



CONTROLUL TENSIUNII IN REȚELELE ELECTRICE

Nivelele de reglaj in SEE

Reglajul primar vizează acționarea echipamentelor locale de reglare a tensiunii și urmărește menținerea tensiunii nodului respectiv la valoarea de consemn.

Reglajul secundar realizează controlul tensiunii într-o anumită zonă, elaborând consemnul pentru comanda dispozitivelor de reglaj UQ din nodurile reglante.

Reglajul terțiar realizează planul optimal de tensiune pe ansamblul rețelei, pe termen scurt (24h) și foarte scurt (15 – 30 minute). In cadrul reglajului terțiar sunt calculate și reactualizate, on-line, tensiunile optimale ale nodurilor reprezentative, plecând de la prognozele pe termen scurt ale cererii de putere și ale estimatorilor de stare.

Nivelele de reglaj in SEE

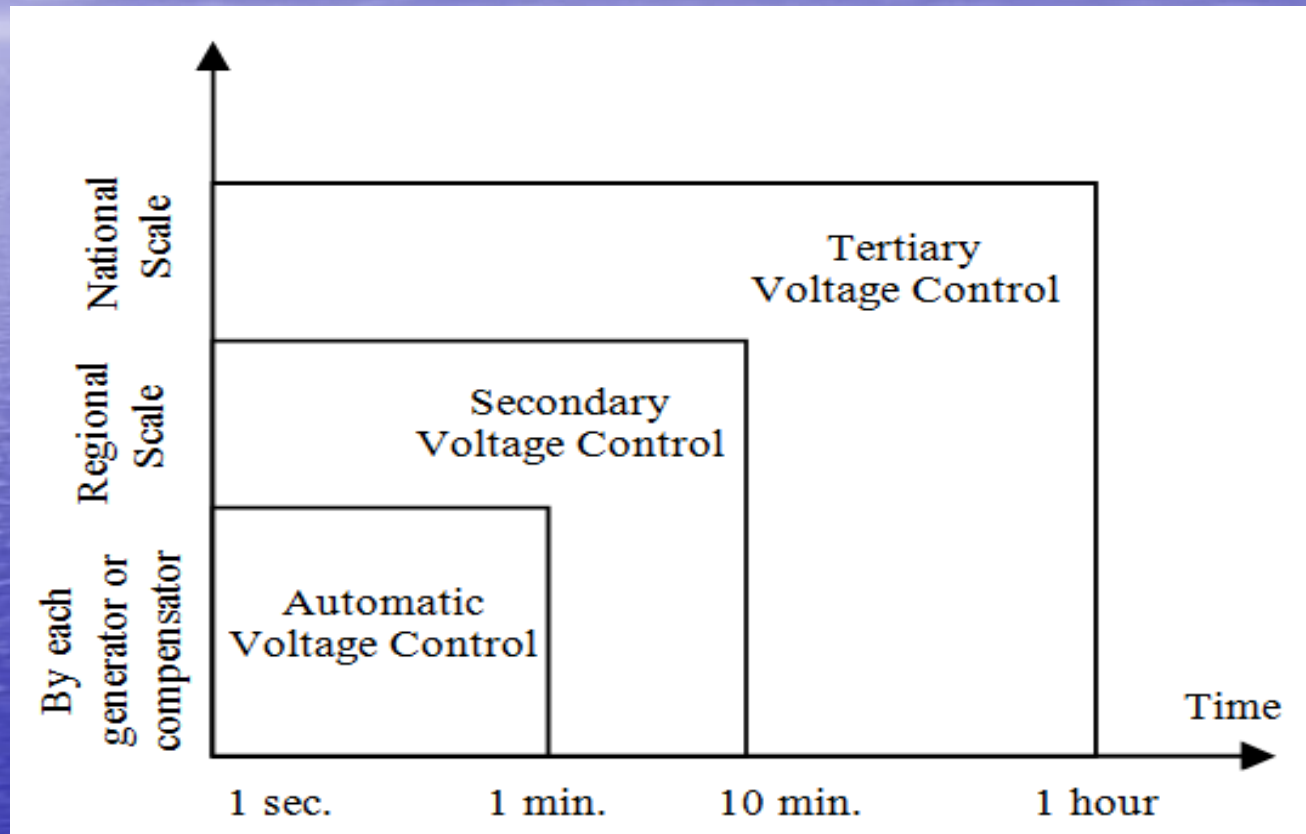


Fig. 1. Schema de ierarhizare a reglajului UQ (delimitare in domeniul spatiu – timp)

Nivelele de reglaj in SEE

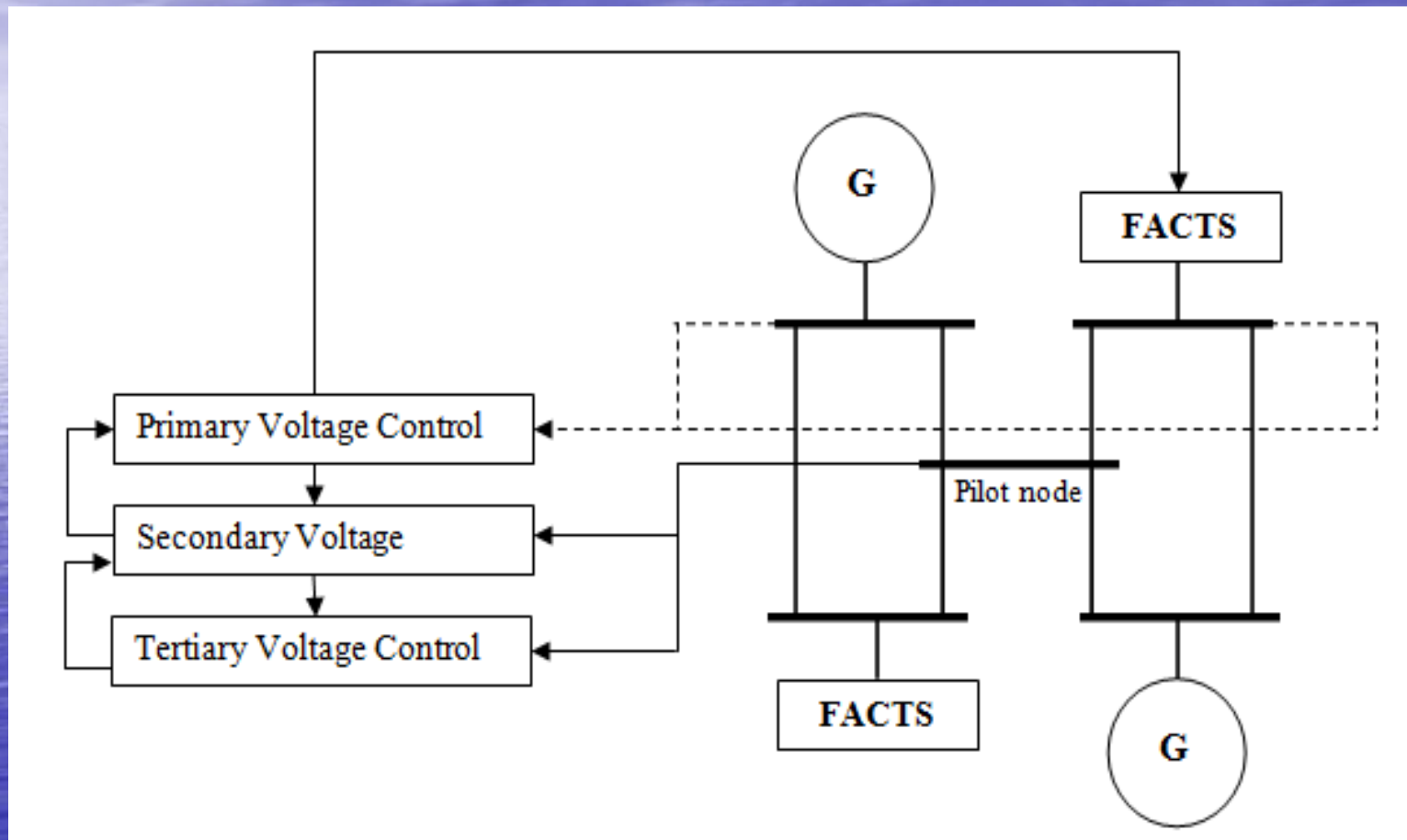


Fig. 2. Structura ierarhica a reglajului de tensiune

Nivelele de reglaj in SEE

Table 1. Practici in reglajul ierarhic de tensiune in tarile UE

Tara	Reglaj secundar	Reglaje SVC	Reglaj tertiar	Reglaje
<i>Franta</i>	SVC	U_{PV} si T	Manual	U_{PV} si T
<i>Spania</i>	SVC	U_{PV} si $T < 220$ kV	OPF+Sistem expert	U_{PV} si $T > 220$ kV
<i>Italia</i>	SVC	U_{PV} si T	OPF in bucla inchisa	U_{PV} si T
<i>Belgia</i>	SVC	U_{PV} si $T < 150$ kV	OPF	U_{PV} si $T \geq 150$ kV
<i>Germania</i>	SVC	U_{PV} si $T < 220$ kV	OPF	U_{PV} si $T \geq 220$ kV

T – comutator de ploturi

U_{PV} – amplitudinea tensiunii la fiecare unitate generatoare sau echipament de compesare

STUDIU DE CAZ – Determinarea nodurilor pilot in reglajul de tensiune

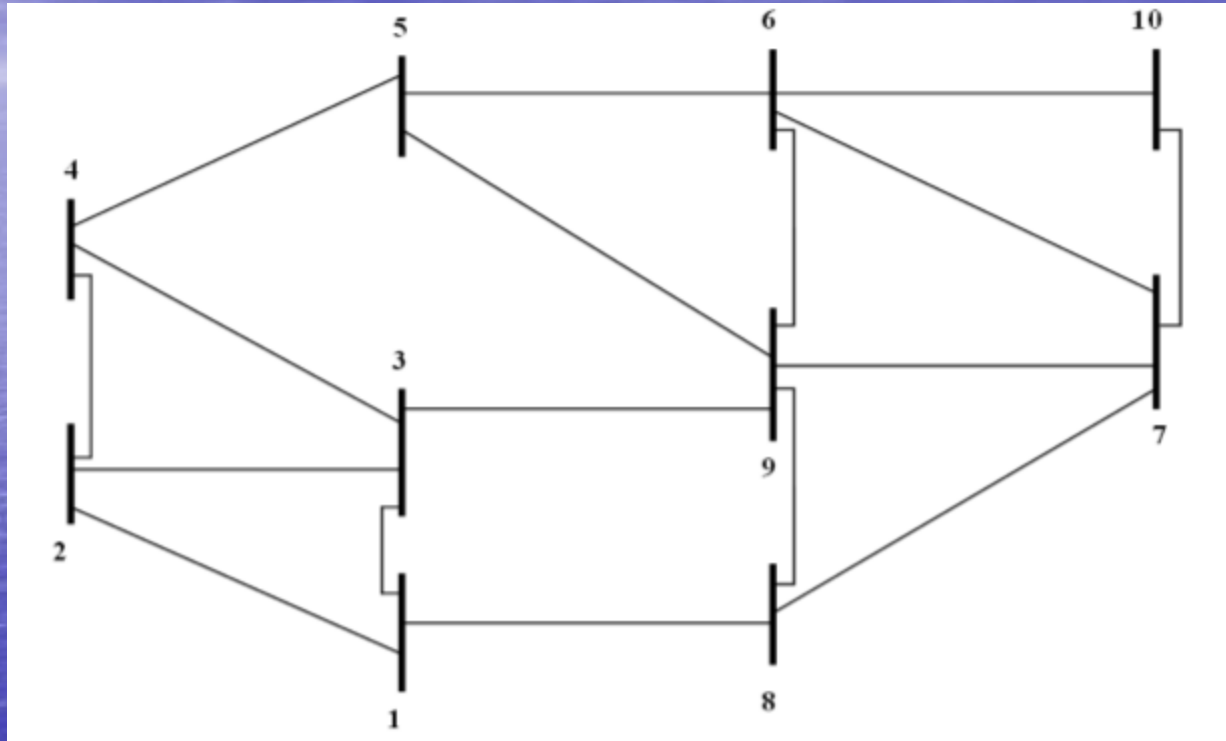
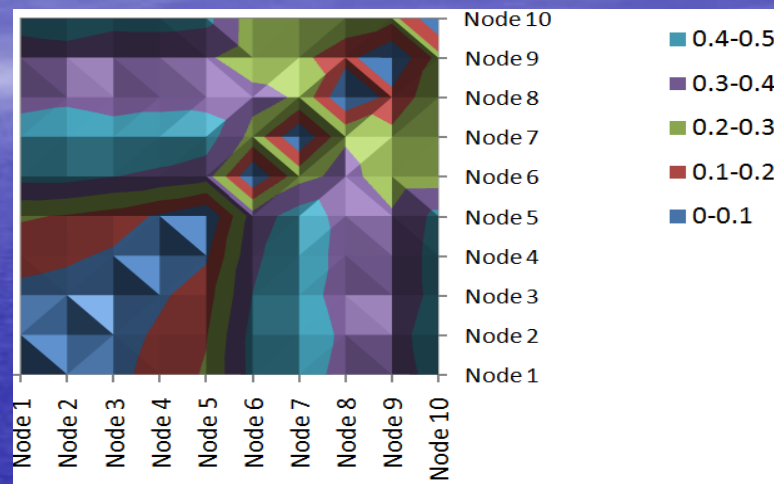


Fig. 2. Sistem test 10 noduri

STUDIU DE CAZ – Determinarea nodurilor pilot in reglajul de tensiune

Matricea distantelor electrice

Nod	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0.0814	0.0676	0.1420	0.2111	0.4334	0.4841	0.3405	0.3314
2	0.0814	0	0.0504	0.1196	0.1929	0.4364	0.4966	0.3691	0.3445
3	0.0676	0.0504	0	0.0827	0.1564	0.4021	0.4637	0.3400	0.3111
4	0.1420	0.1196	0.0827	0	0.0835	0.3812	0.4639	0.3619	0.3202
5	0.2111	0.1929	0.1564	0.0835	0	0.3449	0.4486	0.3694	0.3138
6	0.4334	0.4364	0.4021	0.3812	0.3449	0	0.2654	0.3335	0.2435
7	0.4841	0.4966	0.4637	0.4639	0.4486	0.2654	0	0.2890	0.2279
8	0.3405	0.3691	0.3400	0.3619	0.3694	0.3335	0.2890	0	0.1339
9	0.3314	0.3445	0.3111	0.3202	0.3138	0.2435	0.2279	0.1339	0

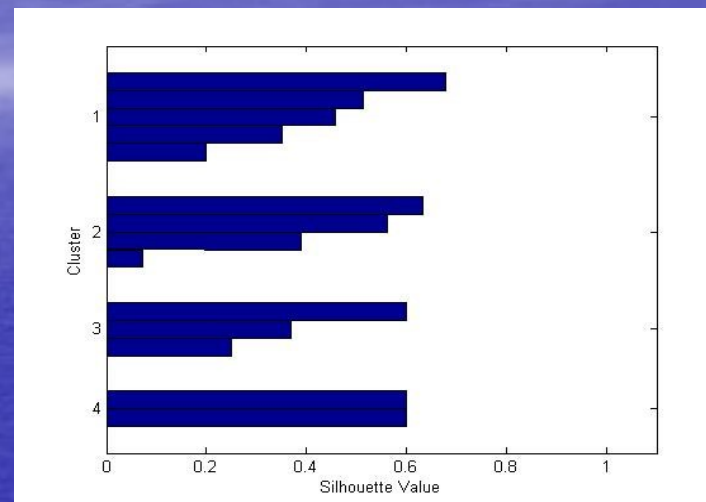


Reprezentarea grafica a matricei distantelor

STUDIU DE CAZ – Determinarea nodurilor pilot in reglajul de tensiune

Valorile coeficientului de forma

K	K = 2	K = 3	K = 4
SC	0.45	0.36	0.52

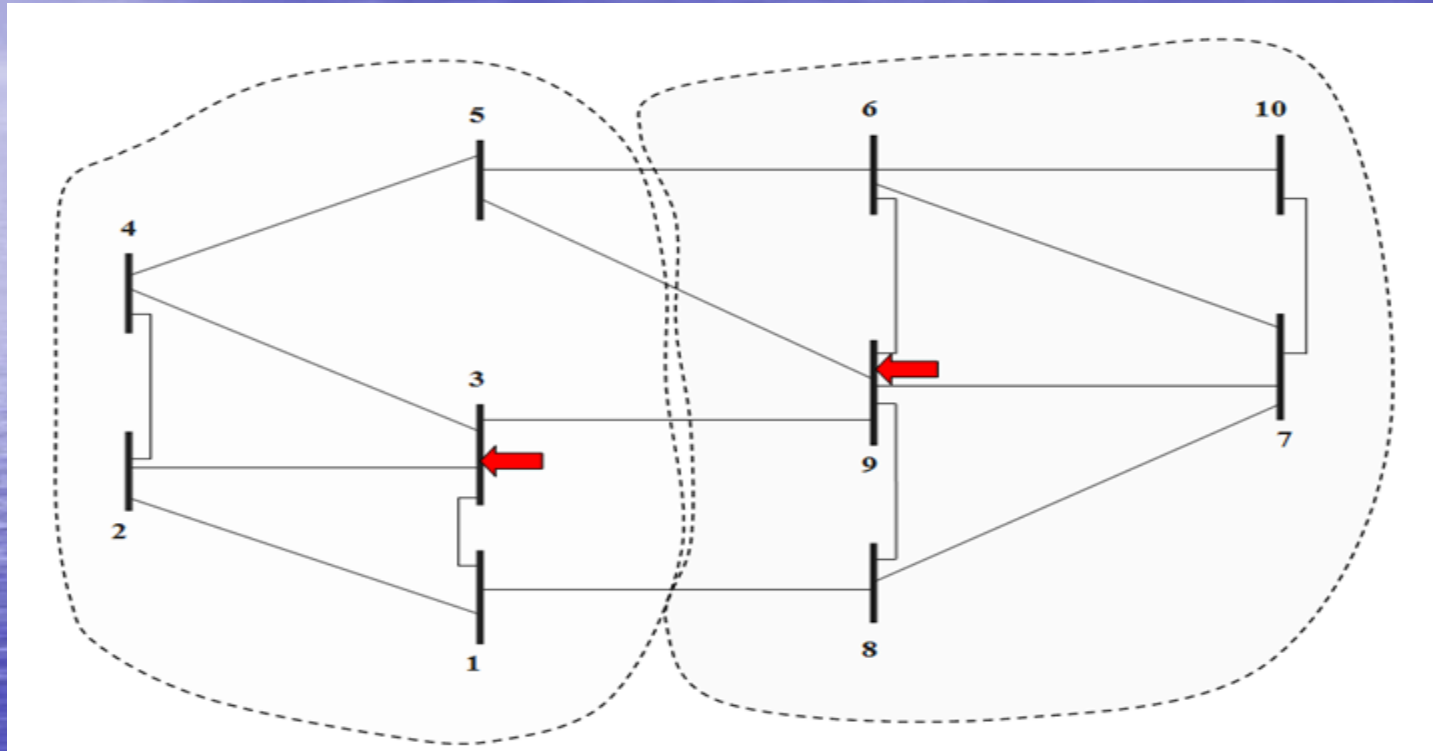


Rezultatele analizei

Reprezentarea grafica a calitatii gruparii (k=4)

Rezultate	Metoda distantei electrice	Metoda bazata pe clustering
Numărul de zone de control	2	2
Nodurile din zona de control	Zona 1: 1, 2, 3, 4,5 Zona 2: 6, 7, 8, 9,10	Zona 1: 1, 2, 3, 4,5 Zona 2: 6, 7, 8, 9,10
Nodurile pilot	Zona 1: 3 Zona 2: 9	Zona 1: 3 Zona 2: 9

STUDIU DE CAZ – Determinarea nodurilor pilot in reglajul de tensiune



Zonele de control determinate cu metoda bazata pe clustering

SCOPUL REGLAJULUI UQ

Determinarea unui profil optimal de tensiune, pentru intervalele de timp reprezentative din graficul zilnic de sarcină, acest profil fiind corespunzător pierderilor de putere minimale.

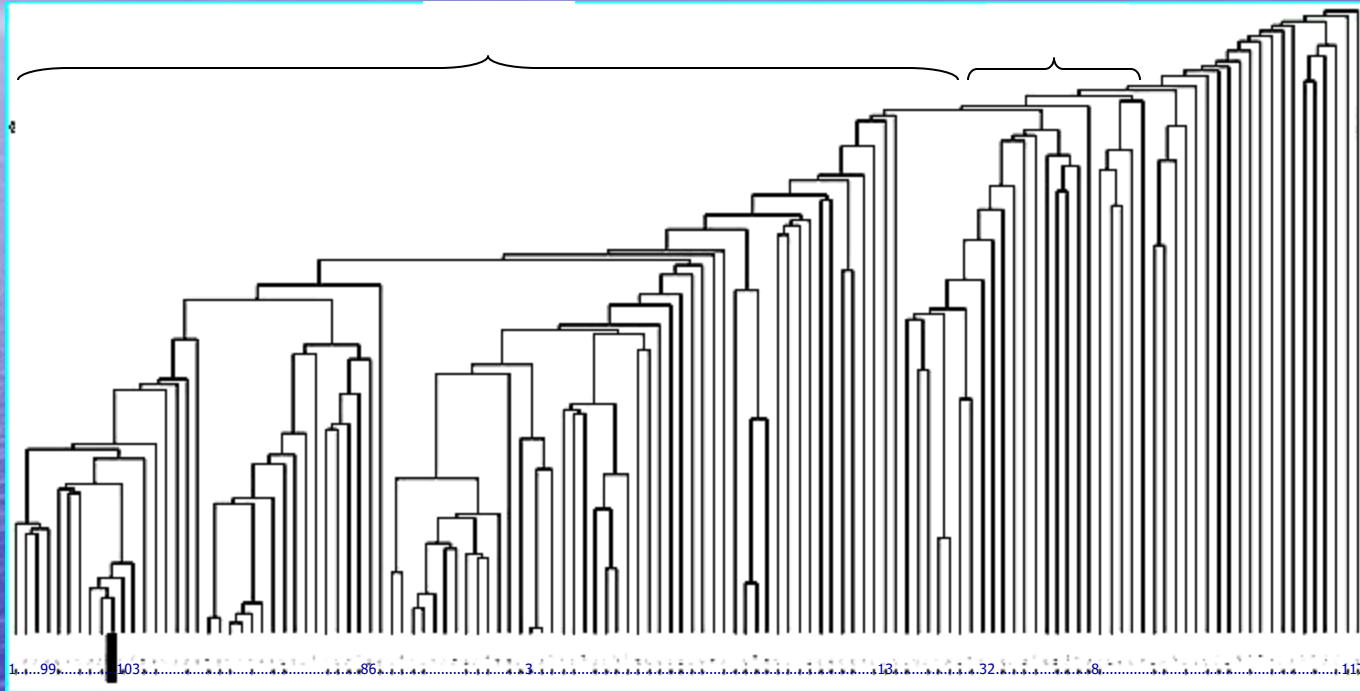
Dificultățile în relajul UQ

- Existența unui mare număr de dispozitive de reglaj, ceea ce implică o ordonare/ selectare a acestora în funcție de eficiență;
- Acțiunea corectivă/de control trebuie să se facă într-un interval limitat de timp;
- Caracterul discret al anumitor variabile (funcția obiectiv nu este derivabilă);
- Dificultățile de convergență, în anumite cazuri.

Abordarea problemei

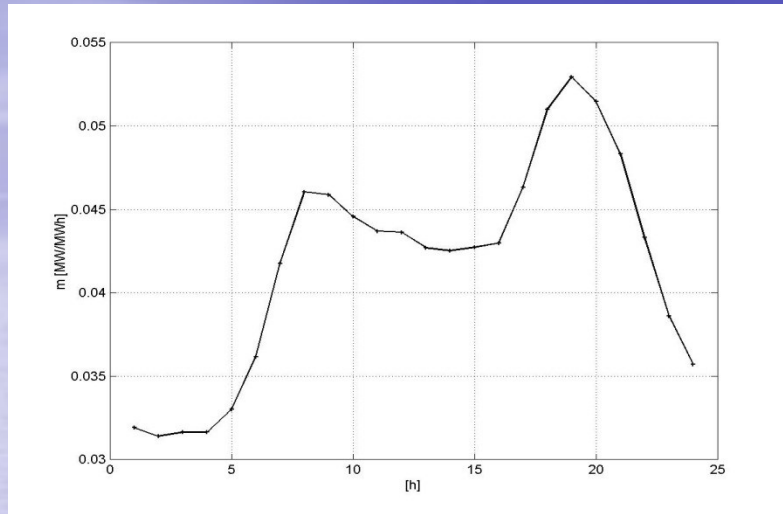
- Optimizarea controlului UQ este o problemă de optimizare neliniară.
- Se pleacă de la ipoteza că obiectivul principal al rețelelor de transport este un nivel de tensiune cât mai constant, dacă se poate în interiorul unei benzi optimale, și limitarea pierderilor de putere.
- Se va căuta reglajul care conduce la acest minimul pierderilor de putere în rețea. Variabilele de control sunt tensiunile nodurilor reglante și poziția ploturilor auto(transformatoarelor).

1. Determinarea profilurilor de sarcină în rețelele electrice cu ajutorul tehnicilor de grupare

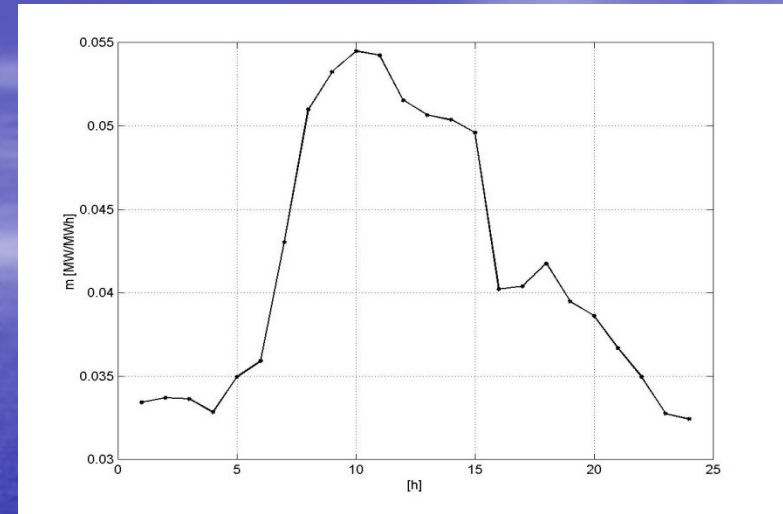


Dendrograma pentru clasificarea nodurilor după puterea activă

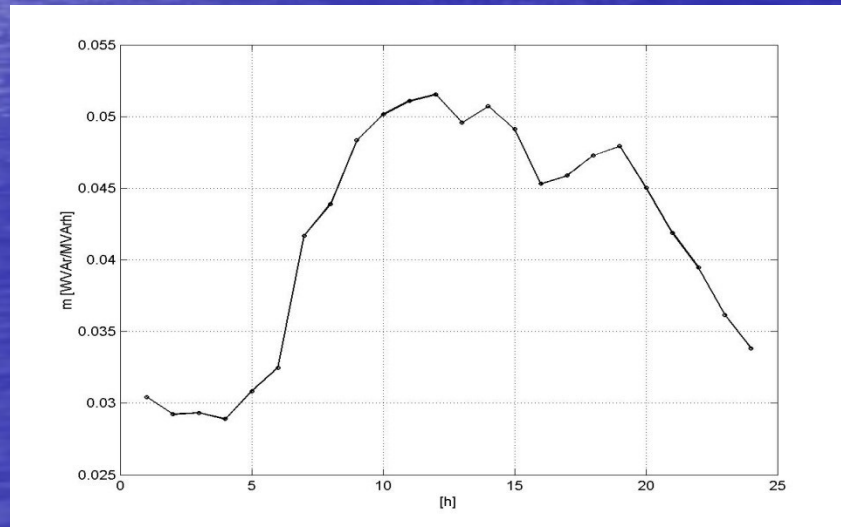
DETERMINAREA BENZILOR OPTIMALE DE REGLARE A TENSIUNII IN REȚELELE ELECTRICE



Graficul tip de sarcină pentru grupa CP1



Graficul tip de sarcină pentru grupa CP2



Graficul tip de sarcină pentru grupa CQ1

2. Formularea problemei de optimizare

Modelul matematic

$$F([\theta], [U], [tc]) = \Delta P([\theta], [U], [tc]) + \sum_{i \in q} QGC_i(Q_i) + \frac{1}{T} \sum_{i,j \in r} TSC_{ij \in r}(\Delta tc_{ij}) = \min!$$

$$P_i([\theta], [U], [tc]) - P_{G_i} + P_{L_i} = 0,$$

$$i \in n \setminus e,$$

$$Q_i([\theta], [U], [tc]) - Q_{G_i} + Q_{L_i} = 0,$$

$$i \in C,$$

$$U_{i \min} \leq U_i \leq U_{i \max},$$

$$i \in n$$

$$Q_{i \min} \leq Q_i([\theta], [U], [tc]) \leq Q_{i \max},$$

$$i \in q$$

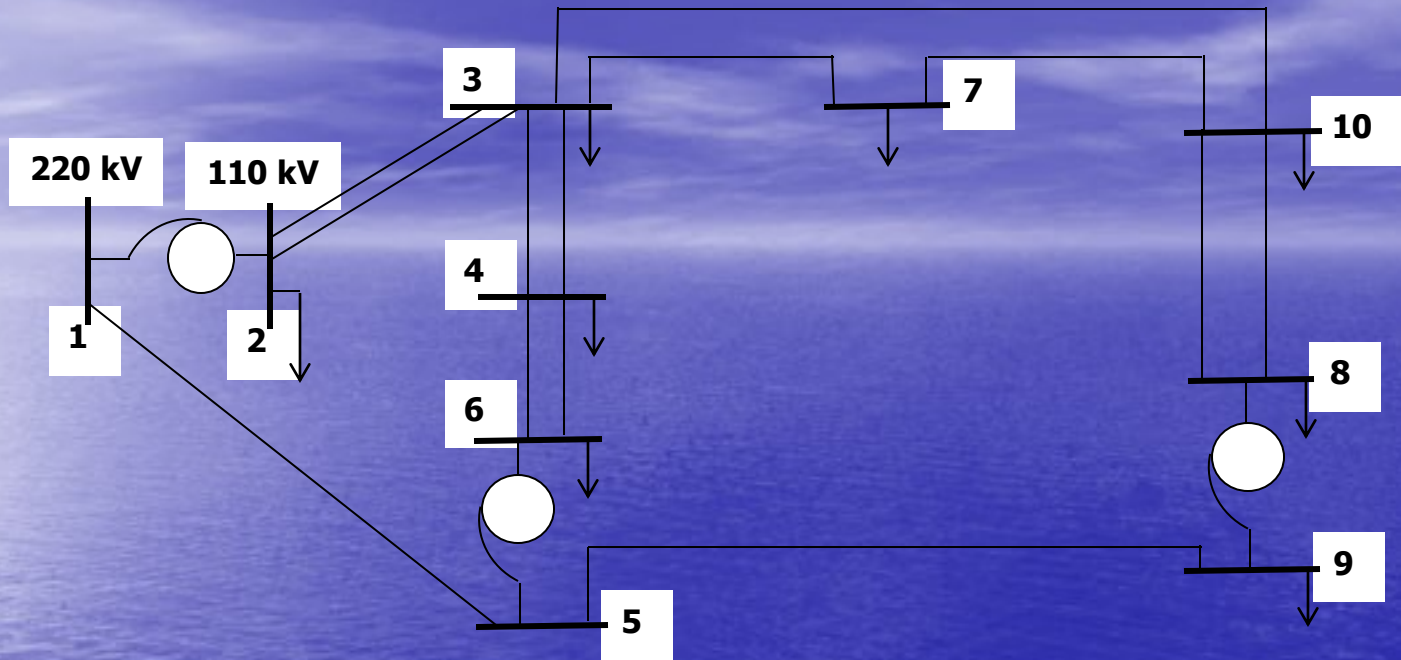
$$tc_{ij \min} \leq tc_{ij} \leq tc_{ij \max},$$

$$ij \in r$$

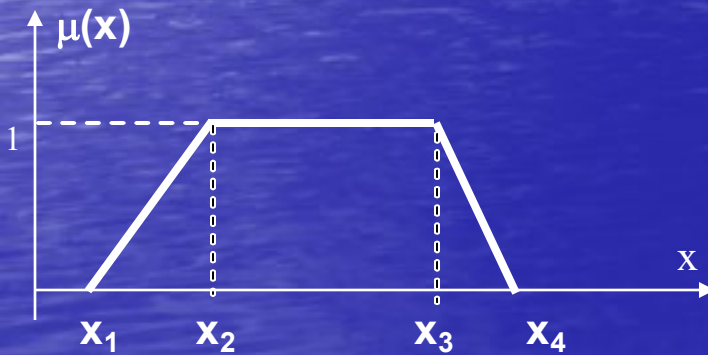
$$0 \leq I_{ij}^2([\theta], [U], [tc]) \leq I_{ij \max}^2,$$

$$ij \in b$$

DETERMINAREA BENZILOR OPTIMALE DE REGLARE A TENSIUNII IN REȚELELE ELECTRICE



Schema rețelei test (220/110 kV)



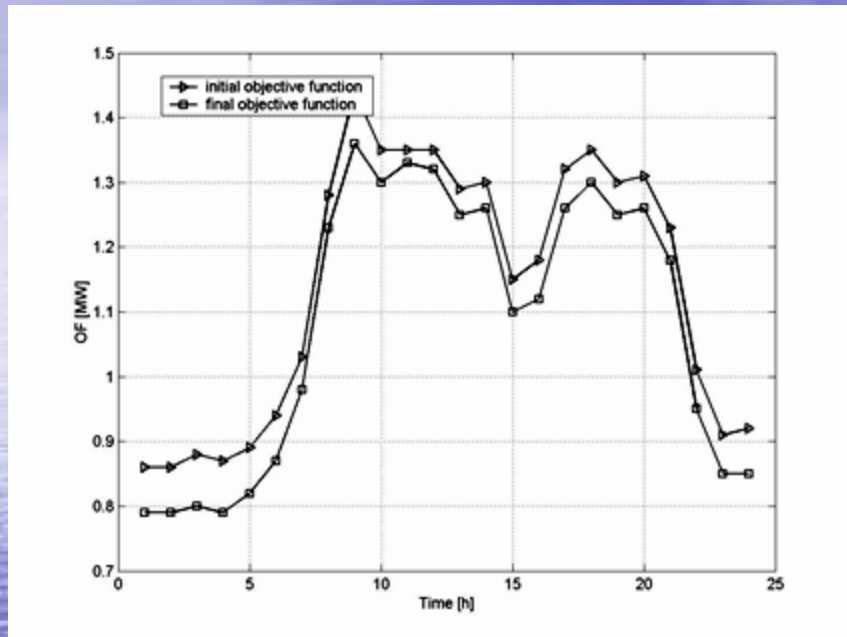
Modelul trapezoidal fuzzy pentru P și Q

DETERMINAREA BENZILOR OPTIMALE DE REGIARE A TENSIUNII IN REȚELELE ELECTRICE

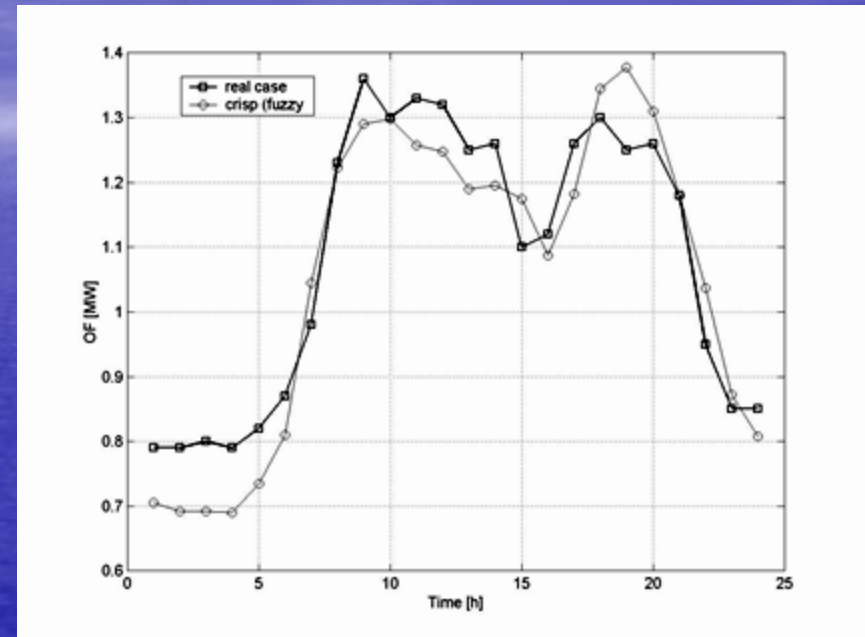
Valorile finale ale funcției obiectiv și variabilele de control fuzzy

Funcția obiectiv						Variabilele de control fuzzy (ploturile autotransformatoarelor)														
						T ₁₋₂					T ₅₋₆					T ₈₋₉				
x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	crisp	real	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	real	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	real	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	real
0.54	0.55	0.85	0.88	0.71	0.79	8	8	11	11	10	7	7	10	10	9	2	2	4	4	4
0.54	0.55	0.83	0.85	0.69	0.79	8	8	10	11	10	7	7	10	10	9	2	2	4	4	4
0.54	0.56	0.82	0.85	0.69	0.80	8	8	10	11	10	7	7	9	10	9	2	2	4	4	4
0.54	0.55	0.82	0.85	0.69	0.79	8	8	10	11	10	7	7	9	10	9	2	2	4	4	4
0.58	0.59	0.87	0.90	0.74	0.82	8	9	11	11	10	7	8	10	10	9	2	2	4	4	4
0.61	0.64	0.98	1.01	0.81	0.87	8	9	11	11	10	7	8	10	10	9	2	3	4	4	4
0.80	0.83	1.25	1.30	1.05	0.98	10	10	14	15	11	9	9	13	14	10	3	3	5	5	4
0.93	0.96	1.47	1.53	1.22	1.23	10	10	15	15	12	9	9	14	14	9	3	3	6	7	5
0.95	1.00	1.57	1.64	1.29	1.36	10	10	15	15	13	9	10	14	15	13	3	4	6	7	5
0.91	0.96	1.61	1.71	1.30	1.30	10	10	15	15	13	9	10	15	15	12	3	4	7	7	5
0.94	0.98	1.52	1.59	1.26	1.33	10	11	15	15	14	10	10	14	15	14	4	4	7	7	5
0.92	0.96	1.52	1.59	1.25	1.32	10	11	15	15	14	10	10	15	15	14	4	4	7	7	5
0.90	0.93	1.44	1.49	1.19	1.25	10	11	15	15	12	10	10	14	14	12	4	4	7	7	5
0.92	0.94	1.43	1.49	1.20	1.26	10	11	15	15	13	10	10	14	15	13	4	4	7	7	5
0.91	0.94	1.40	1.45	1.18	1.10	10	11	15	15	11	10	10	14	14	10	4	4	6	7	4
0.84	0.88	1.29	1.34	1.09	1.12	10	10	15	15	11	9	10	14	14	10	3	4	5	6	4
0.89	0.93	1.43	1.48	1.18	1.26	10	10	15	15	12	9	10	14	14	11	3	4	6	7	5
1.00	1.03	1.64	1.71	1.35	1.30	10	11	15	15	11	10	10	14	14	10	4	4	7	7	5
1.02	1.06	1.68	1.75	1.38	1.25	10	11	15	15	11	10	10	14	14	10	4	4	7	7	5
1.00	1.03	1.58	1.63	1.31	1.26	10	11	15	15	11	10	10	14	14	10	3	4	6	7	5
0.91	0.94	1.41	1.46	1.18	1.18	10	10	15	15	11	9	9	14	14	10	3	3	5	6	4
0.80	0.82	1.29	1.24	1.04	0.95	10	10	11	14	11	9	9	10	13	10	3	3	5	5	4
0.68	0.70	1.04	1.07	0.87	0.85	9	9	11	11	10	8	9	10	10	9	3	3	4	5	4
0.62	0.62	0.98	1.01	0.81	0.85	9	9	11	11	10	9	8	10	10	9	3	3	4	4	4

DETERMINAREA BENZILOR OPTIMALE DE REGLARE A TENSIUNII IN REȚELELE ELECTRICE



**Valorile inițiale și finale ale funcției obiectiv
(caz real)**



**Valorile finale ale funcției obiectiv
(caz real vs. crisp)**

Folosirea tehnicilor de clustering in amplasarea optima a dispozitivelor PMU

Studiu de caz

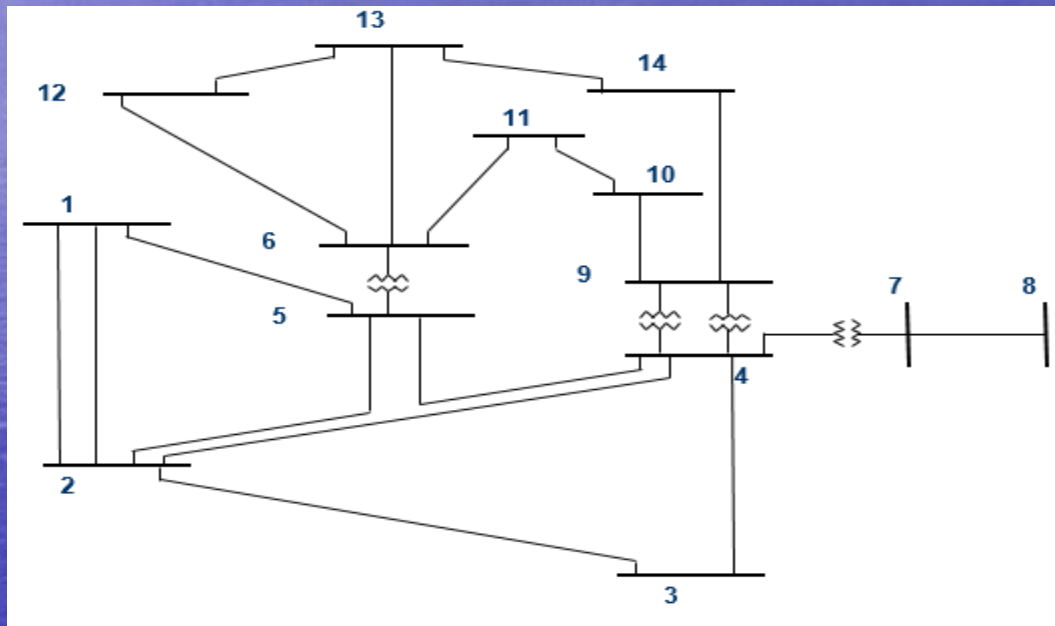


Fig. 1. IEEE 14-bus system

Folosirea tehnicilor de clustering in amplasarea optima a dispozitivelor PMU

Studiu de caz

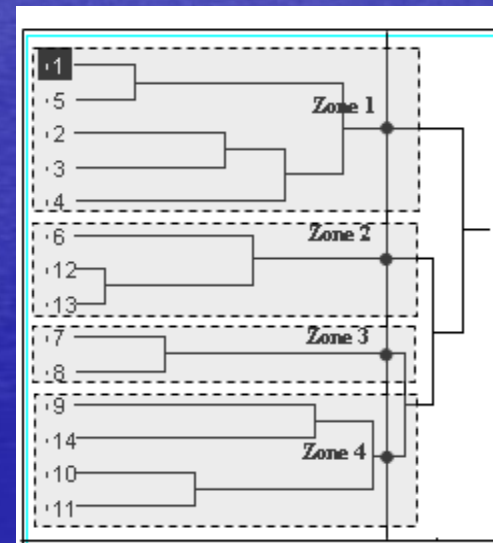
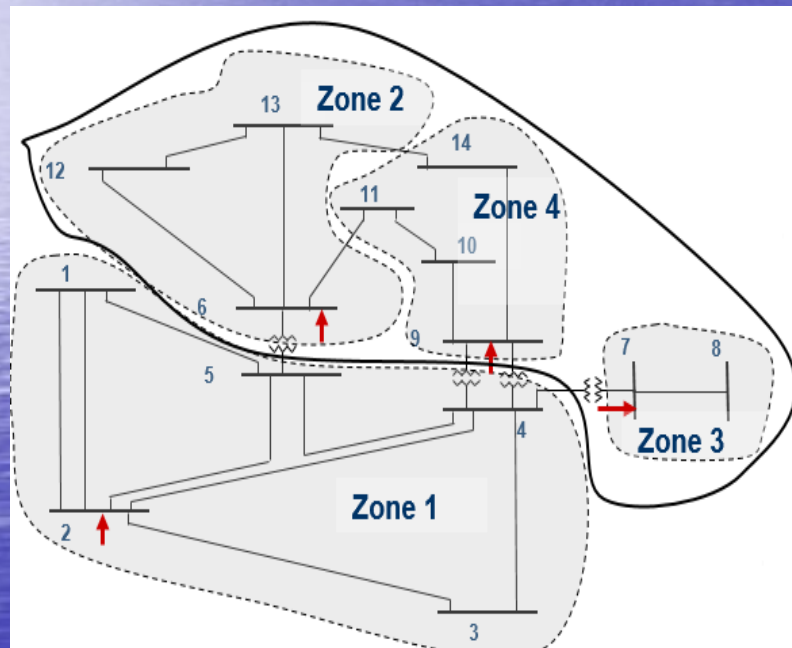
$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$


Fig. 2. Dendrogram of clustering process

Folosirea tehnicilor de clustering in amplasarea optima a dispozitivelor PMU

Studiu de caz



Zonarea sistemului IEEE -14

Table 1 – Rezultate IEEE 14 – sistem

Zones	Bus number	Buses	PMU
1	5	1, 2, 3, 4, 5	2
2	3	6, 12, 13	6
3	2	7, 8	7
4	4	9, 10, 11, 14	9

Tabelul 3. Sinteza rezultatelor

Test Cases	PMU number	Location of PMUs
IEEE 14	4	2, 6, 7, 9
IEEE 30	10	1, 6, 7, 9, 10, 12, 15, 18, 25, 27
IEEE 57	17	1, 5, 7, 9, 15, 19, 23, 27, 30, 32, 36, 38, 39, 41, 46, 50, 53

Tabelul 3 – Metoda Branch and Bound

Test Cases	PMU number	Location of PMUs
IEEE 14	4	2, 6, 7, 9
IEEE 30	10	1, 5, 6, 9, 10, 12, 15, 19, 25, 29
IEEE 57	16	1, 6, 9, 15, 19, 22, 25, 28, 32, 36, 38, 41, 47, 51, 53, 57