

Propagation of disturbances as voltage fluctuations in transmission networks

Albert Hermina¹, Golovanov Nicolae², Elefterescu Luminita

¹ISPE, ²University POLITEHNICA of Bucharest
Bucharest, Romania

Abstract. Significant changes occurred in the power system in Romania in recent years by reducing the power used in the system, the number of classic power sources in operation as well as by implementing renewable energy sources, have determined short circuit power reduction (node rigidity) in the points where disturbing users are connected, that in the absence of adequate measures, result in disturbances above acceptable levels. The paper analyzes two power systems areas in which are connected users that cause voltage fluctuation. Disturbances as voltage fluctuations resulting in these nodes may exceed the acceptable values and can spread in the transmission network affecting power quality over large system areas. The analysis conducted reveals the influence of short circuit power in nodes where these users are connected and highlights the fact that in some cases (e.g. lines out of operation for maintenance, shutdown of classic units in the area) the disturbances in the transmission network sent to the users at lower voltages may have values above those allowed. Technical Code of existing power transmission network does not refer to voltage fluctuations, as a rule, in the electricity transmission network was considered that this phenomenon should not exist.

Keywords: voltage fluctuations, transmission networks, electric energy, quality.

Propagarea fluctuațiilor de tensiune în rețelele de transport de energie electrică

Albert Hermina¹, Golovanov Nicolae², Elefterescu Luminița

¹ISPE; ²Universitatea Politehnica,
București, România

Rezumat. Modificările importante care au avut loc în sistemul energetic din România în ultimii ani prin reducerea puterii utilizate în sistem, a numărului și puterii surselor clasice aflate în funcțiune precum și prin implementarea surselor regenerabile de energie au determinat reducerea puterii de scurtcircuit (rigiditatea nodului) în punctele în care sunt conectați utilizatori perturbatori astfel că, în lipsa unor măsuri adecvate, rezultă perturbații peste nivelurile admise. În cadrul lucrării sunt analizate două zone din sistemul electroenergetic în care sunt conectați utilizatori care determină fluctuații de tensiune. Perturbațiile sub forma fluctuațiilor de tensiune care apar în aceste noduri pot depăși valorile admise și se pot propaga în rețeaua de transport afectând calitatea energiei electrice pe mari zone din sistem. Analiza efectuată pune în evidență influența puterilor de scurtcircuit în nodurile în care sunt conectați acești utilizatori și subliniază faptul că în unele cazuri (de exemplu, linii deconectate pentru mentenanță, oprirea grupurilor clasice din zonă) perturbațiile din rețeaua de transport, transmise utilizatorilor de la tensiuni mai reduse pot avea valori mult peste cele admisibile. Codul tehnic al rețelelor de transport în vigoare nu face referire la fluctuații de tensiune, deoarece, de regulă, în RET s-a considerat că acest fenomen nu trebuie să existe.

Cuvinte-cheie: fluctuații de tensiune, rețelele de transport a energiei electrice.

Распространение флуктуаций напряжения в электрических транспортных сетях

Альберт Германа¹, Голованов Николае², Элефтереску Луминица

Научно-исследовательский институт в области энергетики¹,

Бухарестский политехнический университет²,
Бухарест, Румыния

Аннотация. Значительные изменения, которые произошли в энергетической системе в Румынии в последние годы за счет снижения мощности, используемой в системе, количество и мощность классических источников в эксплуатации, а также внедрение возобновляемых источников энергии уменьшили мощность тока короткого замыкания (жесткость узла). В точках подключения пользователей, при отсутствии соответствующих мероприятий, возникнет превышение допускаемых уровней искажений напряжения. В статье проанализированы две области энергетической системы, в которой подключены пользователи, которые определяют колебания напряжения. Помехи в виде колебаний напряжения в этих узлах могут превышать допустимые значения и могут распространяться в сети передачи электроэнергии и влиять на качество электроэнергии в больших зонах системы. Проведенный анализ показывает влияние узлов мощности короткого замыкания, в которых подключены эти пользователи и отмечено, что в некоторых случаях (например, когда линии отключены для технического обслуживания, (остановка групп зоны) нарушения в сети передачи, влияющие на пользователей, могут иметь значительные

значения выше допустимых. Технический кодекс существующих транспортных сетей не делает никаких ссылок эти явления, так как считалось, что это явление не должно существовать.

Ключевые слова: качество напряжения, распределительные сети, искажения.

1. ÎNTRUCERE

Preocupările actuale pentru dezvoltarea economiei circulare, prin care sunt reciclate materialele uzate vor determina ca și în viitor instalațiile cu arc electric să aibă un rol important în reintroducerea în circuitul economic a fierului vechi. Topirea fierului vechi în cuptoare cu arc electric este însoțită de variații mari ale puterilor active și reactive absorbite, ceea ce determină importante fluctuații de tensiune. Principala soluție pentru limitarea acestora consta în conectarea în noduri caracterizate de o putere mare de scurtcircuit. Situația actuală din sistemul electroenergetic în care a scăzut substanțial puterea necesară utilizatorilor și deci a numărului de grupuri clasice aflate în funcțiune precum și dezvoltarea surselor regenerabile de energie care au un aport redus la curentul electric de scurtcircuit (conectate la rețeaua electrică prin intermediul convertoarelor electronice) determină ca utilizatorii perturbatori care în trecut (înainte de 1990) se încadrau în nivelul admis de perturbații, să determine în prezent perturbații în afara limitelor admise iar aceste perturbații să se propage în rețeaua de transport afectând calitatea energiei electrice pe distanțe mari față nodul în care a apărut perturbația.

Având în vedere faptul că perturbațiile sub forma fluctuațiilor de tensiune se transmit practic fără atenuare din rețeaua de foarte înaltă tensiune spre nivelurile inferioare, rezultă că utilizatorii conectați în rețeaua de joasă tensiune, pentru care sunt normate valorile indicatorilor de flicker, vor fi afectați direct de perturbațiile din rețeaua electrică de transport [1].

Se consideră a sunt îndeplinite condițiile de calitate a energiei electrice dacă nivelurile perturbației sub forma fluctuației de tensiune sunt inferioare valorilor indicate în tabelul 1 [2].

Tabelul 1

Valori admise ale indicatorilor de flicker

Indicator	Niveluri de compatibilitate la JT	Nivel de planificare	
		MT	IT
P_{st}	1	0,9	0,8
P_{lt}	0,8	0,7	0,6

Pentru a pune în evidență influența puterii de scurtcircuit în nodul în care este conectat un

utilizator perturbator asupra nivelului perturbației care rezultă în acel nod și se propagă în sistemul electroenergetic se consideră un nod din rețeaua de 400 kV (fig. 1) în care este conectat un utilizator perturbator prin intermediul unui transformator de 400/110 kV și un utilizator neperturbator conectat, de asemenea prin intermediul unui transformator 400/110 kV. Barele de 110 kV ale celor doi utilizatori pot fi conectate prin intermediul unei cuple. În funcționare normală cupla este deschisă.

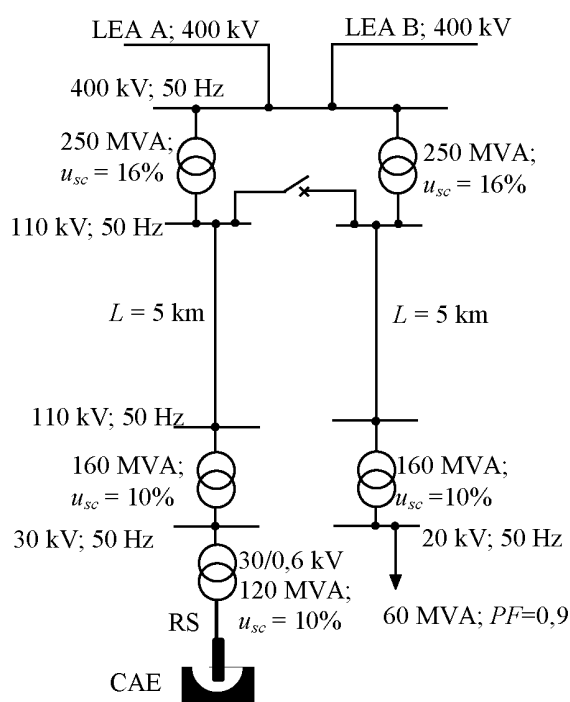


Figura 1. Schema de principiu a circuitului analizat.

Au fost analizate următoarele cazuri pentru puterea de scurtcircuit în nodul de 400kV:

– cele două linii de alimentare, A și B, în funcțiune; puterea de scurtcircuit în nod $S_{sc}=7886$ MVA;

– cele două linii de alimentare, A și B, în funcțiune; puterea de scurtcircuit în nod $S_{sc}=7540$ MVA;

– linia A deconectată, linia B în funcțiune; puterea de scurtcircuit în nod $S_{sc}=4841$ MVA;

– linia B deconectată, linia A în funcțiune; puterea de scurtcircuit în nod $S_{sc}=3859$ MVA;

Analiza a inclus posibilitatea de a închide cupla de 110 kV pentru a evalua nivelul

perturbațiilor care afectează utilizatorii neperturbatori conectați la bara comună de 110 kV. De asemenea, a fost luată în calcul posibilitatea conectării unui echipament SVC la barele de 30 kV ale cuptorului cu arc electric.

În figura 2 este indicată schema utilizată în cadrul programului ETAP 12.6 pentru analiza

nivelului perturbației în funcție de puterea de scurtcircuit în nodul de alimentare. S-a pus în evidență în special nivelul perturbației la bara Bus 2 de 400 kV din stație și la bara Bus 8 de 110 kV din care este alimentat utilizatorul neperturbator.

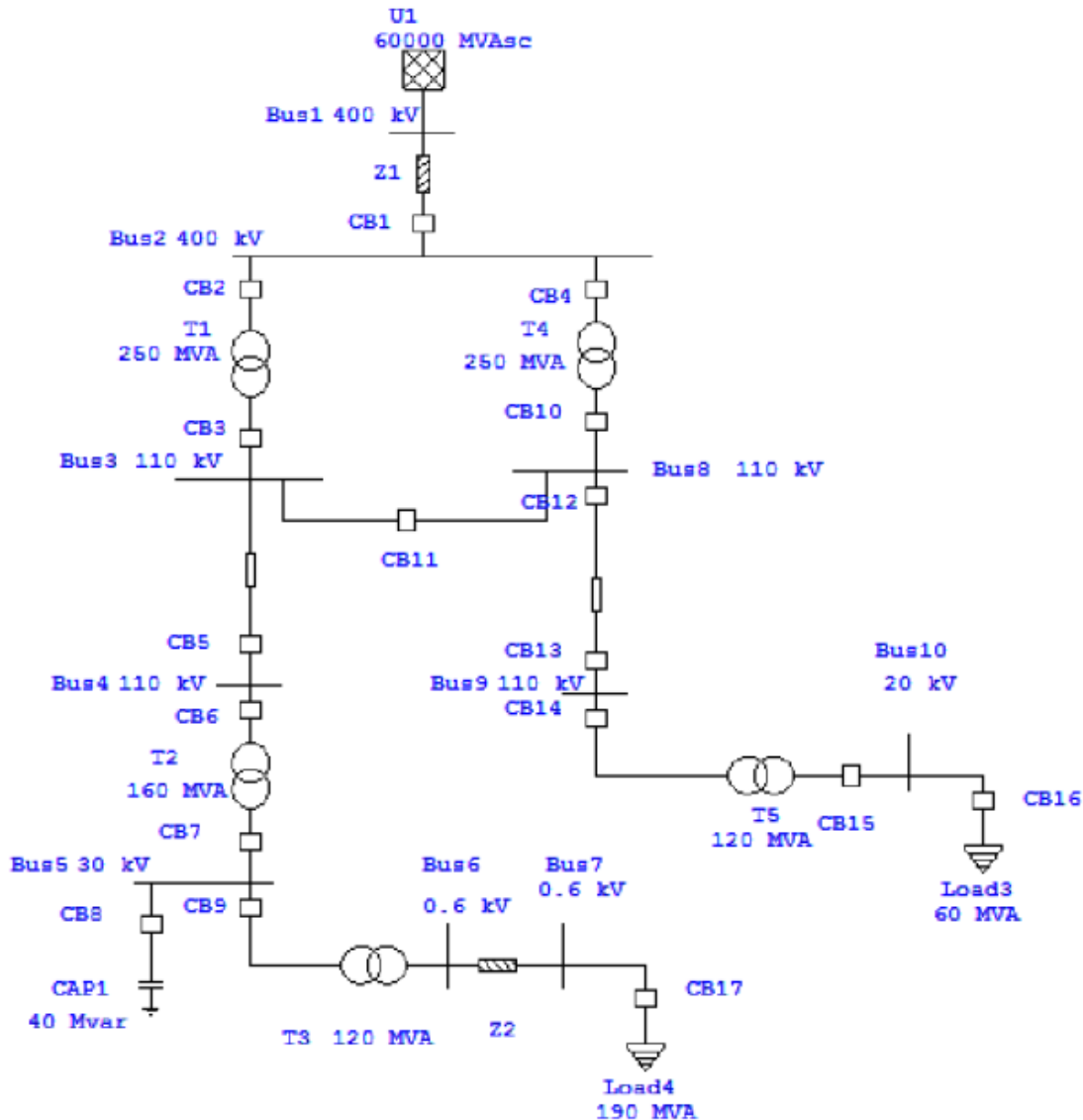


Figura 2. Schema analizată modelată în programul ETAP 12.6.

În tabelul 2 sunt indicate rezultatele obținute pentru toate cazurile studiate iar în figura 3 sunt indicate curbele de evoluție a indicatorului de flicker în funcție de puterea de scurtcircuit. Valorile obținute din calcul trebuie să fie comparate cu valorile admise prin standardele în vigoare (tabelul 1).

Analiza datelor din tabelul 2 pune în evidență următoarele aspecte:

– datorită valorii relativ reduse a puterii de scurtcircuit la bara de alimentare de 400 kV, în regim normal de funcționare cu ambele linii în funcțiune, nivelul indicatorului de flicker depășește valorile admise;

– la scoaterea din funcțiune pentru revizie a uneia dintre liniile de 400 kV care alimentează nodul analizat, valorile indicatorului de flicker ating niveluri deosebit de mari care afectează

calitatea energiei electrice la utilizatorii perturbați;

– în regimul normal de funcționare, în care cupla între barele de 110 kV este deschisă, utilizatorii conectați la barele de 110 kV Bus 8 au un nivel de perturbații practic egal cu cel de la barele de 400 kV (perturbația se propagă practic neatenuată spre nivelurile reduse de tensiune);

– în toate cazurile, utilizatorii conectați la bara de 110 kV, Bus 8 au un nivel superior valorilor admise;

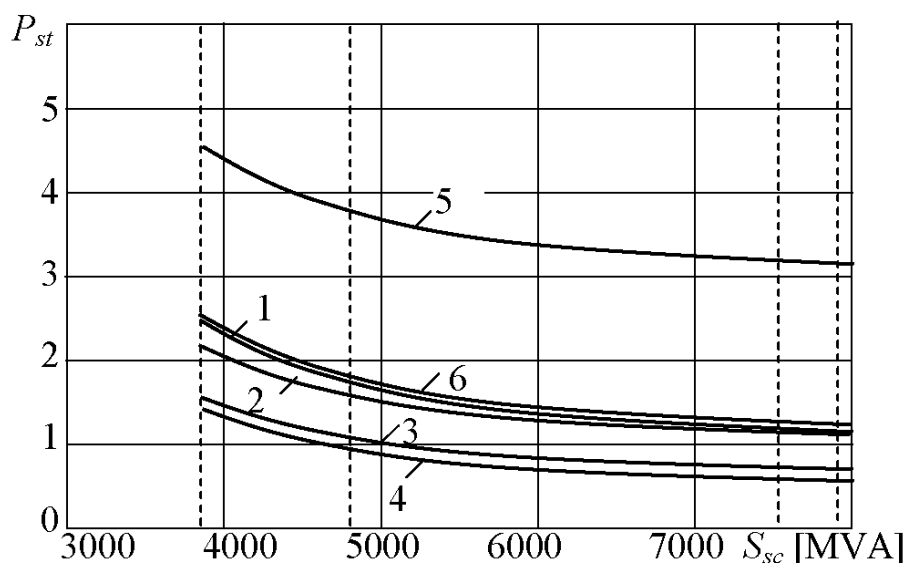
– conectarea cuplei între barele de 110 kV determină perturbații deosebit de mari pentru utilizatorii conectați la barele Bus 8;

– echipamentul SVC conectat la barele de 30 kV ale utilizatorului perturbator poate asigura reducerea nivelului perturbațiilor în toată schema, dar pentru cazul concret analizat nu asigură limitarea perturbațiilor la nivelurile admisibile; utilizarea unui echipament de tip STATCOM ar putea limita nivelul perturbației la valorile admisibile.

Tabelul 2

Variația indicatorului P_{st} în funcție de puterea de scurtcircuit

Puterea de scurtcircuit	Cupla 110 kV	Funcționare arc electric, fără SVC			Funcționare arc electric, cu SVC		
		Bus 2	Bus 3	Bus 8	Bus 2	Bus 3	Bus 8
7886 MVA	deschisă	1,12	5,44	1,1	0,84	2,77	0,72
	închisă	1,08	3,19	3,19	0,67	1,6	1,6
7540 MVA	deschisă	1,17	5,5	1,16	0,86	2,8	0,76
	închisă	1,13	3,24	3,24	0,71	1,63	1,63
4841 MVA	deschisă	1,76	6,07	1,73	1,17	3,2	1,18
	închisă	1,71	3,79	3,79	1,08	1,99	1,99
3859 MVA	deschisă	2,28	6,73	2,43	1,68	3,68	1,64
	închisă	2,4	4,46	4,46	1,56	2,44	2,44



1 – Bara Bus 2 de 400 kV, cupla de 110 kV deschisă, SVC neconectat; 2 – Bara Bus 2 de 400 kV, cupla de 110 kV închisă, SVC neconectat; 3 – Bara Bus 2 de 400 kV, cupla de 110 kV deschisă, SVC conectat; 4 – Bara Bus 2 de 400 kV, cupla de 110 kV închisă, SVC conectat; 5 – Bara Bus 8 de 110 kV, cupla închisă, SVC neconectat; 6 – Bara Bus 8 de 110 kV, cupla închisă, SVC conectat;

Figura 3. Variația nivelului de flicker în funcție de puterea de scurtcircuit în nodul de alimentare.

Observație: În cazul cuplei deschise, nivelul de flicker la bara 110 kV Bus 8 este practic același cu nivelul de flicker la bara de 400 kV, Bus 2.

3. PROPAGAREA PERTURBAȚIEI SUB FORMA FLUCTUAȚIILOR DE TENSIUNE ÎN REȚEAUA DE TRANSPORT DE ENERGIE ELECTRICĂ

Conectarea surselor de perturbație care determină fluctuații de tensiune în rețeaua de transport determină ca această perturbație să se propage pe distanțe mari față de nodul în care este conectat utilizatorul perturbator. Pentru a pune în evidență aria de influență a nodului perturbator a fost luată în considerație schema indicată în figura 4 pentru o zonă de 220 kV.

În stația Oțelărie este conectat un utilizator care determină importante perturbații sub formă de flicker ce se propagă în întreg sistemul de transport conectat la acest utilizator.

Analiza efectuată urmărește cunoașterea nivelului perturbației care ajung în nodurile sistemului și în mod special la sursele de

alimentare, pentru diferite moduri de alimentare a utilizatorului perturbator:

- liniile de 220 kV de la stațiile P și H conectate;
- stația Oțelărie alimentată numai prin linia de 220 kV din stația H;
- stația Oțelărie alimentată numai prin linia de 220 kV din stația P;
- grupul de la centrala conectată la Bus 34 este deconectat.

Utilizând programul ETAP 12.06 s-a realizat simularea schemei analizate (fig.5) și au fost efectuate calcule pentru determinarea variațiilor de tensiune care apar în diferite regimuri de funcționare.

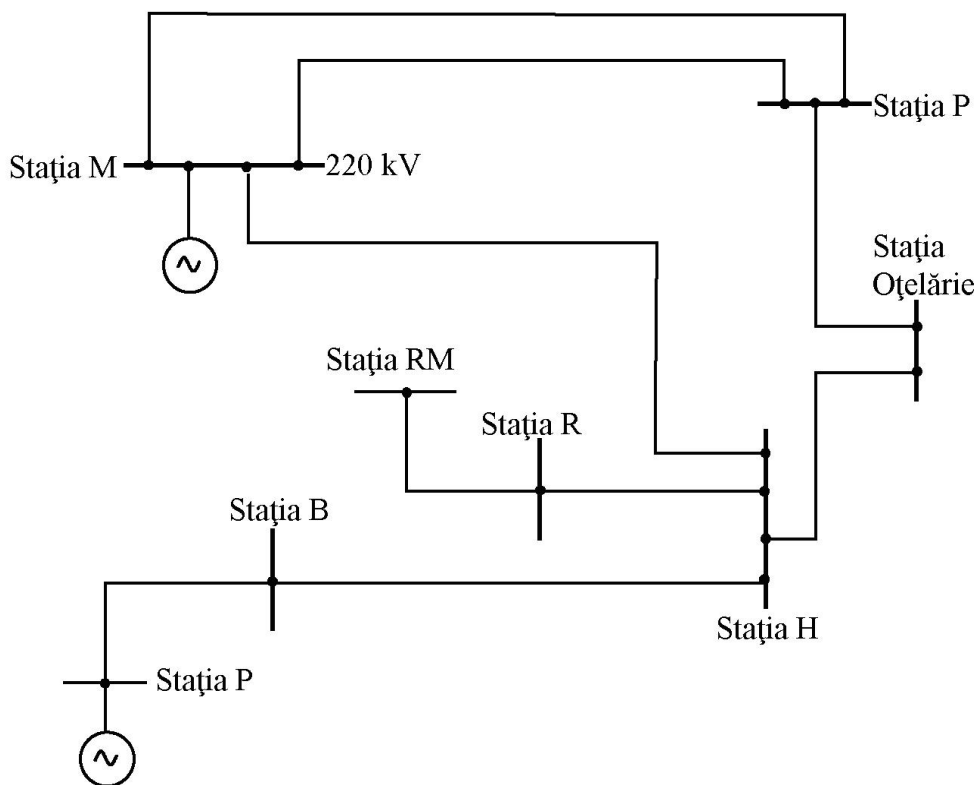


Figura 4. Schema zonei analizate.

Datele obținute (tabelul 3) permit alegerea configurației schemei de alimentare a Oțelăriei astfel încât în nodurile rețelei electrice de alimentare să rezulte valori acceptate ale nivelului de flicker sau să fie adoptate măsuri pentru limitarea perturbațiilor și încadrarea în limitele acceptate. Analiza efectuată a luat în considerație schema cu putere minimă de

scurtcircuit, la barele Bus 1 și Bus 34 fiind conectat câte un singur grup determinând o putere de scurtcircuit de 6223 MVA și respectiv 4747 MVA.

Tabelul 3

Valori ale indicatorului de flicker

Bara	Tensiunea pe durata funcționării utilizatorului ([%] din U_n)	Variația de tensiune ([%] din U_n)	P_{st}
Alimentare din Bus 2 și Bus 3			
Bus 1	98,811	1,189	1,32
Bus 2	98,298	1,702	1,89
Bus 3	98,049	1,951	2,17
Bus 5	99,198	0,802	0,88
Bus 6	98,049	1,951	2,17
Bus 7	97,352	2,648	2,94
Bus 34	99,666	0,334	0,37
Alimentare numai din bara Bus 3			
Bus 1	98,850	1,15	1,28
Bus 2	98,532	1,468	1,63
Bus 3	97,76	2,24	2,49
Bus 5	99,061	0,39	0,44
Bus 6	97,76	2,24	2,49
Tabelul 3 (continuare)			
Bus 7	96,673	3,327	3,7
Bus 34	99,606	0,394	0,44
Alimentare numai din bara Bus 2			
Bus 1	98,721	1,279	1,42
Bus 2	97,851	2,149	2,38
Bus 3	98,536	1,464	1,65
Bus 5	99,429	0,571	0,63

Bus 6	98,536	1,464	1,63
Bus 7	95,192	4,81	5,34
Bus 34	99,767	0,233	0,26
Alimentare din Bus 2 și Bus 3, centrala de la bara 34 nu este în funcțiune			
Bus 1	98,56	1,44	1,6
Bus 2	97,964	2,036	2,26
Bus 3	97,616	2,384	2,65
Bus 5	97,901	2,4	2,67
Bus 6	97,616	2,384	2,65
Bus 7	96,950	3,05	3,39
Bus 34	97,935	2,065	2,29

Depășirea nivelului de flicker la bara Bus 1 220 kV se transmite la bara 400kV a centralei și se propagă la distanțe mari în rețeaua de transport. De asemenea, din Bara Bus 1 a stației sunt alimentate și alte linii astfel că perturbația ajunge la distanțe mari față de locul producerii acesteia.

La data intrării în funcțiune a utilizatorului Otelărie, studiul de conectare la sistem a acestuia a considerat că în stația Bus 1 erau în funcțiune 4 grupuri, care determinau o putere de scurtcircuit mult superioară valorilor actuale.

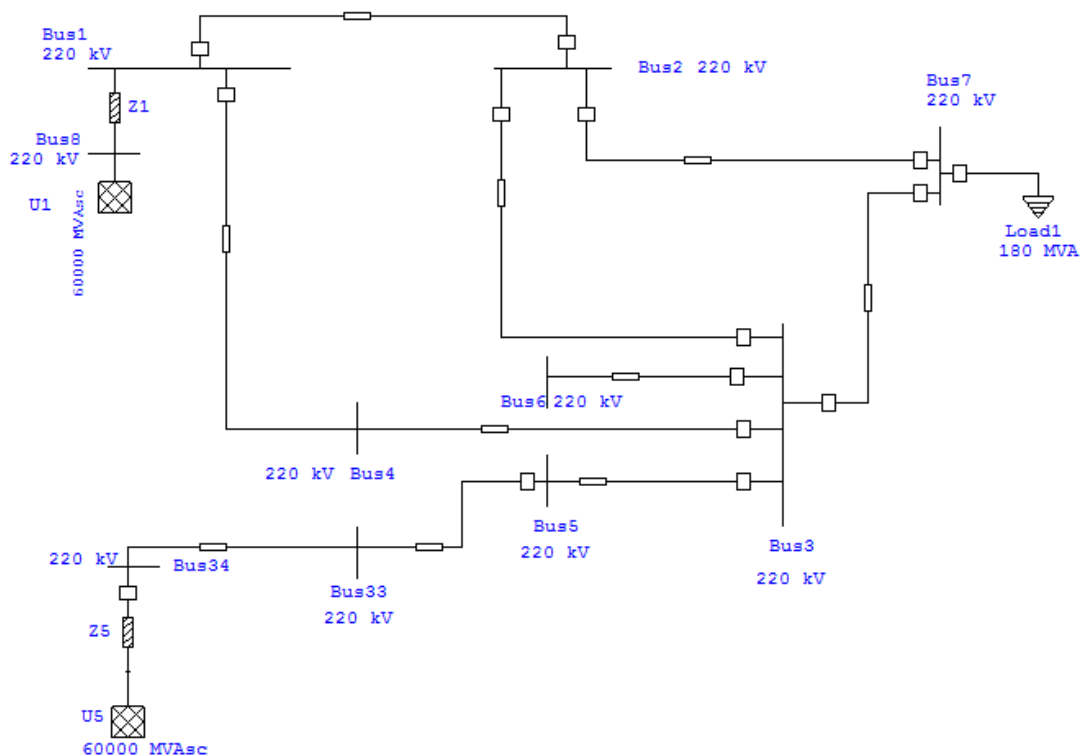


Figura 5. Schema de calcul a zonei utilizate.

Datele de calcul au fost validate prin măsurări la barele analizate. În tabelul 4 sunt indicate valori măsurate ale indicatorului de flicker pe termen scurt P_{st} la bara Oțelărie.

Tabelul 4

Valori măsurate ale indicatorului de flicker în stația 220 kV Oțelărie

	Fazele A, B, C
$P_{st,95\%}$	3,46 /3,67 /3,41
$P_{it,95\%}$	2,75 /2,93 /2,82

Din analiza datelor determinate se observă faptul că nivelul perturbației în stațiile apropiate electric de utilizatorul perturbator depășesc limita admisă, fiind dependente de structura rețelei de alimentare din zonă și de numărul de grupuri conectate în centralele electrice apropiate. Valorile cele mai ridicate și care sunt în afara limitelor admise sunt înregistrate la barele Bus 2 și Bus 3 din care este alimentată stația 220 kV Oțelărie. Valori mari ale perturbației se propagă în rețeaua de transport în cazul în care deconectarea unei surse conduce la reducerea puterii de scurtcircuit și deci a rigidității nodurilor din sistem.

4. Concluzii

Modificarea structurii surselor de generare a energiei electrice datorată reducerii nivelului energiei utilizate, a funcționării pieței de energie bazată pe costuri și mai puțin pe criterii tehnice precum și conectarea surselor regenerabile a determinat modificarea importantă a puterilor de scurtcircuit în noduri (cu până la 40///50%) în care sunt conectați utilizatori perturbatori. Astfel că dacă în faza de proiectare a obiectivului (înainte de 1990) nu apăreau probleme privind calitatea energiei electrice în prezent nivelul perturbațiilor care se propagă în sistem poate

afecta calitatea energiei electrice furnizată altor utilizatori din sistem.

Menținerea indicatorilor de calitate în limitele acceptate necesită ca, în funcție de structura posibilă a rețelei în zona utilizatorilor perturbatori, să se aleagă de către Operatorul de rețea acea configurație care conduce la perturbații minime la barele la care sunt alimentați alte sarcini (surse sau utilizatori).

Modificările în structura sistemului de energie dar și modificările tehnologice în procesele specifice utilizatorului perturbator necesită monitorizarea indicatorilor de calitate și avertizarea operatorului de distribuție la ieșirea din limitele admise pentru calitatea energiei electrice [3, 4]. Este deci necesar ca la stabilirea schemei de funcționare a SEN să se ia în considerare efectele asupra modificării rigidității nodurilor în zonele cu utilizatori perturbatori.

Bibliografie

- [1] Hermina Albert ș.a., *Calitatea energiei electrice. Contribuții. Rezultate. Perspective*, Editura AGIR, București, 2013.
- [2] Assessment of emission limits for the connection of fluctuating load installation to MV, HV and EHV power systems, IEC 61000-3-7/2008.
- [3] Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and measurement techniques – Flickermeter – Functional and design specifications, IEC 61000-4-15:2009.
- [4] Electromagnetic compatibility (EMC): Testing and measurement techniques – Power Quality Measurement Methods, IEC 60000-4-30/2012.

Despre autori.



Albert Hermina - Senior Consulting Engineer to the Institute for Studies and Power Engineering – (ISPE) Bucharest.

Her main activities were related to technical consulting, project management, basic and detail engineering in the fields of: power generation, power system, power transmission and distribution. She is the author of 10 original books in power fields, more than 250 articles of which 40 in foreign magazines and conference books.



Golovanov Nicolae - Profesor dr.ing. la catedra Sisteme Electroenergetice, facultatea Energetică, Universitatea Politehnica din București, specialist în domeniul utilizării eficiente a energiei electrice și în domeniul calității energiei electrice, autor, prim autor sau coautor la un număr de peste 30 cărți sau tratate. Are peste 100 lucrări științifice publicate în reviste de specialitate din țară și străinătate.