

Studiul echivalențelor WARD cu pachetul de programe PowerWorld Simulation

Echivalențelul include toate informațiile despre starea sistemului la momentul echivalării.

În lucrare se va studia influența procedurii de obținere a echivalențelor de sistem pentru un sistem test IEEE 7 bus 110 kV, precum și aplicații ale acestora în cazul analizei contingențelor.

Instrument de analiză

Echivalenții de tip Ward sunt generați cu programul *Equivalencing* al simulatorului de sisteme electroenergetice PowerWorld v.18 (academica).

Rețeaua test

Analiza a fost efectuată pe rețeaua test **B7Flat_Eqv** inclusă în biblioteca PowerWorld – Fig. 1.

În rețeaua de 7 noduri sunt amplasate 5 generatoare care injectează putere în nodurile # 1, 2, 4, 6, 7, fiind alimentate 6 sarcini amplasate în nodurile #2, 3, 4, 5, 6, 7.

Rețeaua test se va reduce prin eliminarea nodurilor #1, 3, 4 – *noduri externe*.

Rețeaua echivalentă va include nodurile #2, 5, 6, 7 – *noduri de studiu*, cu nodurile #2, 5 – *noduri de graniță*.

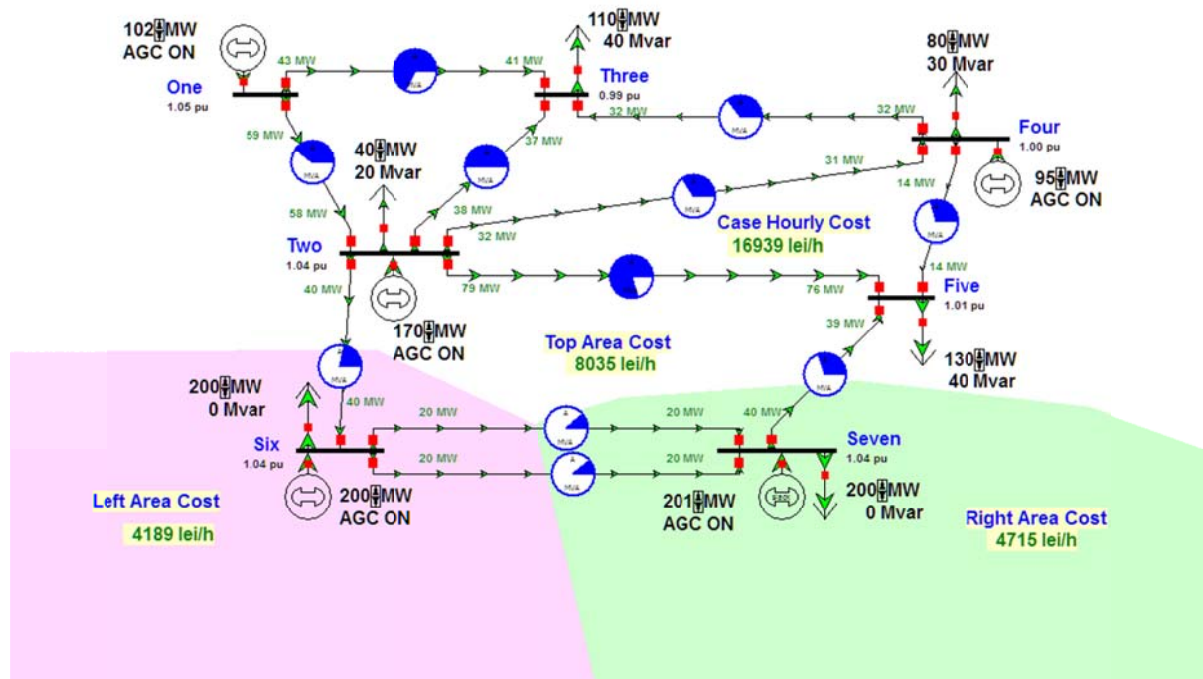


Figura.1: Rețeaua test 7 noduri 110 kV B7Flat_Eqv-PowerWorld

Matricile echivalente de sistem

- Se pleacă de la matricea inițială a admitanțelor nodale a sistemului studiat :

$$\mathbf{Y}_{bus} = j \begin{bmatrix} -20.83 & 16.67 & 4.17 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 16.67 & -52.78 & 5.56 & 5.56 & 8.33 & 16.67 & 0 \\ 4.17 & 5.56 & -43.1 & 33.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5.56 & 33.3 & -43.1 & 4.17 & 0 & 0 \\ 0 & 8.33 & 0 & 4.17 & -29.17 & 0 & 16.67 \\ 0 & 16.67 & 0 & 0 & 0 & -25 & 8.33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 16.67 & 8.33 & -25 \end{bmatrix} \quad (\dots 3)$$

- Se construiește matricea admitanțelor nodale pentru nodurile externe:

$$\mathbf{Y}_{ee} = j \begin{bmatrix} -20.833 & 4.167 & 0 \\ 4.167 & -43.056 & 33.333 \\ 0 & 33.333 & -43.056 \end{bmatrix} \quad (\dots 4)$$

- Se construiește matricea admitanțelor nodale pentru nodurile de studiu:

$$\mathbf{Y}_{ss} = j \begin{bmatrix} -52.778 & 8.333 & 16.667 & 0 \\ 8.333 & -29.167 & 0 & 16.667 \\ 16.667 & 0 & -25.0 & 8.333 \\ 0 & 16.667 & 8.333 & -25.0 \end{bmatrix} \quad (\dots 5)$$

- Se construiesc matricile admitanțelor nodale mutuale:

$$\mathbf{Y}_{es} = j \begin{bmatrix} 16.667 & 0 & 0 & 0 \\ 5.556 & 0 & 0 & 0 \\ 5.556 & 4.167 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\dots 6)$$

$$\mathbf{Y}_{se} = j \begin{bmatrix} 16.667 & 5.556 & 5.556 \\ 0 & 0 & 4.167 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\dots 7)$$

cu $\mathbf{Y}_{es} = \mathbf{Y}_{se}$ pentru laturile fără transformator sau parametri exprimați în u.r.

Rezultă matricea admitanțelor nodale a echivalentului de sistem :

$$(\mathbf{Y}_{ss} - \mathbf{Y}_{se} \mathbf{Y}_{ee}^{-1} \mathbf{Y}_{es}) = j \begin{bmatrix} -28.128 & 11.463 & 16.667 & 0 \\ 11.463 & -28.130 & 0 & 16.667 \\ 16.667 & 0 & -25.0 & 8.333 \\ 0 & 16.667 & 8.333 & -25.0 \end{bmatrix} \quad (\dots 8)$$

Comparând matricea originală cu cea a echivalentului se observă că singura modificare apare la impedanța între nodurile #2 și 5, modelată prin adăugarea unei linii echivalente de impedanță $j11.463 - j8.333 = j3.130$.

Procedura de echivalare asistată în PowerWorld

- I. Se determină influența eliminării nodurilor externe asupra circulației de putere în rețeaua studiată – Figura 2.

Raportul circulației de puteri este dat în Tabelul 1.

Tabel 1: Repartiția puterilor în nodurile sistemului în urma eliminării nodurilor externe

Bus Flows									
BUS	2 Two	110.0	MW	Mvar	MVA	% 1.0400	4.22	1	Top
GENERATOR	1	170.08		8.90R	170.3				
LOAD	1	40.00		20.00	44.7				
TO	5 Five	1	78.74	4.42	78.9	79			
TO	6 Six	1	40.07	-15.52	43.0	21			
****	Mismatch ****	11.26		0.00					
BUS	5 Five	110.0	MW	Mvar	MVA	% 1.0066	-0.83	1	Top
LOAD	1	130.00		40.00	136.0				
TO	2 Two	1	-76.43	-0.64	76.4	76			
TO	7 Seven	1	-39.41	-44.67	59.6	30			
****	Mismatch ****	-14.16		5.31					
BUS	6 Six	110.0	MW	Mvar	MVA	% 1.0400	2.81	2	Left
GENERATOR	1	200.33		-6.59R	200.4				
LOAD	1	200.00		0.00	200.0				
TO	2 Two	1	-39.75	11.09	41.3	21			
TO	7 Seven	1	20.04	-8.84	21.9	11			
TO	7 Seven	2	20.04	-8.84	21.9	11			
BUS	7 Seven	110.0	MW	Mvar	MVA	% 1.0400	0.00	3	Right
GENERATOR	1	200.65		51.29R	207.1				
LOAD	1	200.00		0.00	200.0				
TO	5 Five	1	40.07	42.47	58.4	29			
TO	6 Six	1	-19.71	4.41	20.2	10			
TO	6 Six	2	-19.71	4.41	20.2	10			

Se observă o abatere de ... MW în nodul ..., respectiv ... MW și MVA în nodul (noduri de graniță) la bilanțul local al puterilor în noduri.

Nodurile externe #.....au fost eliminate, nu echivalate, astfel că nu a fost adăugată nicio latură adițională.

Încărcarea pe laturase apropie de limita maximă.

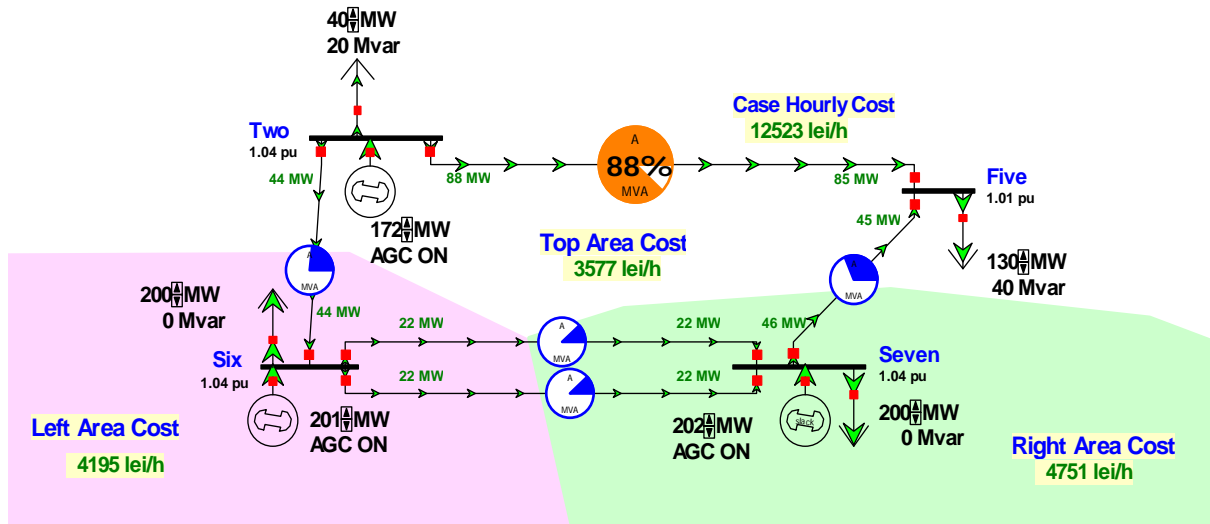


Figura 2: Repartiția puterilor în rețeaua test cu nodurile externe eliminate

II. Echivalentul WARD de sistem

Se determină influența echivalării nodurilor externe asupra circulației de putere în rețeaua studiată – Fig.3.

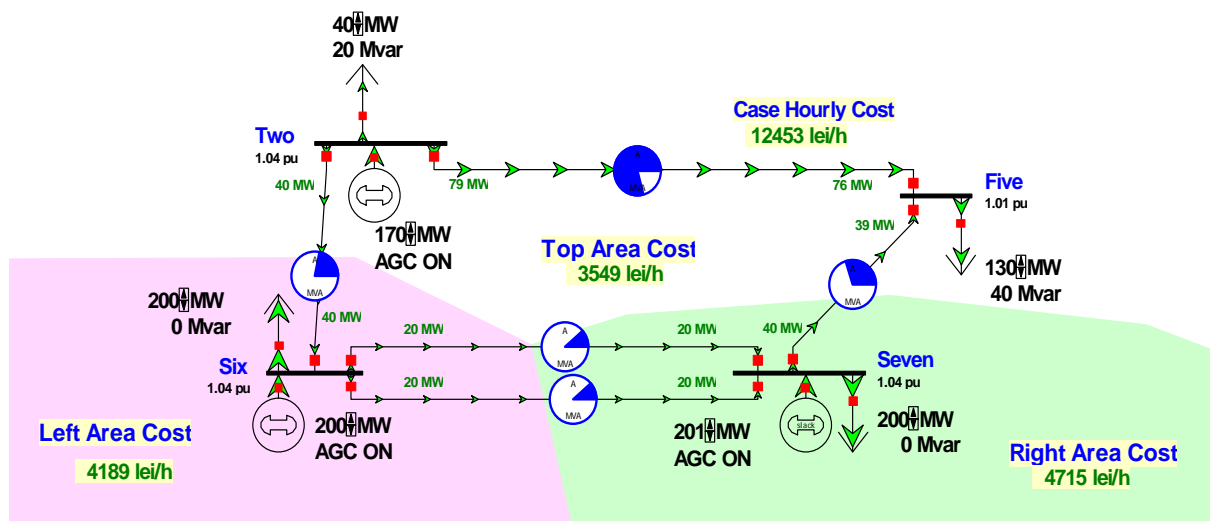


Figura 3: Repartiția puterilor în rețeaua test cu nodurile externe echivalate

Raportul circulației de puteri este dat în Tabelul 2.

Tabel 2: Repartiția puterilor în nodurile sistemului în urma echivalării nodurilor externe

Bus Flows										
BUS	2	Two	138.0	MW	Mvar	MVA	%	1.0400	4.22	1 Top
GENERATOR	1		170.08		33.24R	173.3				
LOAD	1		40.00		20.00	44.7				
SHUNT [GEN = +]			17.31		-21.36	27.5				
TO	5	Five	1	78.74	4.42	78.9	79			
TO	5	Five	99	28.57	2.98	28.7	0			
TO	6	Six	1	40.07	-15.52	43.0	21			
BUS	5	Five	138.0	MW	Mvar	MVA	%	1.0066	-0.83	1 Top
GENERATOR	1		130.00		40.00	136.0				
LOAD	1									
SHUNT [GEN = +]			-13.64		-5.75	14.8				
TO	2	Two	1	-76.43	-0.64	76.4	76			
TO	2	Two	99	-27.80	-0.44	27.8	0			
TO	7	Seven	1	-39.41	-44.67	59.6	30			
BUS	6	Six	138.0	MW	Mvar	MVA	%	1.0400	2.81	2 Left
GENERATOR	1		200.33		-6.59R	200.4				
LOAD	1		200.00		0.00	200.0				
TO	2	Two	1	-39.75	11.09	41.3	21			
TO	7	Seven	1	20.04	-8.84	21.9	11			
TO	7	Seven	2	20.04	-8.84	21.9	11			
BUS	7	Seven	138.0	MW	Mvar	MVA	%	1.0400	0.00	3 Right
GENERATOR	1		200.65		51.29R	207.1				
LOAD	1		200.00		0.00	200.0				
TO	5	Five	1	40.07	42.47	58.4	29			
TO	6	Six	1	-19.71	4.41	20.2	10			
TO	6	Six	2	-19.71	4.41	20.2	10			

Se observă că:

Abaterile în nodurile de graniță au fost eliminate.

Mărimile în nodurile studiate nu au fost afectate.

În nodurile de graniță au fost adăugate șunturi.

A fost adăugată o latură nouă între nodurile de graniță #.....și:, respectiv

III. Analiza contingențelor

Să se analizeze următoarele cazuri de contingență simplă și să se compare cu rezultatele calculului circulației de puteri pentru în rețeaua originală și în rețeaua redusă cu echivalent Ward:

Caz a. Linia #5-7 scoasă din funcțiune – Fig. 4, Fig. 5;

Caz b. Linia #2-6 scoasă din funcțiune – Fig...8, Fig. 9.

Caz a

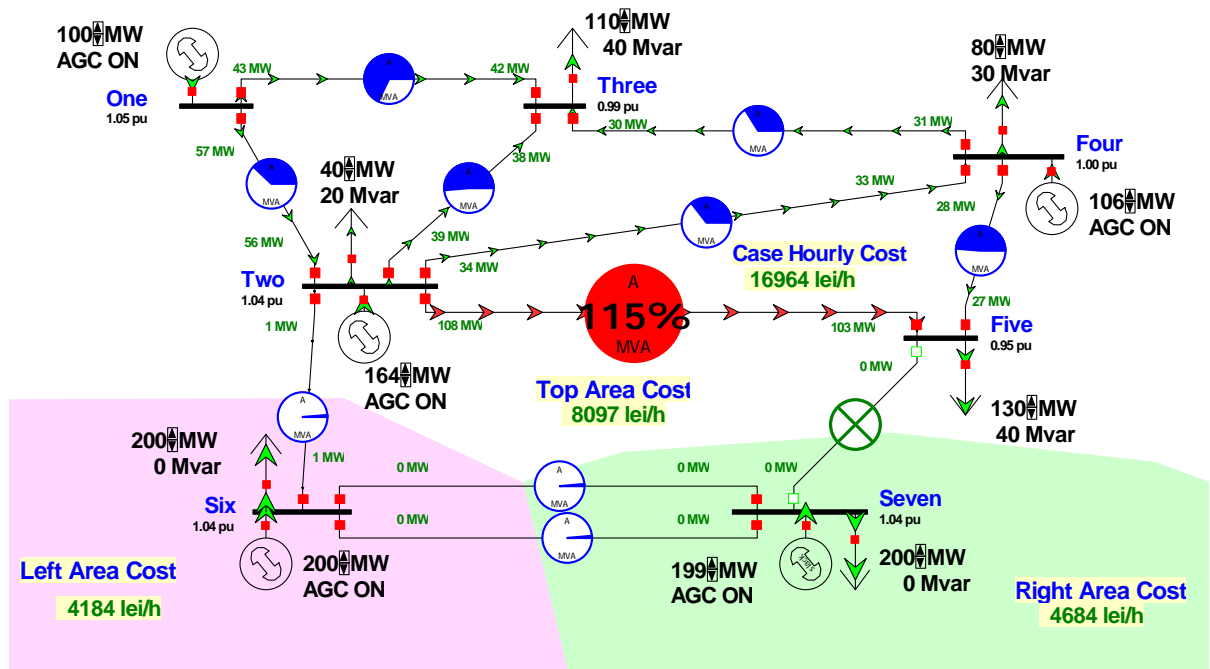


Figura. 4: Configurația rețelei originale cu linia #5-7 scoasă din funcțiune

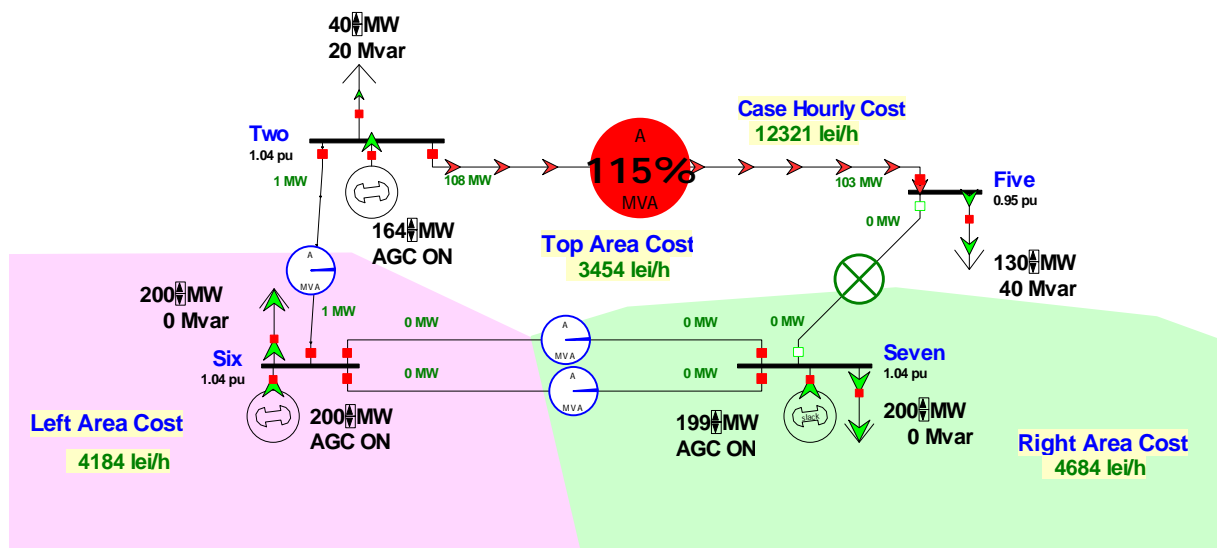
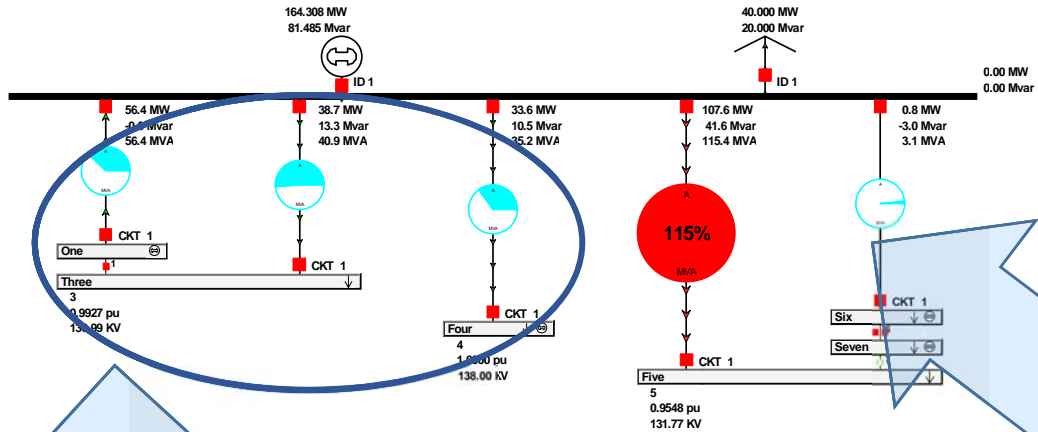


Figura 5: Configurația rețelei reduse cu linia #5-7 scoasă din funcțiune

Two

Bus: Two (2)
 Nom KV: 110.00
 Area: Top (1)
 Zone: 1 (1)
 1.0400 pu
 114.40 KV
 0.08 Deg
 Not Valid lei/MWh



System State

Two

Bus: Two (2)
 Nom KV: 110.00
 Area: Top (1)
 Zone: 1 (1)
 1.0400 pu
 114.40 KV
 0.08 Deg
 Not Valid lei/MWh

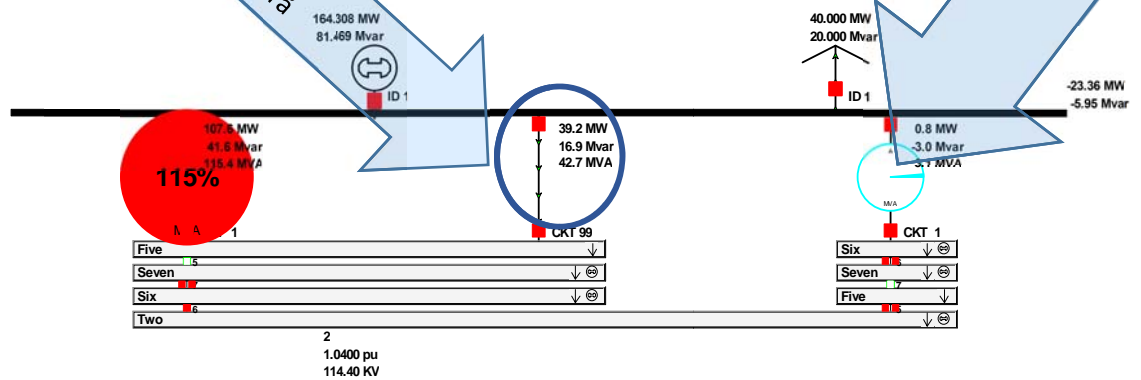


Figura 6: Repartiția puterilor în nodul #2 pentru configurația originală vs. configurația redusă

Unde are loc o realocare a puterilor în rețeaua redusă?
 Cum se modifică puterile pe laturile rămase ?

Tabel 3: Repartiția puterilor în nodurile sistemului redus în urma scoaterii din funcțiune a liniei #5-7

Bus Flows									
BUS	2 Two	110.0	MW	Mvar	MVA	%	1.0400	-0.00	1 Top
GENERATOR 1		171.87		102.44R	200.1				
LOAD 1		40.00		20.00	44.7				
SHUNT [GEN = +]		17.31		-21.31	27.5				
TO	5 Five	1	109.75	45.54	118.8	119			
TO	5 Five	99	39.44	18.24	43.5	0			
TO	6 Six	1	-0.00	-2.70	2.7	1			
BUS	5 Five	110.0	MW	Mvar	MVA	%	0.9496	-6.56	1 Top
LOAD 1		130.00		40.00	136.0				
SHUNT [GEN = +]		-12.17		-5.14	13.2				
TO	2 Two	1	-104.47	-32.68	109.5	109			
TO	2 Two	99	-37.67	-12.43	39.7	0			
TO	7 Seven	1	0.00	0.00	0.0	0			(OPEN)
BUS	6 Six	110.0	MW	Mvar	MVA	%	1.0400	-0.00	2 Left
GENERATOR 1		200.00		-8.12R	200.2				
LOAD 1		200.00		0.00	200.0				
TO	2 Two	1	0.00	-2.71	2.7	1			
TO	7 Seven	1	-0.00	-2.70	2.7	1			
TO	7 Seven	2	-0.00	-2.70	2.7	1			
BUS	7 Seven	110.0	MW	Mvar	MVA	%	1.0400	0.00	3 Right
GENERATOR 1		200.00		-5.41R	200.1				
LOAD 1		200.00		0.00	200.0				
TO	5 Five	1	0.00	0.00	0.0	0			(OPEN)
TO	6 Six	1	0.00	-2.71	2.7	1			
TO	6 Six	2	0.00	-2.71	2.7	1			

Caz b

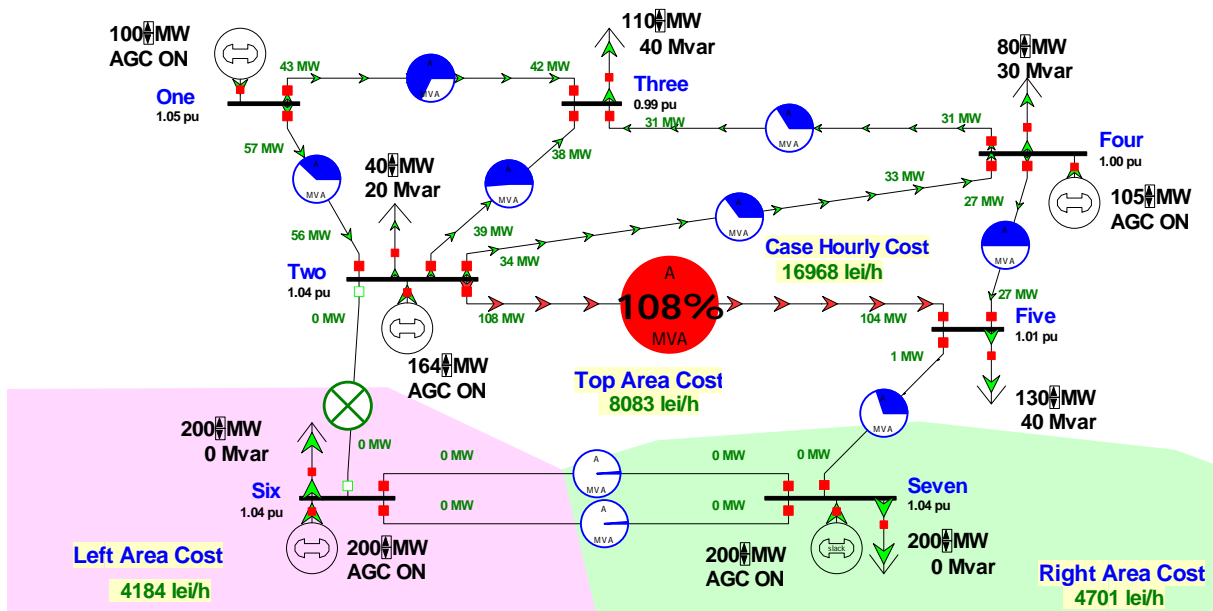


Figura 7: Configurația rețelei originale cu linia #2-6 scoasă din funcțiune

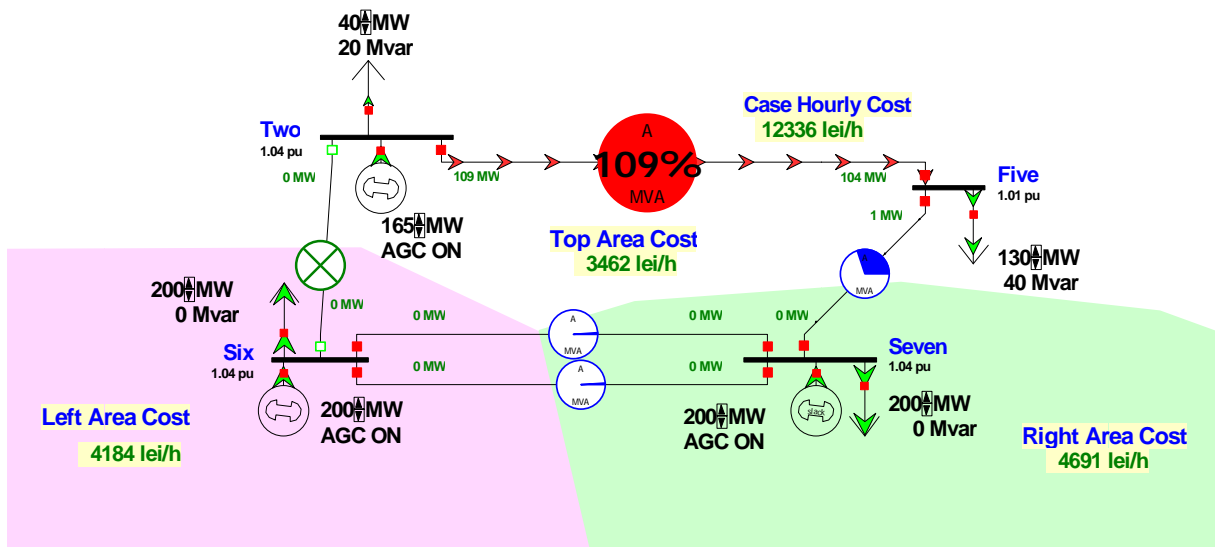


Figura 8: Configurația rețelei reduse cu linia #5-7 scoasă din funcțiune

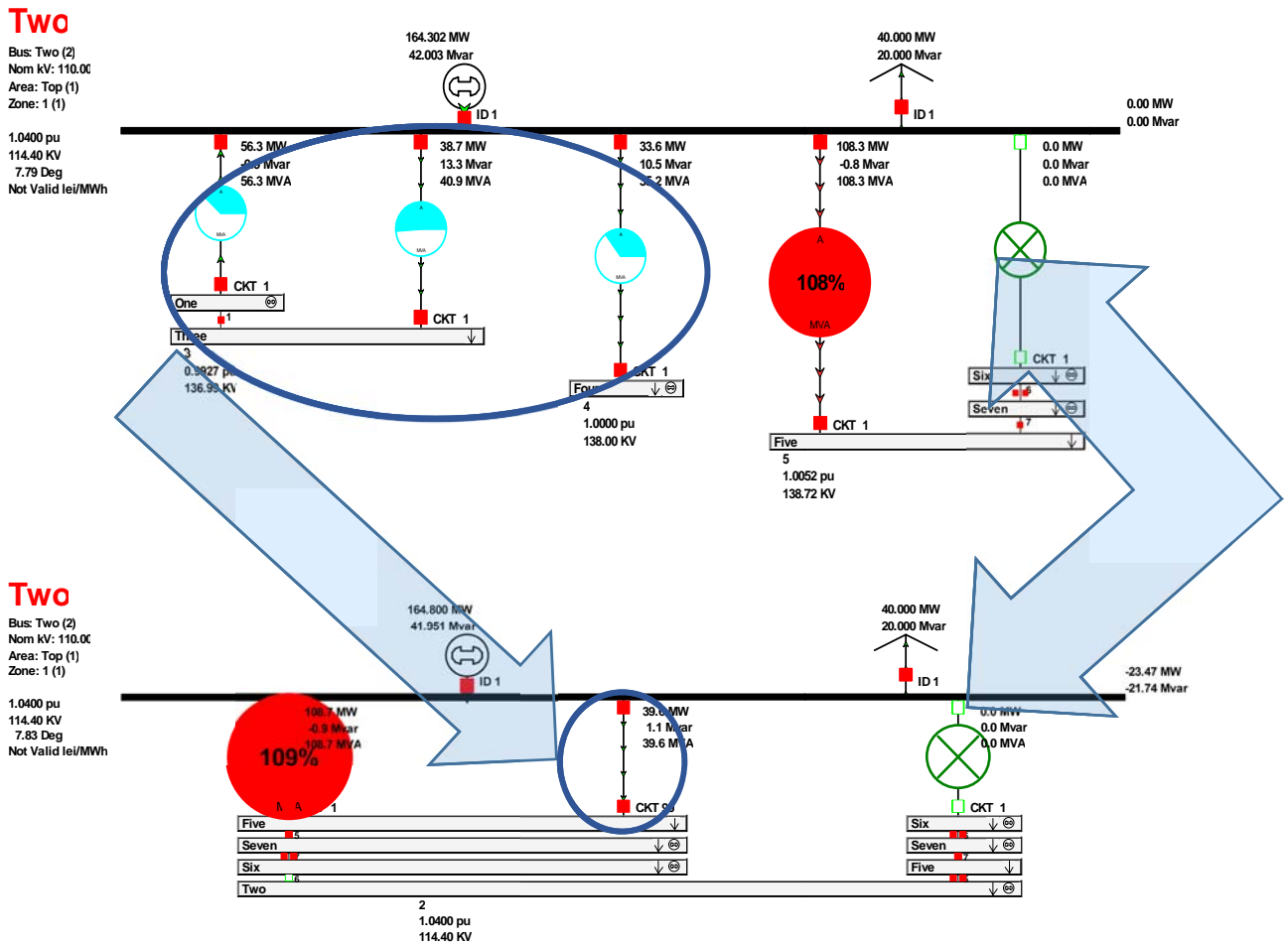


Figura 9: Repartiția puterilor în nodul #2 pentru configurația originală vs. configurația redusă

Unde are loc o realocare a puterilor în rețeaua redusă? Cum se modifică puterile pe laturile rămase?

Tabel 4: Repartiția puterilor în nodurile sistemului redus în urma scoaterii din funcțiune a liniei #2-6

Bus Flows									
BUS	2 Two	110.0	MW	Mvar	MVA	%	1.0400	7.79	1 Top
	GENERATOR 1	171.38		41.80R	176.4				
	LOAD 1	40.00		20.00	44.7				
	SHUNT [GEN = +]	17.31		-21.31	27.4				
TO	5 Five	1	109.04	-0.87	109.0	109			
TO	5 Five	99	39.64	1.36	39.7	0			
TO	6 Six	1	0.00	0.00	0.0	0		(OPEN)	
BUS	5 Five	110.0	MW	Mvar	MVA	%	1.0051	0.61	1 Top
	LOAD 1	130.00		40.00	136.0				
	SHUNT [GEN = +]	-13.64		-5.76	14.8				
TO	2 Two	1	-104.64	10.93	105.2	105			
TO	2 Two	99	-38.17	3.48	38.3	0			
TO	7 Seven	1	-0.82	-60.17	60.2	30			
BUS	6 Six	110.0	MW	Mvar	MVA	%	1.0400	0.00	2 Left
	GENERATOR 1	200.00		-5.41R	200.1				
	LOAD 1	200.00		0.00	200.0				
TO	2 Two	1	0.00	0.00	0.0	0		(OPEN)	
TO	7 Seven	1	0.00	-2.70	2.7	1			
TO	7 Seven	2	0.00	-2.70	2.7	1			
BUS	7 Seven	110.0	MW	Mvar	MVA	%	1.0400	0.00	3 Right
	GENERATOR 1	201.49		52.58R	208.2				
	LOAD 1	200.00		0.00	200.0				
TO	5 Five	1	1.49	57.99	58.0	29			
TO	6 Six	1	-0.00	-2.70	2.7	1			
TO	6 Six	2	-0.00	-2.70	2.7	1			