

SISTEME ELECTROENERGETICE

Capitolul 5.1 ECHIVALENTI WARD

Tipuri de echivalenți WARD

- Echivalentul WARD **liniar** (sarcini sub forma de **curenti**)
- Echivalentul WARD **nelinier** (sarcini sub forma de **puteri**)
- Echivalentul WARD **simplu** (trateaza **unitar** nodurile)
- Echivalentul WARD **extins** (trateaza **distinct** nodurile de tip PU)

Echivalentul WARD liniar

Se considera regimul de referinta pentru care se scrie ecuatia nodala:

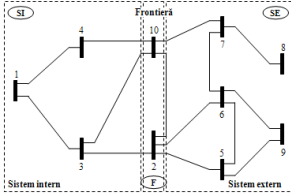
$$[Y_n] \cdot [U_n] = [J_n]$$

Care se reordoneaza dupa nodurile sistemului (I, F, E):

E	Y_{EE}	Y_{EF}	0	U_E	J_E
F	Y_{FE}	Y_{FF}	Y_{FI}	U_F	J_F
I	0	Y_{IF}	Y_{II}	U_I	J_I
	E	F	I		

$$\cdot \begin{matrix} U \\ J \end{matrix} = \begin{matrix} J \\ J \end{matrix}$$

Echivalentul WARD liniar – exemplu de reordonare –



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	X									
2	X	X	X	X	X					
3	X	X	X	X	X					
4	X	X	X	X	X					
5	X	X	X	X	X					
6						X	X	X	X	X
7						X	X	X	X	X
8						X	X	X	X	X
9						X	X	X	X	X
10						X	X	X	X	X

	3	6	7	8	9	10	1	2	4	5
3	X	X	X	X	X	X				
6	X	X	X	X	X	X				
7	X	X	X	X	X	X				
8	X	X	X	X	X	X				
9	X	X	X	X	X	X				
10	X	X	X	X	X	X				
1							X	X	X	X
2							X	X	X	X
4							X	X	X	X
5							X	X	X	X

Echivalentul WARD liniar

Deducerea echivalentului Ward liniar

Se urmareste transformarea ecuatiei nodale astfel incat sa se elimine marimile asociate nodurilor externe:

$$[\underline{Y}_{EE}] \cdot [\underline{U}_E] + [\underline{Y}_{EF}] \cdot [\underline{U}_F] + 0 \cdot [\underline{U}_I] = [\underline{J}_E] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow [\underline{U}_E] = [\underline{Y}_{EE}]^{-1} \cdot ([\underline{J}_E] - [\underline{Y}_{EF}] \cdot [\underline{U}_F])$$

Echivalentul WARD liniar

Deducerea echivalentului Ward liniar

$$[\underline{Y}_{FE}] \cdot [\underline{U}_E] + [\underline{Y}_{FF}] \cdot [\underline{U}_F] + [\underline{Y}_{FI}] \cdot [\underline{U}_I] = [\underline{J}_F]$$

$$[\underline{Y}_{FE}] \cdot [\underline{Y}_{EE}]^{-1} \cdot ([\underline{J}_E] - [\underline{Y}_{EF}] \cdot [\underline{U}_F]) +$$

$$+ [\underline{Y}_{FF}] \cdot [\underline{U}_F] + [\underline{Y}_{FI}] \cdot [\underline{U}_I] = [\underline{J}_F]$$

$$([\underline{Y}_{FF}] - [\underline{Y}_{FE}] \cdot [\underline{Y}_{EE}]^{-1} \cdot [\underline{Y}_{EF}]) \cdot [\underline{U}_F] +$$

$$+ [\underline{Y}_{FI}] \cdot [\underline{U}_I] = [\underline{J}_F] - [\underline{Y}_{FE}] \cdot [\underline{Y}_{EE}]^{-1} \cdot [\underline{J}_E]$$

$$[\underline{Y}_{FF}^{ach}] = [\underline{Y}_{FF}] - [\underline{Y}_{FE}] \cdot [\underline{Y}_{EE}]^{-1} \cdot [\underline{Y}_{EF}]$$

$$[\underline{J}_F^{ach}] = [\underline{J}_F] - [\underline{Y}_{FE}] \cdot [\underline{Y}_{EE}]^{-1} \cdot [\underline{J}_E]$$

Echivalentul WARD liniar

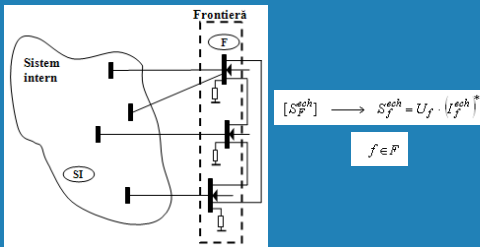
Deducerea echivalentului Ward liniar

$$[Y_{FF}^{ech}] \cdot [U_F] + [Y_{FI}] \cdot [U_I] = [J_F^{ech}]$$

$$\begin{matrix} \text{F} \\ \text{I} \end{matrix} \begin{matrix} Y_{FF}^{ech} & Y_{FI} \\ Y_{IF} & Y_{II} \end{matrix} \cdot \begin{matrix} U_F \\ U_I \end{matrix} = \begin{matrix} J_F^{ech} \\ J_I \end{matrix}$$

Echivalentul WARD liniar

Deducerea echivalentului Ward liniar



Echivalentul WARD liniar

Calculul injectiilor de curenti in nodurile de frontiera

- se determină structura completă a matricei admitanțelor nodale: $[Y_{FF}^{ech}]$, $[Y_{FI}]$, $[Y_{IF}]$ și $[Y_{II}]$.
- se folosesc măsurătorile disponibile în nodurile de tip I și F și, cu ajutorul estimatorului de stare pentru SI, se evaluează tensiunile: $[U_I]$ și $[U_F]$
- curenții echivalenți se calculează folosind ecuația matriceală: $[J_F^{ech}] = [Y_{FF}^{ech}] \cdot [U_F] + [Y_{FI}] \cdot [U_I]$

Echivalentul WARD liniar

Obtinerea matricei $[Y_{FF}]$ prin eliminare Gauss

E	\underline{Y}_{EE}	\underline{Y}_{EF}	0	Eliminare \Rightarrow Gauss	$\underline{\Delta}_{EE}$	\underline{Y}'_{EF}	0
F	\underline{Y}_{FE}	\underline{Y}_{FF}	\underline{Y}_{FI}		0	$\underline{y}_{FF}^{rech}$	\underline{Y}_{FI}
I	0	\underline{Y}_{IF}	\underline{Y}_{II}		0	\underline{Y}_{IF}	\underline{Y}_{II}
	E	F	I				

\underline{J}_E	Eliminare \Rightarrow Gauss	\underline{J}'_E
\underline{J}_F		\underline{J}_F^{rech}
\underline{J}_I		\underline{J}_I

Echivalentul WARD liniar

Avantaje

- Se obtine prin prelucrari numerice simple.
- Necesita informatii numai despre structura si caracteristicile retelei externe si estimari pentru tensiunile nodurilor de frontiera.
- Raportul R / X pentru laturi este apropiat de cel real, deci nu apar probleme de convergenta.

Echivalentul WARD liniar

Dezavantaje

- Nu conserva pierderile de putere.
- Este dificila modelarea reglajului de putere reactiva ca urmare a eliminarii nodurilor generatoare din sistemul extern. Solutie:
 - Retinerea in schema redusa a unor noduri generatoare;
 - Utilizarea echivalentului Ward extins.

Echivalentul WARD liniar

Retinerea in schema redusa a unor noduri generatoare

Nodurile retinute se include in lista NF.

Injectiile de putere in NF dupa eliminarea Gauss se calculeaza cu relatiile:

$$P_j^{ech} = U_j^0 \cdot \sum_{m \in F} U_m^0 \cdot (G_{jm}^{ech} \cdot \cos \theta_{jm}^0 + B_{jm}^{ech} \cdot \sin \theta_{jm}^0)$$

$$Q_j^{ech} = U_j^0 \cdot \sum_{m \in F} U_m^0 \cdot (G_{jm}^{ech} \cdot \sin \theta_{jm}^0 - B_{jm}^{ech} \cdot \cos \theta_{jm}^0)$$

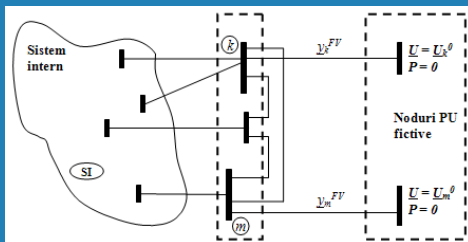
Echivalentul WARD extins

Obiectiv

Descrierea mai corectă a reacției sistemului extern în raport cu modificările din sistemul intern, în special în ceea ce privește răspunsul în putere reactivă.

Echivalentul WARD extins

Construirea echivalentului Ward extins



Echivalentul WARD extins

Determinarea admitanțelor laturilor fictive

- **Solutia 1:** Prin eliminarea nodurilor PU din sistemul extern
- **Solutia 2:** modelul matematic al metodei Newton
- Raphson decuplate rapide

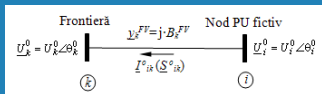
Echivalentul WARD extins

Solutia 1

- se simulează legarea la pământ a tuturor nodurilor de tip PU din sistemul extern.
- se recalculează matricea echivalentului Ward $[\underline{Y}_{FF}^{ech}]$;
- în noua matrice $[\underline{Y}_{FF}^{ech}]$ suma admitanțelor pe fiecare linie asociată unui nod de frontieră k de tip PQ și care descrie admitanța față de pământ a acestui nod, reprezintă tocmai admitanța laturii fictive \underline{y}_k^{FV} .

Echivalentul WARD extins

Solutia 2



$$\begin{aligned} \underline{S}_{ik}^0 &= \underline{U}_i^0 \cdot (\underline{I}_{ik}^0)^* = \underline{U}_i^0 \cdot [j \cdot B_k^{FV} \cdot (\underline{U}_i^0 - \underline{U}_k^0)]^* = \\ &= -j \cdot B_k^{FV} \cdot (\underline{U}_i^0)^2 + j \cdot B_k^{FV} \cdot \underline{U}_i^0 \cdot (\underline{U}_k^0)^* = \\ &= B_k^{FV} \cdot (\underline{U}_i^0)^2 \angle -90^\circ + B_k^{FV} \cdot \underline{U}_i^0 \cdot \underline{U}_k^0 \angle (90^\circ + \theta_i^0 - \theta_k^0) \end{aligned}$$

$$P_{ik}^0 = \text{Re}(\underline{S}_{ik}^0) = B_k^{FV} \cdot \underline{U}_i^0 \cdot \underline{U}_k^0 \cdot \cos(90^\circ + \theta_i^0 - \theta_k^0)$$

$$Q_{ik}^0 = \text{Im}(\underline{S}_{ik}^0) = -B_k^{FV} \cdot (\underline{U}_i^0)^2 + B_k^{FV} \cdot \underline{U}_i^0 \cdot \underline{U}_k^0 \cdot \sin(90^\circ + \theta_i^0 - \theta_k^0)$$

Echivalentul WARD extins

Solutia 2 - continuare

$$Q_{ik} = -B_k^{FV} \cdot (U_i^0)^2 + B_k^{FV} \cdot U_i^0 \cdot U_k = B_k^{FV} \cdot U_i^0 \cdot (U_k - U_i^0) = B_k^{FV} \cdot U_i^0 \cdot (U_k - U_k^0) = B_k^{FV} \cdot U_i^0 \cdot \Delta U_k$$

$$\Delta Q_i = B_k^{FV} \cdot U_i^0 \cdot \Delta U_k \quad \text{sau} \quad \frac{\Delta Q_i}{U_i^0} = B_k^{FV} \cdot \Delta U_k \quad \left[\frac{\Delta Q}{U} \right] = [B^0] \cdot [\Delta U]$$

B''_{EE}	B''_{EF}
B''_{FE}	B''_{FF}

Eliminare
→
Gauss

Δ''_{EE}	$(B''_{EF})^{mod}$
0	B''_{red}

$$\left[\frac{\Delta Q}{U} \right] = [B''_{red}] \cdot [\Delta U]$$

$$B_k^{FV} = - \sum_j (B''_{red})_{kj}$$

SFARSIT
