iterativní metoda pro nelineární rovnice
- ne vždy dobrá kovergence

## Základní úvaha

$$f(x) \stackrel{!}{=} 0$$

Přepíšeme do tvaru

$$x = g(x)$$

Je-li $x^{(k)}$ odhad v k-tém kroku, pak další iterace

$$x^{(k+1)} = g(x^{(k)})$$

Takto pokračujeme, až je rozdíl následných iterací menší než stanovená přesnost ε

$$\left| x^{(k+1)} - x^{(k)} \right| \leq \varepsilon$$

Někdy lze konvergenci zlepšit tzv. akceleračním faktorem $\alpha$ ($\alpha < 1$ nebo $\alpha > 1$)

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \alpha\left(g(x^{(k)}) - x^{(k)}\right)$$

## Systém n rovnic o n neznámých

$$f_1(x_1, x_2, \ldots, x_n) = c_1$$
$$f_2(x_1, x_2, \ldots, x_n) = c_2$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$f_n(x_1, x_2, \ldots, x_n) = c_n$$

Z každé rovnice vyjádříme jednu neznámou

$$x_1 = c_1 + g_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$x_2 = c_2 + g_2(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots$$

$$x_n = c_n + g_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Gauss: k-tá iterace z (k-1). aproximace

$$x_m^{(k)} = c_m + g_m(x_1^{(k-1)}, x_2^{(k-1)}, \dots, x_{m-1}^{(k-1)}, x_m^{(k-1)}, \dots, x_n^{(k-1)})$$

Gauss-Seidel: pro výpočet k-té iterace se využijí i k-té aproximace z předchozích rovnic

$$x_m^{(k)} = c_m + g_m(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_{m-1}^{(k)}, x_m^{(k-1)}, \dots, x_n^{(k-1)})$$

Testování konvergence pro každou proměnnou zvlášť.

# Newton-Raphsonova metoda

- nejrozšířenější metoda pro nelineární rovnice
- využívá Taylorův polynom
- převádí řešení nelineárních rovnic na řešení lineárních, postupné zpřesňování odhadu

## Základní úvaha

$$f(x) = c$$

Je-li $x^{(0)}$ počáteční odhad a $\Delta x^{(0)}$ odchylka od správného řešení, pak

$$f(x^{(0)} + \Delta x^{(0)}) = c$$

Rozvojem do Taylorovy řady dostaneme

$$f(x^{(0)}) + \left(\frac{df}{dx}\right)^{(0)} \Delta x^{(0)} + \frac{1}{2!}\left(\frac{d^2 f}{dx^2}\right)^{(0)} (\Delta x^{(0)})^2 + \ldots = c$$

Zanedbáním vyšších řádů (linearizace)

$$\Delta c^{(0)} \approx \left(\frac{df}{dx}\right)^{(0)} \Delta x^{(0)}$$

kde

$$\Delta c^{(0)} = c - f(x^{(0)})$$

je tzv. defekt.

Přičtením $\Delta x^{(0)}$ k počátečnímu odhadu získáme druhou aproximaci

$$x^{(1)} = x^{(0)} + \frac{\Delta c^{(0)}}{\left(\frac{df}{dx}\right)^{(0)}}$$

(pozn: nelze pro nulovou derivaci)

Stejnými vztahy v dalších krocích získáme algoritmus metody:

$$\Delta c^{(k)} = c - f(x^{(k)})$$

$$\Delta x^{(k)} = \frac{\Delta c^{(k)}}{\left(\frac{df}{dx}\right)^{(k)}}$$

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)}$$

$$\Delta c^{(k+1)} = c - f(x^{(k+1)})$$

## Systém n rovnic o n neznámých

$$f_1(x_1, x_2, \ldots, x_n) = c_1$$
$$f_2(x_1, x_2, \ldots, x_n) = c_2$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$f_n(x_1, x_2, \ldots, x_n) = c_n$$

Rozvojem do Taylorových řad dostaneme

$$(f_1)^{(0)} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)^{(0)} \Delta x_1^{(0)} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right)^{(0)} \Delta x_2^{(0)} + \ldots + \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_n}\right)^{(0)} \Delta x_n^{(0)} = c_1$$

$$(f_2)^{(0)} + \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right)^{(0)} \Delta x_1^{(0)} + \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right)^{(0)} \Delta x_2^{(0)} + \ldots + \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_n}\right)^{(0)} \Delta x_n^{(0)} = c_2$$

................

$$(f_n)^{(0)} + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right)^{(0)} \Delta x_1^{(0)} + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right)^{(0)} \Delta x_2^{(0)} + \ldots + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)^{(0)} \Delta x_n^{(0)} = c_n$$

V maticovém zápisu

$$\begin{pmatrix} c_1 - (f_1^{(0)}) \\ c_1 - (f_2^{(0)}) \\ \vdots \\ c_n - (f_n^{(0)}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right)^{(0)} & \ldots & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_n}\right)^{(0)} \\ \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right)^{(0)} & \ldots. & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_n}\right)^{(0)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right)^{(0)} & \ldots & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)^{(0)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(0)} \end{pmatrix}$$

zkráceně

$$\left(\Delta C^{(0)}\right) = \left(J^{(0)}\right) \cdot \left(\Delta X^{(0)}\right)$$

Potom

$$\left(\Delta X^{(0)}\right)=\left(J^{(0)}\right)^{-1}\cdot\left(\Delta C^{(0)}\right)$$

Algoritmus metody tedy je:

$$\left(\Delta C^{(k)}\right)=\begin{pmatrix} c_1-(f_1^{(k)}) \\ c_1-(f_2^{(k)}) \\ \vdots \\ c_n-(f_n^{(k)}) \end{pmatrix}$$

$$\left(\Delta X^{(k)}\right)=\left(J^{(k)}\right)\cdot\left(\Delta C^{(k)}\right)$$

$$\left(X^{(k+1)}\right)=\left(X^{(k)}\right)+\left(\Delta X^{(k)}\right)$$

$$\left(\Delta C^{(k+1)}\right)=\begin{pmatrix} c_1-(f_1^{(k+1)}) \\ c_1-(f_2^{(k+1)}) \\ \vdots \\ c_n-(f_n^{(k+1)}) \end{pmatrix} \qquad \text{kde} \qquad \left(\Delta X^{(k)}\right)=\begin{pmatrix} \Delta x_1^{(k)} \\ \Delta x_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(k)} \end{pmatrix}$$

$$\left(J^{(k)}\right)=\begin{pmatrix} \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)^{(k)} & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right)^{(k)} & \cdots & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_n}\right)^{(k)} \\ \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right)^{(k)} & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right)^{(k)} & \cdots\cdot & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_n}\right)^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right)^{(k)} & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right)^{(k)} & \cdots & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)^{(k)} \end{pmatrix}$$

$(J^{(k)})$ – Jakobiho matice, předpoklad regulárnosti

# Řešení výkonových toků (Load Flow)

Systém U-I rovnic lze rozšířit na závislost mezi napětím a výkonem

$$\hat{I}_k = \sum_{m=1}^{n} \hat{U}_{fm} \hat{Y}_{km}$$

$$\hat{S}_k = 3\hat{S}_{fk} = 3\hat{U}_{fk} \hat{I}_k^* = 3\hat{U}_{fk} \sum_{m=1}^{n} \hat{U}_{fm}^* \hat{Y}_{km}^*$$

$$\hat{S}_k = \hat{U}_k \sum_{m=1}^{n} \hat{U}_m^* \hat{Y}_{km}^*$$

$$\left(\hat{S}\right) = \left(\hat{U}_{diag}\right)\left(\hat{Y}^*\right)\left(\hat{U}^*\right)$$

$$\begin{pmatrix} \hat{S}_1 \\ \cdots \\ \hat{S}_k \\ \cdots \\ \hat{S}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{U}_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \hat{U}_k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \hat{U}_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{Y}^*_{11} & \cdots & \cdots & \cdots & \hat{Y}^*_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \hat{Y}^*_{k1} & \cdots & \hat{Y}^*_{kk} & \cdots & \hat{Y}^*_{kn} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \hat{Y}^*_{n1} & \cdots & \cdots & \cdots & \hat{Y}^*_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{U}^*_1 \\ \cdots \\ \hat{U}^*_k \\ \cdots \\ \hat{U}^*_n \end{pmatrix}$$

- zadané výkony → nelinearita

Cíl: určení **P, Q, U, δ** v uzlech a větvích

# Jednotlivé typy uzlů

| Výkon v uzlu | | Složky fázoru napětí v uzlu | |
|---|---|---|---|
| zadán | má se určit | zadán | má se určit |
| – | $P$, $Q$ | $U$, $\vartheta$ | – |
| $P$, $Q$ | – | – | $U$, $\vartheta$ |
| $P$ | $Q$ | $U$ | $\vartheta$ |
| $Q$ | $P$ | $\vartheta$ | $U$ |

slack – „bilanční uzel“, dorovná P, Q pro ztráty, jako mohutná soustava, velký zdroj
PQ – zátěže
PU – generátory, regulované napětí

Veličiny
- pevné – požadavky (P,Q u zátěží; P u generátorů)
- stavové – nezávisle proměnné (U,δ u zátěží; δ u generátorů)
- řídicí – zde neměnné (U u slacku a generátorů), mění se při optimalizacích

Uzlový proud (jednofázově)

$$\hat{I}_i = \hat{U}_i \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n} \hat{Y}_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} \hat{Y}_{ij} \hat{U}_j$$

Uzlový výkon

$$P_i + jQ_i = \hat{U}_i \hat{I}_i^*$$

$$\hat{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\hat{U}_i^*}$$

tedy

$$\frac{P_i - jQ_i}{\hat{U}_i^*} = \hat{U}_i \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n} \hat{Y}_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} \hat{Y}_{ij} \hat{U}_j$$

# Gauss-Seidel Power Flow Solution

Řešení pro U, δ:

$$\hat{U}_i^{(k+1)} = \frac{\dfrac{P_i - jQ_i}{\hat{U}_i^{*(k)}} + \sum\limits_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} \hat{Y}_{ij} \hat{U}_j^{(k)}}{\sum\limits_{\substack{j=0 \\ j\neq i}}^{n} \hat{Y}_{ij}}$$

(pozn. pro zátěže P, Q < 0)

Řešení pro P:

$$P_i^{(k+1)} = \mathrm{Re}\left\{ \hat{U}_i^{*(k)} \left[ \hat{U}_i^{(k)} \sum_{\substack{j=0 \\ j\neq i}}^{n} \hat{Y}_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} \hat{Y}_{ij} \hat{U}_j^{(k)} \right] \right\}$$

Řešení pro Q:

$$Q_i^{(k+1)} = -\mathrm{Im}\left\{\hat{U}_i^{*(k)}\left[\hat{U}_i^{(k)}\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{n}\hat{Y}_{ij} - \sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n}\hat{Y}_{ij}\hat{U}_j^{(k)}\right]\right\}$$

Pro diagonální prvky admitanční matice

$$\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{n}\hat{Y}_{ij} = \hat{Y}_{ii}$$

U slack známé → 2(n-1) rovnic

PQ: $$\hat{U}_i^{(k+1)} = f(P_i, Q_i, \hat{U}_j^{(k)})$$

PU: $$Q_i^{(k+1)} = f(\hat{U}_i^{(k)}, \hat{U}_j^{(k)})$$

$$\hat{U}_i^{(k+1)} = f(P_i, Q_i^{(k+1)}, \hat{U}_j^{(k)})$$

imaginární část necháme, reálnou dopočteme

$$\left(e_i^{(k+1)}\right)^2 + \left(f_i^{(k+1)}\right)^2 = \left|\hat{U}_i\right|^2$$

$$e_i^{(k+1)} = \sqrt{\left|\hat{U}_i\right|^2 - \left(f_i^{(k+1)}\right)^2}$$

## Newton-Raphson Power Flow Solution

$$\hat{S}_k = \hat{U}_k \sum_{m=1}^{n} \hat{U}_m^* \hat{Y}_{km}^* = U_k^2 \hat{Y}_{kk}^* + \hat{U}_k \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^{n} \hat{U}_m^* \hat{Y}_{km}^*$$

$$\hat{S}_k = f_k\left(\left(\hat{U}\right)\right)$$

## Vyjádření v exponenciálním tvaru

$$\hat{S}_k = P_k + jQ_k \qquad \hat{U}_k = U_k e^{j\vartheta_k} \qquad \hat{Y}_{km} = Y_{km} e^{j\theta_{km}}$$

$$\hat{S}_k = U_k e^{j\vartheta_k} \sum_{m=1}^{n} U_m Y_{km} e^{-j\left(\vartheta_m + \theta_{km}\right)}$$

Rozdělení výkonu na reálnou a imaginární část

$$P_k = \sum_{m=1}^{n} U_k U_m Y_{km} \cos(\vartheta_k - \vartheta_m - \theta_{km})$$

$$Q_k = \sum_{m=1}^{n} U_k U_m Y_{km} \sin(\vartheta_k - \vartheta_m - \theta_{km})$$

Pro změnu výkonu můžeme psát

$$\Delta \hat{S}_k = \sum_{m=1}^{n} \left( \frac{\partial \hat{S}_k}{\partial \vartheta_m} \Delta \vartheta_m + \frac{\partial \hat{S}_k}{\partial U_m} \Delta U_m \right)$$

$$\Delta P_k = \sum_{m=1}^{n} \left( \frac{\partial P_k}{\partial \vartheta_m} \Delta \vartheta_m + \frac{\partial P_k}{\partial U_m} \Delta U_m \right)$$

$$\Delta Q_k = \sum_{m=1}^{n} \left( \frac{\partial Q_k}{\partial \vartheta_m} \Delta \vartheta_m + \frac{\partial Q_k}{\partial U_m} \Delta U_m \right)$$

# Úplný rozpis rovnic

$$
\begin{bmatrix}
\Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta P_{n-1} \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_{n-1} \\ \Delta Q_n
\end{bmatrix}
=
$$

$$
=
\begin{bmatrix}
\frac{\partial P_1}{\partial \vartheta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \vartheta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \vartheta_{n-1}} & \frac{\partial P_1}{\partial \vartheta_n} & \frac{\partial P_1}{\partial U_1} & \frac{\partial P_1}{\partial U_2} & \frac{\partial P_1}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial P_1}{\partial U_n} \\
\frac{\partial P_2}{\partial \vartheta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial \vartheta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \vartheta_{n-1}} & \frac{\partial P_2}{\partial \vartheta_n} & \frac{\partial P_2}{\partial U_1} & \frac{\partial P_2}{\partial U_2} & \frac{\partial P_2}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial P_2}{\partial U_n} \\
\frac{\partial P_{n-1}}{\partial \vartheta_1} & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial \vartheta_2} & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial \vartheta_{n-1}} & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial \vartheta_n} & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial U_1} & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial U_2} & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial U_n} \\
\frac{\partial P_n}{\partial \vartheta_1} & \frac{\partial P_n}{\partial \vartheta_2} & \frac{\partial P_n}{\partial \vartheta_{n-1}} & \frac{\partial P_n}{\partial \vartheta_n} & \frac{\partial P_n}{\partial U_1} & \frac{\partial P_n}{\partial U_2} & \frac{\partial P_n}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial P_n}{\partial U_n} \\
\frac{\partial Q_1}{\partial \vartheta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \vartheta_2} & \frac{\partial Q_1}{\partial \vartheta_{n-1}} & \frac{\partial Q_1}{\partial \vartheta_n} & \frac{\partial Q_1}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_1}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial Q_1}{\partial U_n} \\
\frac{\partial Q_2}{\partial \vartheta_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial \vartheta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \vartheta_{n-1}} & \frac{\partial Q_2}{\partial \vartheta_n} & \frac{\partial Q_2}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial Q_2}{\partial U_n} \\
\frac{\partial Q_{n-1}}{\partial \vartheta_1} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial \vartheta_2} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial \vartheta_{n-1}} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial \vartheta_n} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial \vartheta_1} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial \vartheta_2} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial \vartheta_{n-1}} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial \vartheta_n} \\
\frac{\partial Q_n}{\partial \vartheta_1} & \frac{\partial Q_n}{\partial \vartheta_2} & \frac{\partial Q_n}{\partial \vartheta_{n-1}} & \frac{\partial Q_n}{\partial \vartheta_n} & \frac{\partial Q_n}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_n}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_n}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial Q_n}{\partial U_n}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
\Delta \vartheta_1 \\ \Delta \vartheta_2 \\ \Delta \vartheta_{n-1} \\ \Delta \vartheta_n \\ \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \\ \Delta U_{n-1} \\ \Delta U_n
\end{bmatrix}
$$

## Rovnice v kompaktnější formě

$$\begin{pmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dfrac{\partial P}{\partial \vartheta} & \dfrac{\partial P}{\partial U} \\ \dfrac{\partial Q}{\partial \vartheta} & \dfrac{\partial Q}{\partial U} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \vartheta \\ \Delta U \end{pmatrix}$$

$$(J) = \begin{pmatrix} \dfrac{\partial P}{\partial \vartheta} & \dfrac{\partial P}{\partial U} \\ \dfrac{\partial Q}{\partial \vartheta} & \dfrac{\partial Q}{\partial U} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H & K \\ L & M \end{pmatrix}$$

## Nástin iteračního řešení

$$\begin{pmatrix} \vartheta \\ U \end{pmatrix}_k$$

defekt $\begin{pmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{pmatrix}$

$$\begin{pmatrix} \Delta\vartheta \\ \Delta U \end{pmatrix} = (J)^{-1} \begin{pmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \vartheta \\ U \end{pmatrix}_{k+1} = \begin{pmatrix} \vartheta \\ U \end{pmatrix}_k + \begin{pmatrix} \Delta\vartheta \\ \Delta U \end{pmatrix}$$