

ACCESSIBILITY AND CONSTRAINTS IN THE PROCESS OF RENEWAL THE ENERGY INFRASTRUCTURE TO REDUCE CARBON EMISSIONS

ACCESIBILITATE ȘI CONSTRÂNGERI ÎN PROCESUL DE ÎNNOIRE A INFRASTRUCTURII ENERGETICE PENTRU REDUCEREA EMISIILOR DE CARBON

Daniel CRACIUN¹, Nicolae GOLOVANOV²

Abstract: *There are several possible models for the development of intelligent networks, which can, each of one, represent a conceptual prototype of systems or portions of future energy systems. The article presents some examples illustrating as many possible ways of evolution towards a higher stage as multi-microgrid (multi-microgrid). There are ways in which, at the theoretical and practical level, optimal solutions are sought for integrating distributed generation, large-scale electro-mobility, demand response technologies, making full use of the benefits of digitization, modern communication and transfer systems data.*

Keywords: Energy infrastructure, electricity networks, carbon emissions, reconversion

Rezumat: *Există mai multe modele posibile de dezvoltare a rețelelor inteligente, care pot reprezenta, fiecare, un prototip conceptual al unor sisteme sau porțiuni ale viitoarelor sisteme energetice. Articolul prezintă câteva exemple care ilustrează tot atâtea moduri posibile de evoluție către o etapă superioară, aceea de **multi-microgrid** (multi-microrețele). Sunt moduri în care, la nivel teoretic și practic, se caută soluții optime de integrare a generării distribuite, a electro-mobilității pe scară largă, a tehnologiilor de tip demand response, a utilizării la maximum a avantajelor digitalizării, a sistemelor moderne de comunicații și transfer de date.*

Cuvinte cheie: Infrastructură energetică, rețele electrice, emisii de carbon, reconversie

¹ Ph.D. eng. SDEE Muntenia Nord SA, email: daniel.craciun@distributie-energie.ro

² Ph.D. Professor University POLITHNICA of Bucharest, email: nicolae_golovanov@yahoo.com

1. Introducere

Tranziția sectorului energie impusă de preocupările privind amprenta de carbon a instalațiilor energetice va avea un impact major și asupra infrastructurii energetice, atât în adaptarea instalațiilor existente cât și la realizarea unor noi obiective. De fapt, importante schimbări în structura economică, dezvoltarea sistemelor de generare distribuită, creșterea masivă a ponderii surselor regenerabile de energie în structura sistemelor de generare a energiei electrice, creșterea necesarului de energie electrică prin creșterea ponderii energiei electrice în totalul energiei utilizate în țară, au condus la efectuarea de studii privind realizarea unei distribuții eficiente și flexibile a energiei spre utilizatori.

În cadrul lucrării sunt analizate principalele aspecte legate de adaptarea infrastructurii actuale dar și de soluții de viitor care să asigure o bună observabilitate a rețelei, posibilitatea de conectare a tuturor tipurilor de surse (inclusiv sistemele de stocarea), asigurarea unei calități superioare a energiei electrice furnizate utilizatorilor.

2. Necesitatea unui plan de acțiune privind infrastructura energetică

Infrastructura energetică actuală a fost construită pe parcursul multor ani, cu investiții importante și cu obiective bine precizate (alimentare zone urbane și industriale, alimentare platforme industriale etc.). Odată cu creșterea necesarului de energie electrică, a schimbărilor în structura economică a țării, a noilor concepte privind alimentarea cu energie (utilizatori activi, microrețele, centrale virtuale), prin trecerea de la producția centralizată la producția distribuită prin utilizarea surselor locale de energie, a tranziției spre noile surse de energie legate de decarbonarea sistemelor de energie, apare necesară adaptarea structurii actuale la noile realități.

Modul în care gestionăm infrastructura existentă va influența puternic viteza procesului de reducere a emisiilor de carbon, eficiența procesului, și căile prin care se va reuși această tranziție. Infrastructura existentă poate juca un rol important, dar este necesară o viziune coordonată a modului în care va fi integrată în agenda mai largă a tranziției în domeniul energiei.

Consiliul Mondial al Energiei a elaborat un set de principii pentru elaborarea unui *Plan de Acțiune privind Infrastructura* [1] astfel încât dezafectarea sau reutilizarea unor active să fie realizată având în vedere obiectivul amplu al reducerii emisiilor de carbon. Va fi infrastructura

existentă o povară sau un atu în atingerea acestui obiectiv? Principiile elaborate se bazează pe interviuri cu liderii din energie din întreaga lume, completate cu cercetarea diferitelor surse.

De asemenea, o mare parte dintre amplasamentele actuale de combustibili din surse fosile, dar și de centrale electrice vor atinge durata lor de viață, încât se pune problema modificării structurii rețelei de transport pentru a se adapta la o nouă configurație a sistemului. Crearea unui nou sistem energetic, adaptat cerințelor viitorului și în special imperativului reducerii drastice a emisiilor de carbon, trebuie să se realizeze prin reducerea la minimum a costurilor și reducerea riscului de pierderi în cascadă.

Documentele Comisiei Europene [2] stabilesc obiectivele pentru anul 2050, dezvoltarea unui sistem energetic re tehnologizat și digitalizat și integrarea energiei din surse regenerabile fiind o parte importantă a orientărilor strategice ale Uniunii Europene. Regândirea și re tehnologizarea sistemului energetic implică transformări profunde, respectiv, contorizarea inteligenta, integrarea surselor regenerabile și distribuite de energie, instalații de stocare a energiei, utilizarea transformatoarelor, a echipamentelor electrice și a conductoarelor cu pierderi reduse.

Desigur că utilizarea rațională a structurilor actuale pentru dezvoltarea noilor sisteme determină importante oportunități economice, asigurând posibilitatea unei tranziții către economia viitoare. Un rol important în modificarea structurii actuale a rețelelor de transport și distribuție îl au modificările aduse în etapa actuală de tranziție a sistemelor de energie. Apar noi surse de energie și noi tehnologii care trebuie să fie integrate. Tranziția trebuie să fie anticipată și prin elaborarea schemelor corespunzând structurilor noi sau up-gradarea celor existente; tranziția trebuie privită ca o oportunitate.

Noile topologii ale rețelelor electrice vor permite atât rezolvarea problemelor actuale cât și o dezvoltare în viitor prin:

- infrastructura care să asigure optimizarea funcționării participanților la sistemul energetic, producători sau utilizatori, în sistem centralizat sau distribuit;

- asigurarea condițiilor pentru utilizarea eficientă a surselor regenerabile;

- promovarea generării distribuite a energiei;

- interconectarea noilor structuri distribuite a surselor și a utilizatorilor.

Dezvoltarea rețelelor de distribuție incluzând surse regenerabile de energie cu producție volatilă, prezența sistemelor de stocare a energiei electrice, exigențele crescute privind calitatea energiei electrice furnizată utilizatorilor precum și preocupările privind reducerea pierderilor la transferul

de energie prin rețeaua de distribuție a determinat elaborarea de noi soluții, în care sistemele moderne de comandă, control și comunicație au un rol important.

Principalele dezvoltări preconizate pentru viitoarele configurații ale sistemelor de distribuție sunt [3] :

a) utilizarea largă a surselor regenerabile de energie electrică cu producție intermitentă; se consideră că până în anul 2030 peste 50% din energia electrică utilizată să provină de la sursele regenerabile;

b) creșterea ponderii surselor distribuite de energie, cu conectarea acestora în rețeaua de distribuție, ceea ce implică transferul unor activități de control în sistem de la nivelul rețelei de transport la nivelul rețelei de distribuție;

c) valorificarea surselor locale de energie și creșterea ponderii surselor de putere relativ redusă;

d) creșterea necesarului de energie electrică și reducerea amprentei de carbon a sectorului energie prin dezvoltarea transportului electric, încălzirea și răcirea folosind echipamente electrice, creșterea ponderii proceselor electrotermice în industrie;

e) dezvoltarea sistemelor de stocare a energiei electrice care vor oferi soluții eficiente ca surse de rezervă și pentru adaptarea producției intermitente la graficul de sarcină al utilizatorilor;

f) creșterea gradului de observabilitate a rețelei electrice prin utilizarea unui mare număr de senzori specifici și includerea acestora într-un sistem eficient de control și monitorizare a rețelei;

g) dezvoltarea sistemelor de comunicație și de transfer de date va asigura un răspuns rapid la evenimente și flexibilitate în gestionarea rețelei.

3. Structuri posibile ale rețelelor inteligente

Odată cu amplificarea preocupărilor privind decarbonarea sistemului energetic prin utilizarea locală a energiei (în principal, energie solară sau eoliană) se dezvoltă structuri sub forma microrețelor (fig. 1), construite în special la joasă tensiune, în care sunt utilizate surse locale de tipul panourilor fotoelectrice, surse eoliene, generatoare antrenate de motoare Diesel (pentru a asigura prin cogenerare alimentarea cu căldură a locuitorilor din zonă), sisteme de stocare, receptoare comandabile, sisteme de alimentare a vehiculelor electrice, astfel că un utilizator poate să-și asigure necesarul său de energie electrică și să transmită în microrețeaua care poate cuprinde mai mulți utilizatori activi (dotați cu panouri PV și sisteme de stocare a energiei

electrice) surplusul de energie. Microrețeaua are și posibilitatea conectării la rețeaua electrică publică pentru a primi necesarul suplimentar de energie sau pentru a transmite excedentul de energie.

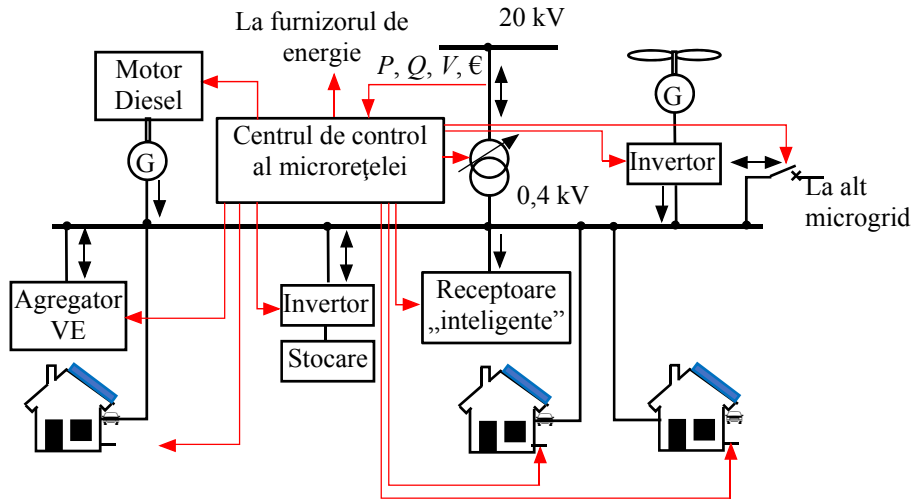


Figura 1. Circuitele de putere și circuitele informatice într-un microgrid.

Managementul surselor și al receptoarelor este realizat de la un centru de control care urmărește utilizarea optimă a surselor de energie, în condițiile realizării unui preț al energiei generate cel mult egal cu prețul de pe piața de energie electrică.

Dezvoltarea microrețelelor și posibilitățile oferite de sistemele actuale de comunicație permite trecerea la o etapă superioară de *multi-microgrid*, care include mai multe microrețele, cu unități de generare distribuite, sisteme de stocare a energiei electrice, receptoare controlabile. Microrețeaua poate fi considerată ca un ansamblu energetic care urmărește să utilizeze resursele locale într-un mod optim. Implementarea unui concept multi-microgrid implică integrarea tehnică și comercială a multi-microgridurilor, adică interconectarea mai multor microrețele cu sistemele de distribuție din amonte și operarea piețelor descentralizate pentru servicii energetice și auxiliare.

Managementul și controlul multi-microrețelor implică existența unei structuri de dispecer de ansamblu și un amplu sistem de comunicație cu dispecerii microrețelelor, pentru a asigura funcționarea optimizată a sistemului. Odată cu creșterea ponderii surselor intermitente, creșterea necesarului de energie electrică determinată de creșterea ponderii încălzirii

electrice și a transportului electric, dar și a posibilităților oferite de utilizatorii DR (*demand response*) care acceptă să-și modifice sarcina și apariția circuitelor cu fluxuri bidirecționale de energie, în sistemele de energie apar probleme complexe care trebuie rezolvate pentru a asigura nivelurile acceptate de tensiune în nodurile rețelei și a frecvenței în întregul sistem energetic. Un rol important, în acest caz, îl are activarea rapidă a surselor de rezervă și a surselor flexibile, pe baza informațiilor oferite de sistemele eficiente de măsurare. Pentru rezolvarea problemelor care apar în sistemele moderne, cuprinzând rețele active cu surse distribuite (eoliene, solare, sisteme de stocare) ELECTRA a propus un concept privind descentralizarea sub formă de celule (*Web-of-Cells*) – figura 2 – în care controlul în timp real a tensiunii și frecvenței este descentralizat și delegat operatorilor de zonă (a celulelor) cu rol asemănător operatorilor de distribuție și a operatorilor de sistem [3, 4].

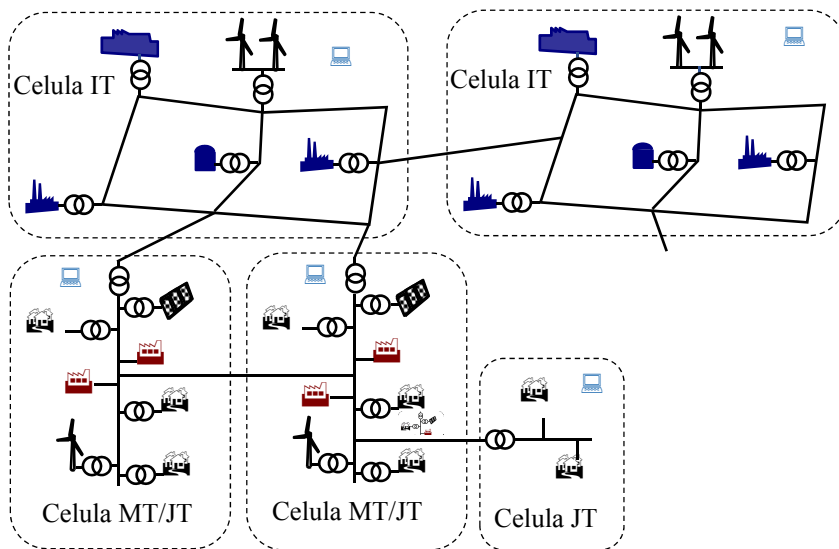


Figura 2. Structura sub formă de celule a sistemului energetic.

Sistemele fractale [3, 5, 6] (fig.3), dezvoltate prin asamblarea recursivă a unor clădiri inteligente, microrețele, orașe inteligente, rețele de distribuție cu structuri asemănătoare pot asigura posibilitatea optimizării organizării spațiale a structurii rețelelor urbane. Structura fractală este aproape omniprezentă în natură, pentru că natura se organizează cu eficiență maximă urmând anumite tipare de dezvoltare, valabile în mare măsură atât la nivel mic, al lanțurilor de molecule, cât și la nivel cosmic. Teoria fractală profită de dinamica scalei și

de dinamica de auto-organizare a energiei și materiei la toate nivelurile ierarhiei, de la celule și organisme la Univers ca întreg și constată existența unei forme de evoluat de simetrie globală. Rețelele electrice de distribuție pot fi considerate terenul de dezvoltare al unor concepte bazate pe matematica fractalilor. Structurile fractale permit realizarea unor sisteme flexibile, ușor controlabile, reziliente și interoperabile, cu funcționare sigură și eficientă, fiind destinate în special rețelilor inteligente de joasă tensiune. Conceptul poate fi implementat în special la dezvoltări de noi rețele de alimentare.

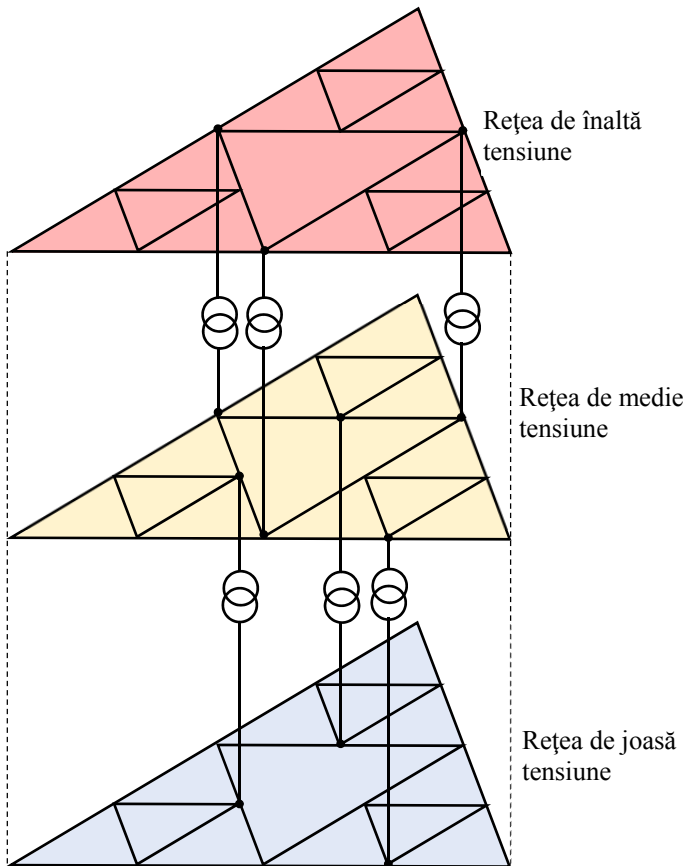


Figura 3. Structura fractală a unui sistem energetic.

Sistemul energetic autonom este o nouă concepție complet integrată și distribuită de control care autogestionează și optimizează toate deciziile operaționale ale rețelei în timp real. Pentru a realiza acest lucru, sunt efectuate studii pentru a stabili nivelul realizabil al controlului distribuit (sau

echilibrul dintre controalele distribuite, centralizate și ierarhice) și impactul acestuia asupra deciziilor privind investițiile, reziliența, riscul, participarea și controlul utilizatorilor, într-un sistem transnațional interconectat.

Rețeaua Faraday este o arhitectură care permite controlul transferului de putere în rețeaua electrică [7]. Tehnologia Rețea Faraday este dezvoltată pentru a asigura controlul fluxurilor de putere, integrarea surselor regenerabile, a surselor distribuite, într-un mod sigur și controlabil, odată cu creșterea stabilității sistemului, reducerea costurilor cu controlul rețelei, o adaptare continuă și autonomă la variații în sistemul energetic, urmărind realizarea unui bilanț optim. Tehnologia asigură un control al circulației de putere și menținerea automată a tensiunii și a nesimetriei în rețea.

Un astfel de sistem poate fi realizat prin montarea pe linii a unor instalații de tipul IPFC (*interline power flow controller*) care permit conectarea în serie cu linia a înfășurării unui transformator comandat (fig. 4) [8].

Valoarea tensiunii ΔU determinată de înfășurarea transformatorului T_1 , conectată în serie cu linia poate fi modificată în limite largi prin controlul repartiției tensiunii între înfășurarea primară a transformatorului T_1 și a bobinei T_2 controlată cu curent electric continuu.

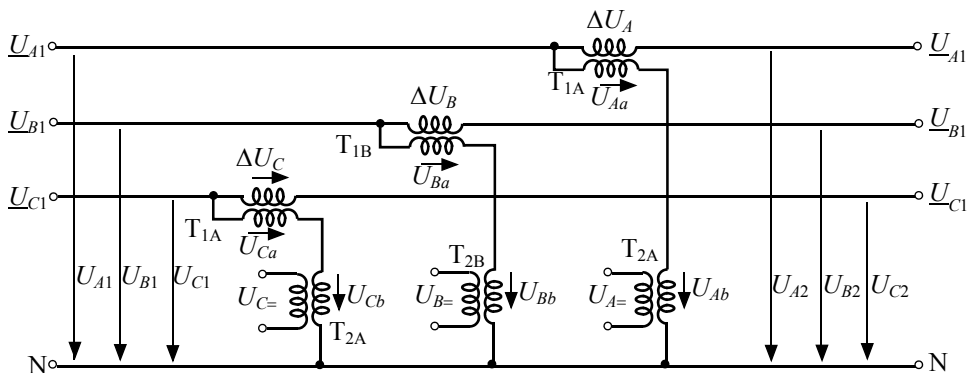


Figura 4. Schemă pentru controlul circulației de putere pe liniile electrice.

Se consideră faptul că tehnologia Rețea Faraday pentru controlul circulației de putere prezintă următoarele avantaje față de tehnologia actuală:

- creștere cu 80% a posibilităților de integrare a surselor regenerabile;
- reducerea cu 34% a necesarului de putere reactivă;
- creșterea cu 25% a capacității de transfer a rețelei electrice;
- reducerea cu 7% a pierderilor de energie;

Modelele de dezvoltare viitoare urmăresc realizarea unor deziderate în privința optimizării structurii și topologiei rețelelor, încorporând tehnologii și concepte inovative, cum ar fi:

a) Realizarea topologiei optime a rețelelor de tip multi-microgrid interconectate, care să integreze în mod flexibil și adaptativ generarea distribuită, indiferent de tipul tehnologiei folosite, de dimensiunea sau amplasarea fizică a sursei;

b) Un concept conducere cu arhitectură optimizată pe nivelurile ierarhice și realizarea scalabilității sistemului.

c) Modalități rapide de eliminare a întreruperilor, avariilor și perturbațiilor în calitatea energiei electrice; reconfigurarea optimă a rețelei atunci când este necesar din punct de vedere operațional;

d) Scăderea consumului propriu tehnologic, folosirea celei mai eficiente scheme pentru transferul energiei electrice între surse și utilizatori sau în punctele de schimb;

e) Tratatamentul nediscriminatoriu al participanților la funcționarea sistemului, oferind opțiuni avansate de configurare a curbei de sarcină și de tranzacționare a energiei pentru toți participanții, în funcție de tehnologiile și capabilitățile fiecăruia;

f) Prognoza de dezvoltare a surselor și a punctelor de utilizare și optimizarea costurilor de conectare a noilor utilizatori.

Schimbarea structurii rețelelor este o necesitate de netăgăduit, ne îndreptăm către acest punct în mod determinat de cerințele de eficiență energetică, calitate a distribuției energiei electrice și prin utilizarea din ce în ce mai intensă a noilor tehnologii, a integrării tehnologiilor informatice în toate componentele lanțului energetic. Era evident de multă vreme că rețelele electrice dezvoltate și conduse după principii centralizate vor trece printr-o transformare profundă sub presiunea noilor cerințe, atât din partea utilizatorilor cât și a producătorilor.

Pe lângă tehnologiile electronice și informatice se produc schimbări de substanță la nivelul materialelor pentru celule solare mai eficiente, instalații de înaltă tensiune compacte, protecții electrice mai performante. Regândirea și retehnologizarea sistemului energetic implică transformări profunde, incluzând contorizarea inteligentă, utilizarea de noi transductoare pentru achiziția informațiilor privind tensiunea și curentul electric, integrarea surselor regenerabile și distribuite de energie, dispozitive de stocare a energiei, utilizarea transformatoarelor, a echipamentelor electrice cu pierderi reduse.

Dezvoltarea rețelelor de distribuție spre sisteme distribuite sub forma micro, mini sau multi-microrețele care includ surse regenerabile, sisteme de

stocare a energiei și receptoare comandabile impune dezvoltarea unui sistem adecvat de management care să gestioneze eficient cele 4 surse de energie: sursele regenerabile, sistemele de stocare a energiei, receptoarele comandabile și legătura la rețeaua electrică publică. Apariția transformatoarelor electronice (fig. 5) care asigură separarea din punctul de vedere al frecvenței de rețeaua electrică publică necesită elaborarea de noi criterii de calitate a energiei furnizată utilizatorilor și noi reguli de funcționare a interfeței dintre rețeaua publică și noile structuri de rețea.

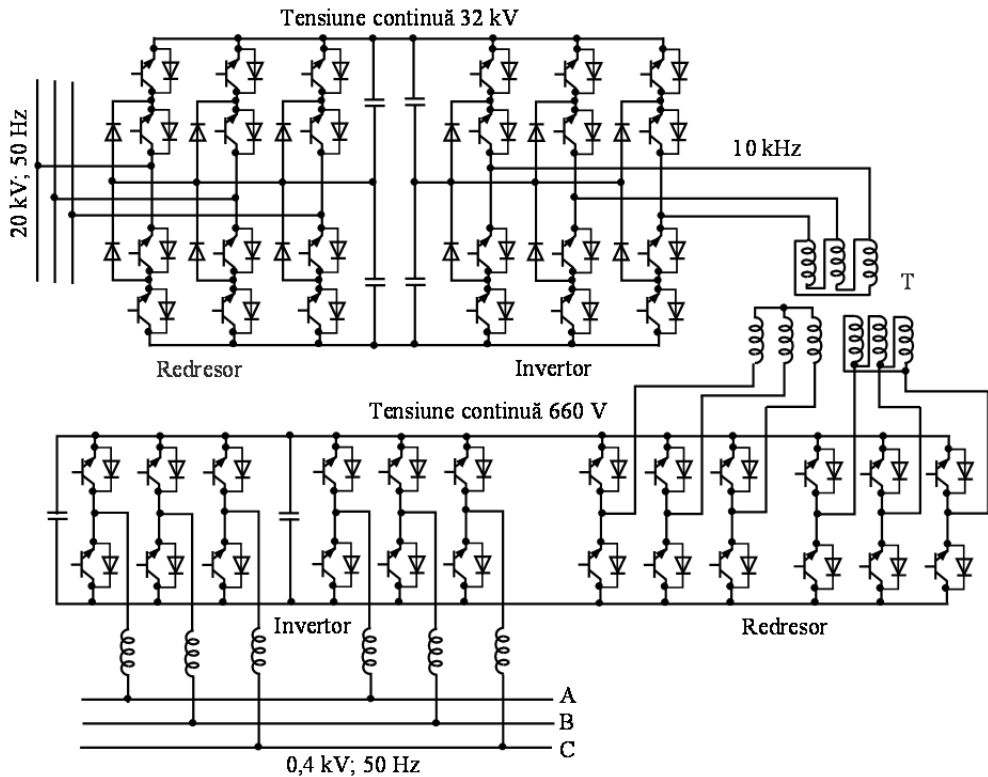


Figura 5. Transformator electronic MT/JT.

Din punctul de vedere al cererii de energie electrică, va exista o pondere mai mare a vehiculelor electrice. Totodată se va pune accentul pe stocarea energiei electrice în baterii lithium-ion pentru aplatizarea curbei de sarcină sau a altor dispozitive controlabile de la distanță care pot interveni în funcție de starea sistemului, de prețul energiei electrice sau de decizii/prognoze. Există evident și alte tehnologii de stocare care pot deveni

competitive la un moment dat: *flywheel* (volant), baterii nichel-cadmiu, stocare gravitațională, aer comprimat ș.a. În mod cert înlocuirea infrastructurii existente cu o alta, adaptată nevoilor viitoare, va fi rezultatul unui salt tehnologic, a unei adevărate revoluții rezultând din acumulări pe multiple planuri.

4. Importanța adoptării soluțiilor creatoare de reconversie a infrastructurii existente

Este neîndoielnic că, la ora actuală, premisele tehnologice ale noului tip de ecosistem energetic au apărut deja. Modelul sau modelele de rețele ale viitorului au căpătat consistență atât sub aspect conceptual cât și din punct de vedere practic. Există numeroase proiecte pilot și oferte de sisteme ale tuturor marilor furnizori, însă dorim să aducem în atenție direcțiile de dezvoltare viitoare în contextul evidențiat de ultimele rapoarte WEC privind „Marea tranziție” [1].

Noua paradigmă a energiei se caracterizează prin ritmul accelerat al creșterii necesarului de energie electrică la utilizatorul final, creșterea ponderii ecosistemelor energetice controlate digital, prin centre pentru servicii de date și apariția unui nou agent: utilizatorul activ (proconsumatorul energetic ca utilizator care deopotrivă utilizează și produc energie). Este evidentă trecerea de la generarea centralizată și monopolul integrat pe verticală către descentralizare, digitalizare, clustere energetice, microrețele, interconectarea și diversificarea opțiunilor de achiziție și stocare a energiei.

Consiliul Mondial al Energiei a realizat pe baza analizei interviurilor aprofundate cu lideri ai domeniului din întreaga lume și pe baza cercetărilor proprii, ultimul raport care aduce în discuție în ce măsură infrastructura existentă, poate fi reutilizată, reconversită. *„Infrastructura actuală a fost construită pentru a reflecta cerințele de fiabilitate și costuri scăzute. Aceste cerințe s-au schimbat acum pentru a include sustenabilitatea în raport cu mediul. Actuala infrastructură nu este, în esență, compatibilă cu imperativul sustenabilității și cu actualele aspirații sociale și economice ”* (Richard Dowling de la Faraday Grid).

Majoritatea activelor existente în infrastructura energetică au fost proiectate și construite pentru a dura zeci de ani. Aceste active au funcționat împreună cu modelul de afaceri și de societate care le era asociat; este cât se poate de natural ca schimbările în tehnologii, modele de afaceri și politicile guvernamentale pe parcursul vieții lor să le afecteze. Până în prezent, aceste schimbări erau pur și simplu o evoluție a modelului existent de producție,

transport, distribuție și utilizare de energie, în condițiile în care societatea a cunoscut o creștere rapidă privind cererea de energie, satisfăcută prin utilizarea combustibililor fosili ca purtător primar de energie și generarea centralizată a energiei electrice.

Tranziția energetică determină acum un salt mult mai amplu în ceea ce privește prosperitatea economică, progresul tehnologiilor, politicile comerciale și de mediu. Este o trecere de la valorile de bază ale securității, fiabilității și robusteții pe care au fost construite sistemele energetice existente, către noi valori, respectiv, sustenabilitate, flexibilitate și accesibilitate, permise de un model complet nou de producție, distribuție și utilizare de energie. În cadrul acestui fenomen, trebuie să fie găsite cele mai creative modalități de a utiliza activele energetice existente, pe măsură ce dorim să trecem la un sistem cu emisii scăzute de carbon. Nu va fi suficientă abordarea pur tehnică de specialitate, pentru valorificarea optimă a activelor existente, va fi necesară o abordare creatoare care să combine resurse inteligente din mai multe specialități, respectiv, ecologie, arhitectură peisagistică și urbanism, biotehnologie, agricultură, suplimentar față de energetică.

Spre exemplu, ne putem gândi la reutilizarea spațiului vast aferent unei vechi termocentrale în cadrul unui proiect complex care ar urma să înglobeze energie din surse regenerabile, spații de producție agricolă în sere utilizând noi tehnologii de creștere a plantelor, zone dedicate cercetării și învățământului universitar, microproducție, laboratoare de analize și testare. Întreaga zonă se poate transforma într-un *microgrid* având producție și utilizare, fiind sustenabilă prin noile activități și afaceri atrase. Succesul reconversiei cât mai creatoare a activelor existente devine condiția implicită a tranziției energetice rapide și de succes.

Dacă infrastructura existentă a fost privită uneori ca un obstacol, această abordare trebuie să se schimbe, ea trebuie să fie considerată o resursă. Costurile defecției complete sau a abandonării infrastructurii existente pot fi atât de mari încât tranziția energetică să devină extrem de costisitoare și greu de acceptat pe plan social. Un asemenea scenariu ar duce inevitabil la încetinirea înnoirilor necesare reducerii emisiilor de carbon, ceea ce ar putea avea consecințe dezastruoase. De aceea, este nevoie de o preocupare deosebită și creatoare pentru a planifica rolul infrastructurii existente în viitoarele sisteme energetice. Guvernele naționale și părțile interesate de energie ar trebui să co-dezvolte un plan de acțiune dedicat infrastructurii energetice, pentru a se identifica cele mai bune oportunități de valorificare, în vederea alinierii producției și distribuției de energie la cerințele de reducere a emisiilor de carbon. În Europa, pe lângă guvernele

naționale, factorii politici europeni vor juca un rol-cheie pentru elaborarea planului de infrastructură energetică pentru a asigura coerența pentru toate țările.

5. Concluzii

În final este prezentat un citat al unuia dintre specialiștii de prestigiu consultați la elaborarea raportului WEC (CME) și anume Yuri Freedman, de la Southern California Gas Company:

„Infrastructura energetică existentă este un portofoliu valoros de active care a fost planificat, dezvoltat și construit pe parcursul multor decenii. Adaptarea și reutilizarea acestor active are de jucat un rol important în tranziția globală la un mix energetic cu emisii reduse de carbon. Utilizarea activelor existente, care este de obicei mai puțin costisitoare decât construirea unora noi, permite reducerea costurilor, ceea ce este esențial pentru acceptarea socială largă a tranziției energetice”.

REFERENCES

- [1] *** WEC, *ENERGY INFRASTRUCTURE*, “Affordability Enabler or Decarbonisation Constraint?,” Innovation Insights Brief 2019;
- [2] *** *European Commission*, „Energy Roadmap 2050”, Brussels, 2012.
- [3] *Kariniotakis G.ș.a.*, „Challenges, innovative architectures and control strategies for future net works: the Web-of-Cells, fractal grid and other concepts,” CIRED 2017, Glasgow, rap. 1287
- [4] *Martini L.ș.a.*, „The Grid of the future and the need for a decentralized control architecture: the WEB-of-cells concept, CIRED 2017,” Glasgow, rap. 0484.
- [5] *** www.fractal-grid.eu
- [6] *Crăciun D.*, „Fractal Grid Development,” FOREN 2018, România, rap. 3.3.5.
- [7] *Gunda J. ș.a.*, „Faraday Grid Benefits – A New Work State Viewpoint,” www.faradaygrid.com
- [8] *Eremia M., Liu C.C., Edris A.A.*, „Advanced solution in power systems. HVDC, FACTS, and Artificial Intelligence,” IEEE Press, Wiley, New Jersey, 2016.