

Small Distributed Renewable Energy Generation for Low Voltage Distribution Networks

Chindris M.¹, Cziker A.¹, Miron Anca¹, Sacerdotianu D.²

¹Technical University of Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, Romania

²ICMET, Craiova, Romania

Abstract. Driven by the existing energy policies, the use of renewable energy has increased considerably all over the world in order to respond to the increasing energy consumption and to reduce the environmental impact of the electricity generation. Although most policy makers and companies are focusing on large applications, the use of cheap small generation units, based on local renewable resources, has become increasingly attractive for the general public, small farms and remote communities. The paper presents several results of a research project aiming to identify the power quality issues and the impact of RES based distributed generation (DG) or other non-linear loads on low voltage (LV) distribution networks in Romania; the final goal is to develop a Universal Power Quality Conditioner (UPQC) able to diminish the existing disturbances. Basically, the work analyses the existing DG technologies and identifies possible solutions for their integration in Romania; taking into account the existent state of the art, the attention was paid on small systems, using wind and solar energy, and on possibility to integrate them into suburban and rural LV distribution networks. The presence of DG units at distribution voltage level means the transition from traditional passive to active distribution networks. In general, the relatively low penetration levels of DG does not produce problems; however, the nowadays massive increase of local power generation have led to new integration challenges in order to ensure the reliability and quality of the power supply. Power quality issues are identified and their assessment is the key element in the design of measures aiming to diminish all existing disturbances.

Keywords: renewable energy sources, distributed generation, PV systems, small wind turbine, active distribution networks.

Generare distribuită de mică putere pentru integrarea resurselor regenerabile în rețelele de distribuție de joasă tensiune

Chindriș M.¹, Cziker A.¹, Miron Anca¹, Sacerdotianu D.²

¹Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, România

²ICMET, Craiova, România

Rezumat. Sub impulsul politicilor energetice existente, utilizarea energiilor regenerabile (ER) s-a extins considerabil în întreaga lume ca un răspuns la creșterea continuă a cererii de energie și pentru reducerea impactului asupra mediului ambiant al generării de electricitate. Articolul prezintă câteva rezultate ale unui proiect de cercetare ce are ca scop identificarea problemelor de calitate a energiei electrice și impactul generării distribuite (GD) bazate pe resurse energetice regenerabile sau al altor sarcini neliniare asupra rețelelor de distribuție de joasă tensiune din România; obiectivul final este dezvoltarea unui Universal Power Quality Conditioner (UPQC) capabil să reducă perturbațiile existente. Practic, sunt studiate tehnologiile de GD existente și se identifică soluțiile posibile pentru implementare în țara noastră; ținând cont de situația existentă, cercetarea s-a concentrat asupra sistemelor de putere mică, bazate pe energie eoliană și solară și a integrării acestora în rețele de distribuție suburbane și rurale de JT. Prezența unităților de GD impune tranziția de la rețelele de distribuție pasive tradiționale la rețele active. În general, niveluri de penetrare scăzute ale GD nu crează probleme; totuși, creșterea masivă a generării locale reprezintă o provocare legată de integrarea acestora noi surse de o manieră care să nu afecteze fiabilitatea și calitatea alimentării cu electricitate. Problemele de calitate trebuie identificate, iar evaluarea acestora reprezintă elementul cheie în elaborarea măsurilor menite să elimine toate perturbațiile existente.

Cuvinte-cheie: surse regenerabile de energie, generare distribuită, sisteme fotoelectrice, turbine eoliene de mică putere, rețele de distribuție active.

Распределенная генерация малой мощности для интегрирования возобновляемых энергетических ресурсов в распределительные сети малой мощности

Киндриш М.¹, Цикер А.¹, Мирон Анка¹, Сачердоциану Д.²

¹Технический Университет Клуж-Напока, Клуж-Напока, Румыния

²Национальный Институт научных исследований, разработок и испытаний в области электротехники
Крайова, Румыния

Аннотация. Под влиянием существующей энергетической политики, использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) распространилось на весь мир, как реакция на рост потребностей в энергии и снижении влияния производства электроэнергии на окружающую среду. Существование малых источников генерации электрической энергии (обычно с использованием ВИЭ, да и других источников первичной энергии), распределенных на большой площади возле потребителей и подключенных к распределительным сетям называется распределенной генерацией (РГ). В статье приведены некоторые результаты одного из исследовательских проектов, целью которого было выявление проблем качества электрической энергии и влияния РГ, использующих ВИЭ или других нелинейных нагрузок на распределительные сети низкого напряжения в Румынии; конечной целью работы было разработка Универсального кондиционера качества энергии (UPQC) который должен был устранить существующие возмущения. Изучены существующие технологии РГ и разработаны решения, которые можно использовать в нашей стране, с учетом существующей ситуации. Исследования были направлены на системы малой мощности, основанные на солнечной и ветровой энергии и интегрировании этого устройства в распределительные сети в сельской местности и голландских пригородов. Наличие устройств РГ требует перехода от пассивных распределительных сетей к активным распределительным сетям. В целом, использование небольшого количества систем РГ не представляет собой проблемы, но резкий рост систем распределенной генерации создает проблему, связанную с интегрированием РГ таким образом, чтобы не влиять на надежность и качество электроснабжения.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, распределенная генерация, фотоэлектрические системы, ветровые турбины малой мощности, активные распределительные сети.

1. Introducere

Politica energetică a UE, dezvoltată în ultimul deceniu, are două obiective prioritare: (i) alimentarea sustenabilă cu energie a tuturor țărilor și (ii) reducerea semnificativă a emisiilor de CO₂ și alte elemente poluante, cu scopul de a reduce impactul asupra mediului ambiant și a schimbărilor climatice [1]. Primul aspect este legat de epuizarea graduală a resurselor de combustibili fosili și de posibilitatea utilizării alimentării cu energie drept armă politică; pe de altă parte, schimbările climatice au devenit unul dintre cele mai importante subiecte de interes pentru comunitatea internațională în ultimele decenii. Răspunsul la aceste probleme a fost generarea locală a energiei electrice, la nivelul rețelelor de distribuție, prin utilizarea unor resurse alternative de energie. O parte dintre acestea utilizează surse neconvenționale bazate pe combustibili fosili precum gazul natural, biogazul, celulele cu combustibil, cogenerare, și micro-turbine; altele folosesc surse regenerabile de energie (RES), în principal energia eoliană, celule fotoelectrice sau energia hidroelectrică.

2. GENERARE DISTRIBUITĂ BAZATĂ PE RES

În general, GD se referă la producerea electricității în apropierea utilizatorilor; o altă expresie, destul de mult folosită în literatura de

specialitate este “embedded generation”, reflectând faptul că unitățile de generare de putere mică sunt încorporate în rețelele electrice existente, de dimensiuni mari. Politicile energetice actuale și evoluțiile tehnice favorabile au determinat creșterea semnificativă a GD bazate pe RES; integrarea acestor sisteme în rețelele publice a devenit un element cheie în multe țări, inclusiv în România, deoarece ele reduc impactul ambiental și permit introducerea RES în rețelele de distribuție [10].

Acest mod de generare are, față de abordarea centralizată tradițională, atât avantaje cât și dezavantaje. Avantajele pot fi întâlnite la toate palierele sistemului energetic [11, 12]:

a) Avantajele utilizatorilor

- Soluția poate fi folosită în aplicații de putere redusă care, amplasate, instalate și exploatate corespunzător, pot asigura continuitatea în alimentarea cu electricitate;
- Diversitatea tehnologiilor disponibile oferă oportunitatea utilizării resurselor locale;
- Instalațiile au o eficacitate mărită prin evitarea pierderilor de energie și financiare;
- De obicei sunt realizate sub forma unor module de puteri mici, foarte flexibile;

- Unitățile bazate pe ER pot fi instalate în zone sensibile sau protejate;
 - Îmbunătățesc flexibilitatea amplasamentului prin dimensiunile reduse, performanțe de mediu superioare și flexibilitatea resursei primare.
- Medium GD: 5 MW – 50 MW;
 - Large GD: 50 MW – 300 MW.

b) *Beneficii pentru furnizor*

- Prin caracteristicile lor (dimensiuni reduse, modularitate, timp de instalare scurt etc.) soluțiile de GD reduc riscurile de capital;
- Oferă condiții îmbunătățite pentru realizarea de sisteme ce implementează co- sau trigenerarea bazată pe pierderile termice din diferite sectoare;
- Previn costuri suplimentare deoarece capacitatea de generare poate urmări mai ușor și mai exact creșterea de consum;
- Prezența GD poate îmbunătăți profilul tensiunii, calitatea energiei electrice și eventual pierderile de putere în rețea.

c) *Avantaje la nivel național*

- GD poate reprezenta o soluție convenabilă pentru acoperirea creșterii consumului și reducerea emisiilor poluante;
- Participă la implementarea politicilor energetice și de mediu;
- Crează noi sectoare industriale și locuri de muncă.

Trebuie însă menționate și câteva dezavantaje:

- Deoarece majoritatea sistemelor de GD sunt legate la rețea prin convertoare electronice, calitatea energiei electrice furnizate poate fi afectată;
- Prezența noilor unități de generare poate influența negativ funcționarea sistemelor de protecție existente în rețelele publice;
- În funcție de configurația rețelei și de nivelul de penetrare, GD poate determina creșterea pierderilor de putere sau chiar schimbarea circulației de putere în rețea;
- Deoarece pentru majoritatea tehnologiilor existente prețul electricității produse scade cu puterea generatorului, sistemele distribuite pot furniza electricitate mai scumpă.

Categoriile, ce definesc puterile unităților încadrate în conceptul de GD, sunt următoarele [7]:

- Micro GD: 1 W – 5 kW;
- Small GD: 5 kW – 5 MW;

In cadrul proiectului de cercetare, termenul de GD se referă la producerea de electricitate din resurse regenerabile în aria de deservire a operatorului local al rețelei de distribuție; practic, este vorba despre tehnologii de generare care deserveșc una sau mai multe clădiri sau entități, au puterea nominală de cel mult 100 kW și pot fi interconectate cu alte tehnologii pentru a forma un sistem electric mai amplu. Există mai multe tehnologii bazate pe surse regenerabile care pot furniza electricitate la nivelul rețelelor de distribuție; acestea includ sisteme fotoelectrice (PV), turbine eoliene mici și microcentrale hidro. În ceea ce privește integrarea diferitelor unități de generare în rețelele de distribuție, în literatură se întâlnesc frecvent următorii termeni [13]:

- Soluție of-grid (de obicei puteri sub 10 kW): o structură individuală ce produce electricitate pentru consumul propriu și care nu este racordată cu alți utilizatori;
- Nano-, micro- și minirețele: rețele electrice deservind, de obicei, unul până la mii de utilizatori; pot fi conectate la rețele mai mari, eventual publice, dar pot acoperi, în parte sau în totalitate, cererea locală de energie.

Articolul tratează doar două forme de energii regenerabile, respectiv cea eoliană și cea solară, deoarece microcentralele hidraulice sunt foarte scumpe (3.400 – 10.000 UDS/kW sau chiar mai mult), necesită un debit sigur și consistent de apă și implică lucrări suplimentare considerabile pentru amenajare. Pe de altă parte, atât energia eoliană cât și cea solară au un potențial remarcabil pentru satisfacerea nevoilor energetice la nivel mondial și au un impact neglijabil asupra mediului [13].

Soarele reprezintă o sursă importantă și sustenabilă de energie având în vedere că puterea ce ajunge la suprafața pământului este de cca. 86.000 TW. Cu tehnologiile existente, electricitatea poate fi generată direct (utilizând celule PV) sau indirect, prin colectarea și concentrarea energiei solare pentru producere de aburi ce antrenează apoi o turbină clasică; dezvoltarea unor metode eficiente pentru colectarea, conversia și utilizarea energiei solare reprezintă una dintre cele mai importante provocări științifice și tehnologice pentru comunitatea științifică. În cazul vântului, capacitatea de generare a electricității s-a triplat în ultimii cinci ani, astfel încât energia eoliană este sursa de energie cu cea mai rapidă creștere la

nivel mondial. În Europa, câteva țări au atins un nivel relativ ridicat de penetrare a acestei resurse: cca. 19% în Danemarca, 14% în Spania și Portugalia, și 7% în Germania și Irlanda.

Factorul cheie în această evoluție a fost reprezentat de suportul guvernamental [14]. Din păcate, există două probleme importante legate de utilizarea acestor resurse și anume disponibilitatea lor și costul electricității generate. Energia eoliană și cea solară nu sunt întotdeauna disponibile în locul și la momentul cerut; variațiile zilnice și sezoniere, precum și dificultățile de a realiza o prognoză corectă determină o generare intermitentă. În ceea ce privește al doilea aspect, deși ridicat la început, prețul electricității furnizate de aceste tehnologii scade în permanență și se speră atingerea valorii prețului existent în prezent atât la consumatorul final cât și la nivel de rețea; momentul atingerii acestui obiectiv încă nu este clar, dar studii recente sugerează că el se apropie.

O analiză comparativă a costului de producere, în funcție de sursa utilizată, este prezentată în Tabelul 1 [15]; cifrele date includ costurile legate de recuperarea investiției inițiale și costurile de funcționare. Un studiu publicat în 2015 [16] indică faptul că sistemele solare PV reprezintă deja o tehnologie cu preț scăzut în Germania, având în vedere faptul că tariful a scăzut de la peste 40 ct/kWh pentru instalațiile conectate în 2005 la 9 ct/kWh pentru cele conectate în 2014. Diferite scenarii indică o scădere continuă a costurilor; concret, în funcție de radiația anuală, în Europa se așteaptă costuri de 4 - 6 ct/kWh până în anul 2025 și 2 - 4 ct/kWh în 2050. Pentru deceniul următor, aceasta ar reprezenta o reducere de o treime față de nivelul anului 2015.

Tabelul 1.

Costul electricității, în funcție de sursă, pentru anii 2009 – 2012 [USD/kWh]

Tipul centralei	Minim	Mediu	Maxim
Fotoelectrică	0,14	0,25	0,48
Solară termică	0,17	0,19	0,20
Eoliană terestră	0,03	0,06	0,09
Eoliana marină	0,09	0,12	0,17

Hidro de putere	0,03	0,06	0,11
Nucleară	0,01	0,06	0,11
Cogenerare	0,02	0,05	0,07

Următoarele date indică deplasarea continuă a sectorului energetic din UE față de generarea bazată pe combustibili fosili [17]:

- Puterea centralelor clasice (folosind păcură, cărbune și gaz) scoase din funcțiune continuă să fie mai mare decât cea a centralelor nou instalate;
- În 2015, energiile regenerabile reprezintă 77% din totalul noilor surse de electricitate instalate în UE (22.3 GW din totalul de 29 GW).

3. GENERATOARE PV ȘI EOLIENE DE MICĂ PUTERE

În ultimul deceniu, literatura destinată GD a examinat mai atent posibilitatea dezvoltării acestui concept în comunitățile suburbane și rurale; studiile existente prezintă diferite niveluri de implementare, de la sisteme domestice la minirețele comunitare și la sisteme conectate la rețelele publice. Toate aceste soluții utilizează unități de generare de putere mică bazate pe energie eoliană sau solară.

3.1. GENERATOARE PV DE MICĂ PUTERE

Dintre diferitele resurse regenerabile, energia solară este cea mai abundentă; în același timp, ea este inepuizabilă și curată. Așa cum s-a menționat, există mai multe soluții pentru transformarea acesteia în electricitate, dar tehnologia PV este cea mai utilizată deoarece realizează o conversie directă și poate fi implementată atât pentru aplicații de putere mică cât și pentru sisteme de putere mare – Figura 1 [18]. Așa cum se observă, instalațiile PV de putere mică pot fi utilizate în două variante: sisteme independente (instalate de obicei în zone rurale sau îndepărtate, dar și în numeroase aplicații din zonele construite) și sisteme conectate la rețeaua publică; articolul tratează doar a doua variantă deoarece aceasta reprezintă în prezent mai mult de 90% din totalul instalațiilor PV funcționabile la nivel mondial.

Domeniu	0.1 kW	1 kW	10 kW	100 kW	++ MW
Tipul sistemului (exemple)		Sisteme solare rezidențiale sarcini TC	Proprietati izolate sarcini TC / TA	Microrețele rurale	Retele locale
				Sisteme conectate la rețea	
Utilizatori		Utilizatori individuali		Utilizatori multipli	
Tehnologia sursei		PV		PV hibride	

Figura 1. Sisteme PV și domenii de aplicare.

Astfel de sisteme sunt deja instalate în locuințe individuale sau ansambluri de locuințe, clădiri de birouri sau cu altă destinație etc., și au în componență următoarele elemente: (i) panoul PV, denumit uzual generator PV; (ii) un invertor (transformă tensiunea continuă furnizată de panou în tensiune alternativă); (iii) echipament de măsură pentru electricitatea transmisă în rețea și (iv) echipament de măsură pentru electricitatea consumată din rețea. Panoul fotoelectric constă din câteva module montate pe o structură suport și legate electric în serie/paralel pentru a forma un generator de tensiune continuă. Modulele existente folosesc diferite tehnologii, cele mai utilizate fiind cele bazate pe siliciu cristalin sau pe o peliculă subțire de siliciu amorf.

Deoarece în prezent clădirile consumă peste 40% din energia totală și emit 24% din cantitatea de gaze cu efect de seră, panourile PV integrate în structura acestora au devenit o tehnică din ce în ce mai răspândită de generare a electricității în zonele construite. Panourile pot fi amplasate pe acoperiș (opțiune cunoscută drept Building Adapted PV systems – BAPV) sau pot fi integrate în acoperiș sau în fațada clădirilor (soluție denumită Building Integrated PV systems – BIPV), transformând clădirea din consumator, în producător de energie. De fapt, cu tehnologiile actuale, modulele PV devin un adevărat element de construcție, putând servi și ca element decorativ, protecție climatică, izolare termică, protecție fonică etc. [19, 20].

Figura 2 prezintă structura principală a unui sistem BAPV conectat la rețea, utilizat din ce în ce mai mult în ansambluri rezidențiale, școli, clădiri rurale sau industriale etc. Pe de altă parte, în zonele în care tarifele de furnizare sunt ridicate, soluția menționată este frecvent înlocuită de cea prezentată în Figura 3; aceasta permite ca întreaga electricitate produsă să fie vândută

operatorului de rețea, ceea ce este mai avantajos din punct de vedere financiar [21].

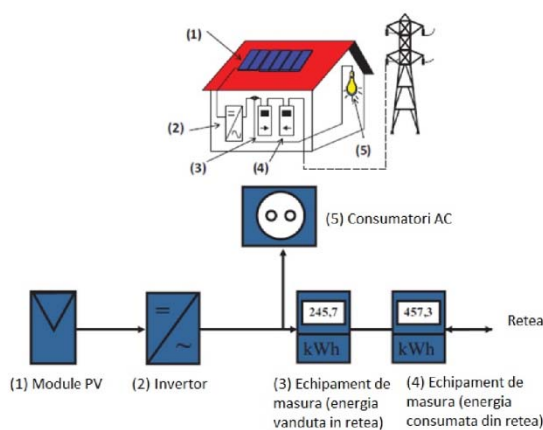


Figura 2. Sistem BAPV conectat la rețea (electricitatea produsă este destinată în principal receptoarelor din clădire).

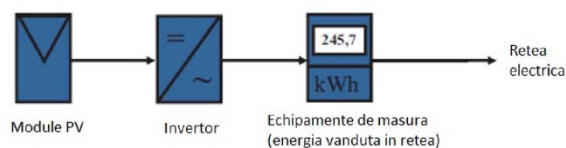


Figure 3. Sistem BIPV conectat la rețea (toată electricitatea este vândută în rețea)

Figurile anterioare prezintă cele mai simple soluții; în realitate, ținând cont de imprevizibilitatea energiei solare, instalația trebuie să conțină și sisteme de stocare. Figura 4 prezintă două variante posibile pentru instalații conectate la rețea [22].

Conform [23], la sfârșitul anului 2012, în EU27 erau instalați circa 70 GWp în sisteme PV, cu o contribuție de 2,5% la consumul total; dintre acestea, circa 49% (34.197 MWp) erau instalate în instalațiile de distribuție de JT. Sub impulsul îmbunătățirilor aduse recent politicilor energetice și tehnologiilor disponibile, soluțiile de tip BIPV

au cunoscut o creștere spectaculoasă în toate țările europene. Figura 5 prezintă un sistem BIPV

tipic instalat la Freiburg, în Germania [19].

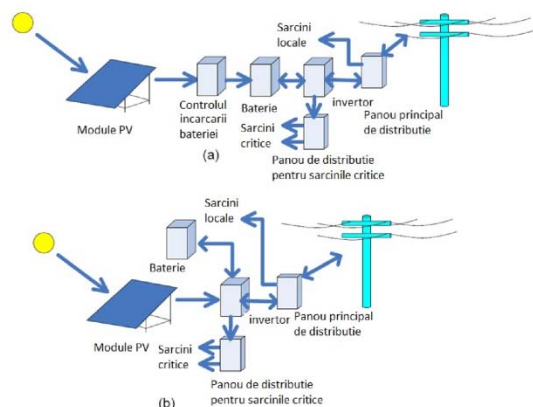


Figura 4. Sistem PV cu stocare: (a) control separat pentru încărcarea bateriei și invertor; (b) control integrat.



Figura 5. Sisteme BIPV în Freiburg.

Studiile prezentate de diferiți specialiști sugerează că electricitatea produsă într-un an de o instalație BIPV, poate acoperi de obicei necesarul de energie al unei familii tipice. De exemplu, Figura 6 compară energia electrică produsă de o

instalație PV având 20 m² (într-o zonă cu 1200 kWh/m²/an) cu cererea zilnică de energie a unei locuințe cu 2-3 ocupanți; se observă că cererea este depășită, cu excepția iernii [24].

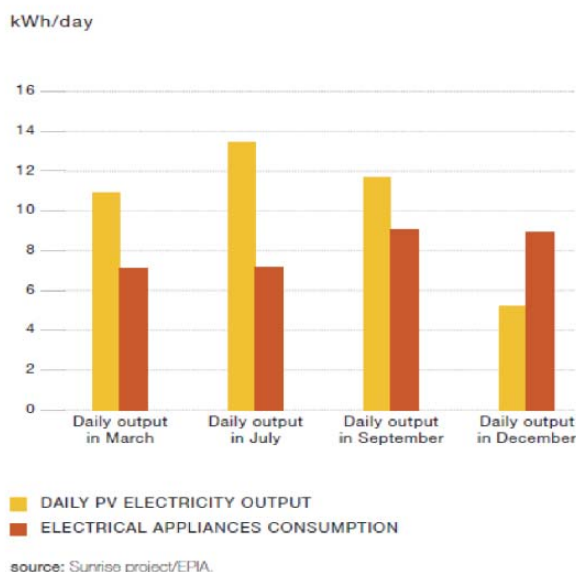


Figura 6. Comparație între consumul zilnic al unei locuințe cu 2-3 ocupanți și electricitatea generată de un sistem PV de 20 m².

În același timp, existența sistemului BIPV trebuie însoțită de un comportament energetic rațional și de implementarea unor soluții pentru creșterea eficienței energetice (de exemplu, o izolare termică îmbunătățită, dublarea geamurilor sau noi aparate electrocasnice).

La final, prezintă interes următoarele informații:

- Sistemele PV instalate pe acoperiș produc energie curată pe circa 95 % din durata lor de viață (30 de ani sau chiar mai mult);

- Sub influența diversilor factori, durata de recuperare a investiției (EPBT) într-o instalație PV s-a redus permanent – Figura 7 [25], dar depinde de amplasarea geografică și de tehnologia utilizată. De exemplu, aceasta este de 2,5 ani în nordul Europei și de 1,5 ani sau chiar mai puțin, în funcție de tehnologie, în sud.

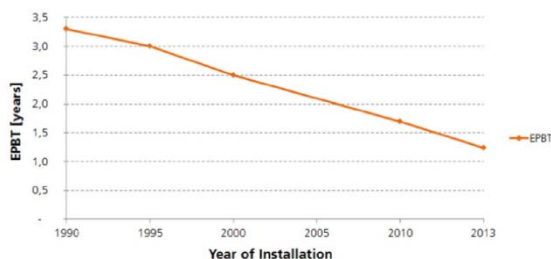


Figura 7. Durata de recuperare a investiției pentru un sistem BIPV din siliciu policristalin instalat în sudul Europei.

3.2. GENERATOARE EOLIENE DE MICĂ PUTERE

Vântul este o resursă abundentă, disponibilă în întreaga lume, astfel încât energia eoliană continuă să fie considerată o tehnologie importantă de generare a electricității în multe țări.

Randamentul teoretic al turbinelor eoliene urcă până la 59%, dar valoarea medie atinsă în practică este mult mai mică. Dacă privim politica UE în acest domeniu, prezintă interes următoarele date [17]:

- Puterea instalată în centrale eoliene în anul 2015 corespunde la 44,2% din total, mai mult decât orice altă formă de centrală electrică.
- Centralele eoliene reprezintă o treime din totalul centralelor noi instalate după anul 2000 în UE, depășind centralele hidro ca a treia cea mai mare sursă de generare (15,6% din totalul puterilor instalate).

Majoritatea factorilor politici și a companiilor se concentrează asupra turbinelor eoliene de putere mare; totuși, utilizarea turbinelor de putere mică (SWT) ca și sisteme de generare distribuită a devenit din ce în ce mai atractivă pentru public în ansamblu, ferme mici și comunități izolate. Din păcate, există mai multe definiții pentru SWT astfel încât este

dificil să se prezinte analize comparabile la nivel mondial. De exemplu, standardul IEC 61400-2 definește SWT ca având o putere nominală sub 50 kW și o tensiune nominală de cel mult 1 kV AC sau 1,5 kV DC; pe de altă parte, limita superioară a puterii variază între 15 kW și 100 kW pentru primele cinci țări cu cea mai mare utilizare a acestei tehnologii (China, USA, UK, Italia și Germania) și urcă până la 300 kW în Canada [26, 27].

Un sistem de generare bazat pe SWT poate funcționa independent (off-grid), ca parte a unei microrețele (eventual cu generare hibridă) sau interconectat la rețeaua publică (grid connected).

Echipamentele tipice lucrează cu o viteză minimă a vântului de 3 m/s și ating puterea nominală la 11 m/s, aspecte ce limitează aplicabilitatea geografică. În secolul actual, piața mondială a SWT a cunoscut o creștere continuă, la sfârșitul anului 2012 fiind instalate în lume cel puțin 806.000 unități (o creștere de 10 % față de anul anterior); ca urmare, până în 2015 a fost anticipată o rată de creștere anuală de 19 - 35 %. Din păcate, după câțiva ani de creștere continuă, 2013 a fost dificil, trei dintre cele mai mari piețe suferind o scădere a numărului de unități instalate – Figura 8 [26], și previziunile până în 2020 au fost revizuite în scădere. La sfârșitul lui 2013, la nivel mondial erau instalate un număr total de cel puțin 870.000 SWT (o creștere de doar 8%), cu o putere instalată de circa 755 MW (o creștere de peste 12% comparativ cu anul 2012).

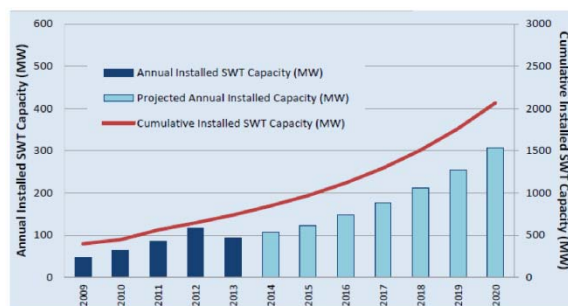


Figura 8. Previțiuni privind piața centralelor eoliene de mică putere (2009 – 2020).

SWT sunt avantajoase în special pentru generarea electricității la nivelul micilor utilizatori în zone rurale și izolate, dar și în zone suburbane sau chiar urbane – Figura 9 [28].



Figura 9. SWT instalate la utilizatori casnici.

O turbină eoliană de putere mică este formată din câteva componente principale: (i) un rotor cu un număr variabil de pale, (ii) un generator electric, (iii) sisteme de control și protecție și (iv) electronica de putere (asigură conectarea la o baterie de stocare, pentru sistemele independente, sau la rețeaua publică). Turbinele pot fi cu axă orizontală (HAWT) sau verticală (VAWT), marea majoritate a echipamentelor comercializate având trei pale și axă orizontală. În ceea ce privește generatorul, există două tipuri: generatoare de inducție autoexcitate (SEIG) și generatoare sincrone cu magneți permanenți (PMSG) [29].

În prezent, aproape toate sistemele existente pe piață utilizează PMSG antrenate de o turbină eoliană fără cutie de viteze sau un generator de inducție cu rotor bobinat (WRIG); topologia convertorului electronic necesar interconectării sistemului SWT depinde de puterea necesară și de costul sistemului, deoarece pot fi folosite diferite topologii și dispozitive electronice – Figura 10 [29].

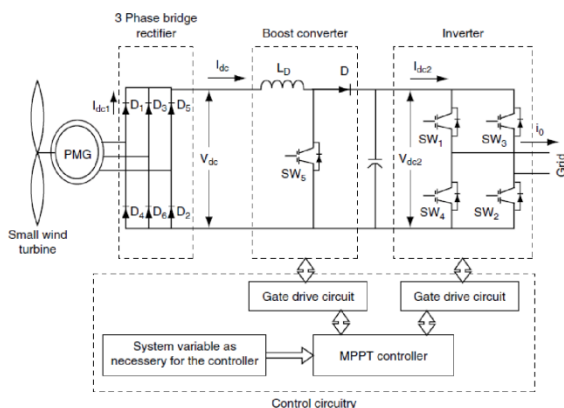


Figura 10. Turbină eoliană de mică putere cu generator PMSG.

4. IMPACTUL GD ASUPRA REȚELOR DE DISTRIBUȚIE

Rețelele electrice tradiționale corespund unui sistem ierarhic, cu o demarcare clară a subsistemelor de generare, transport și distribuție. Concret, centrale electrice de putere mare (amplasate de obicei în apropierea surselor de energie primară) furnizează energie tuturor utilizatorilor prin intermediul unei infrastructuri pasive de mari dimensiuni ce cuprinde rețele de înaltă, medie și joasă tensiune. Rețeaua funcționează radial iar energia circulă într-o singură direcție: de la centrale (nivel de tensiune ridicat) la consumatori (nivel de tensiune mai scăzut). În ultimele decenii, utilizarea crescândă a resurselor locale (în special a surselor regenerabile) a condus la GD, respectiv la dezvoltarea și implementarea unor noi scheme de alimentare cu energie electrică. Conform acestui concept inovativ, generarea este realizată în unități de putere mică, amplasate de obicei în apropierea utilizatorilor și conectate la rețelele de medie sau joasă tensiune; practic, asistăm la tranziția de la rețelele pasive tradiționale la rețele de distribuție active [12].

La început, nivelul relativ scăzut de penetrare a GD nu a produs probleme; ulterior, creșterea masivă a generării locale a reprezentat o provocare pentru operatorii de rețea, care trebuie să asigure fiabilitatea rețelelor și calitatea energiei furnizate. Câteva aspecte privind funcționarea rețelelor active de distribuție de JT sunt prezentate succint în continuare.

1) Schimbarea sensului de circulație a puterii în rețea

În rețelele de distribuție active, o parte din cererea de energie este acoperită de centralele clasice iar restul este produs în apropierea utilizatorilor; dacă generarea locală depășește consumul, apare o circulație de putere către nivelurile mai ridicate de tensiune.

2) Calitatea energiei electrice

Prezența unităților de GD poate afecta calitatea energiei electrice furnizată altor utilizatori racordați la aceeași rețea. Principalele îngrijorări se referă la stabilitatea tensiunii (variații lente și/sau rapide), nesimetria sistemului de tensiuni, variațiile de frecvență, armonici și interarmonici, disponibilitatea și încărcarea rețelei, circulația puterii reactive etc.

3) Coordonarea protecției

Rețelele de distribuție tradiționale utilizează scheme de protecție relativ simple bazate pe circulația unidirecțională a puterii și a curenților de defect. Prezența GD poate schimba această

situație deoarece circulația de putere și curenții de defect pot avea direcții schimbate sau cel puțin amplitudini modificate. Există patru categorii de probleme privind protecția:

(i) *sensibilitate*: nedetectarea unor defecte sau funcționarea întârziată, aspecte ce pot conduce la noi defecte sau pagube, respectiv instabilitate și decuplarea unor unități de generare racordate la alte linii ale rețelei; (ii) *selectivitate*: deconectarea incorectă a unor linii sau unități de GD în cazul existenței unui defect în altă zonă a rețelei; (iii) *reconectare*: perturbarea secvențelor de RAR poate determina creșterea duratei de întrerupere în alimentarea unor utilizatori dar și la deteriorarea unor unități de generare; (iv) *insularizare*: orice insularizare neintenționată trebuie prevenită pentru asigurarea siguranței rețelei și a calității energiei electrice.

4) *Stabilitatea rețelei*

Acest subiect se referă atât la contribuția unităților de GD la nivelul de stabilitate al rețelei cât și la capacitatea de funcționare în defect a unităților de generare.

5. Concluzii

Articolul prezintă câteva rezultate ale unui proiect de cercetare ce are ca scop identificarea problemelor de calitate a energiei electrice și impactul GD bazate pe RES sau al altor sarcini neliniare asupra rețelelor de distribuție de joasă tensiune din România; obiectivul final este dezvoltarea unui Universal Power Quality Conditioner (UPQC) capabil să reducă perturbațiile existente.

Impusă de actualele politici energetice, utilizarea energiilor regenerabile a crescut considerabil în UE, instrumentul cheie fiind Renewable Energy Directive (Directive 28/2009/EC) [30]; ca rezultat, producerea locală de energie a crescut și ea, reducând gradual dependența față de importurile de energie și impactul asupra mediului. Pe de altă parte, cu ajutorul programelor de promovare și a sprijinului financiar, tehnologiile pentru sursele regenerabile de energie s-au dezvoltat rapid și unele dintre acestea au ajuns la maturitate, generând electricitate la un preț ce scade permanent.

Corespunzător obligațiilor de îi revin, România a sprijinit constant dezvoltarea energiilor regenerabile; progresele obținute au fost determinate de următorii factori: (i) țara noastră are un potențial important și diversificat de resurse regenerabile (în special energie

eoliană, solară și biomasă); (ii) îmbunătățiri legislative; (iii) programe pentru promovarea energiilor verzi.

Numeroși experți sunt de acord că RES au devenit o alternativă posibilă, la un preț rezonabil, la utilizarea combustibililor fosili; bazate pe această constatare, investițiile realizate în capacități de generare ce utilizează resurse curate au cunoscut o creștere semnificativă în întreaga lume. În special energiile eoliană și solară au devenit mai competitive, în termen de costuri, cu gazele naturale și cărbunele; de exemplu, în ultimele decenii, costul electricității generate a scăzut cu 50% pentru energia eoliană și cu 60% în cazul celei solare.

Totuși, în multe zone resursele regenerabile existente sunt reduse iar puterea unităților de generare este inevitabil limitată; această abordare, de producere a electricității în echipamente de mică putere amplasate în apropierea utilizatorilor este denumită generare distribuită.

Practic, este vorba despre tehnologii de generare ce deservește una sau mai multe clădiri sau entități, au puteri de până la 100 kW și pot fi interconectate la rețelele de distribuție existente. Așa cum s-a menționat anterior, cele mai utilizate soluții sunt sistemele fotoelectrice și turbinele eoliene de mică putere.

În ceea ce privește energia solară, o atenție specială a fost acordată sistemelor PV integrate în configurația clădirilor, deoarece în prezent acestea consumă peste 40% din energia totală și au o pondere de circa 24% în emisiile de gaze cu efect de seră. Există două soluții, respectiv Building Adapted PV Systems and Building Integrated PV Systems, care permit trecerea clădirilor din categoria consumatorilor în cea a producătorilor de energie; mai mult, modulele PV pot fi utilizate ca element de construcție sau ornamental, protecție climatică, izolare termică sau fonică etc. Pentru tehnologiile existente, durata de recuperare a investiției în cazul sistemelor PV s-a redus la 2,5 ani în nordul Europei și la 1,5 ani sau chiar mai puțin, în funcție de tehnologie, în sudul continentului.

În același timp, utilizarea turbinelor eoliene mici drept generatoare distribuite a devenit tot mai atractivă pentru publicul larg, ferme mici și comunități izolate. Echipamentele existente pe piață funcționează pentru o viteză a vântului mai mare de 3 m/s și ating puterea nominală la 11 m/s, aspecte ce limitează aria de implementare; majoritatea utilizează generatoare PMSG

antrenate de turbine fără cutie de viteze sau generatoare asincrone cu rotor bobinat.

Configurația convertoarelor electronice utilizate pentru interconectarea la rețea depinde de puterea de ieșire și de costul sistemului, având în vedere că pot fi utilizate diferite topologii și dispozitive electronice.

În practică, prezența unităților de GD în rețelele de distribuție indică tranziția de la rețele pasive la rețele active. În general, niveluri reduse de penetrare nu crează probleme; totuși, creșterea masivă a generării locale reprezintă o provocare legată de integrarea unităților existente de o manieră care să nu afecteze fiabilitatea și calitatea alimentării cu electricitate.

În principiu, probleme ce pot apărea sunt legate de (i) modificarea circulației de putere în sistem, (ii) calitatea energiei electrice, (iii) coordonarea protecțiilor și (iv) stabilitatea rețelei.

Toate aceste elemente trebuie studiate în detaliu pentru o evaluare corectă a impactului GD asupra rețelei existente și pentru proiectarea de contramăsuri adecvate.

Bibliografie

- [1] European Commission (ed.) 2007: A European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan). Technology Map (SEC(2007) 1510). Brussels.
- [2] Leda-Ioanna Tegou et al. Distributed Generation with Renewable Energy Systems: The spatial dimension for an autonomous Grid. ERSA 2007, Paris, France.
- [3] European Commission, 2008. Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources.
- [4] Christof Timpe et al. Integration of electricity from renewable energy sources into European electricity grids. ETC/ACC Technical Paper 2010/18, December 2010.
- [5] EREC, Greenpeace (ed.) 2010: energy [r]evolution -Towards a fully renewable Energy Supply in the EU 27.
- [6] Inga Boie et al. Efficient strategies for the integration of renewable energy into future energy infrastructures in Europe – An analysis based on transnational modeling and case studies for nine European regions. Energy Policy 67(2014), 170–185
- [7] Freris, L. and Infield, D. Renewable Energy in Power Systems. John Wiley & Sons, Ltd, 2008.
- [8] Ralph Sims et al., 2011: Integration of Renewable Energy into Present and Future Energy Systems. In IPCC Special Report on RES and CCM, Cambridge University Press, Cambridge, USA.
- [9] Chowdhury S. et al. Microgrids and Active Distribution Networks. IET RENEWABLE ENERGY SERIES 6, 2009.
- [10] DNV GL Energy Report: A Review of Distributed Energy Resources. Energy Advisory, Arlington, USA, 2014.
- [11] Konstantinos Angelopoulos. Integration of Distributed Generation in Low Voltage Networks: Power Quality and Economics. PhD Thesis, University of Strathclyde in Glasgow, 2004.
- [12] Angel Fernandez Sarabia. Impact of distributed generation on distribution system. Master Graduate Dissertation, Aalborg University, Denmark, 2011.
- [13] Paul Komor and Timothy Molnar. Background Paper on Distributed Renewable Energy Generation and Integration. Prepared for TEC-UNFCCC, Bonn, Germany, 2015.
- [14] Eduardo F. Camacho et al. Control for Renewable Energy and Smart Grids. From: The Impact of Control Technology, T. Samad and A.M. Annaswamy (eds.), 2011 (available at www.ieeeccs.org).
- [15] Analytical Centre for the Government of the Russian Federation. Development of Wind Energy Technology in the World, 2013 (available at www.ac.gov.ru/files/publication/a/1207.pdf).
- [16] Fraunhofer ISE (2015): Current and Future Cost of Photovoltaics. Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems. Study on behalf of Agora Energiewende.
- [17] EWEA (the European Wind Energy Association). European Statistics 2015.
- [18] Katiraei, F et al. Integration of Photovoltaic Power Systems in High-Penetration Clusters for Distribution Networks and Mini-Grids. International Journal of Distributed Energy Resources, Volume 3, Number 3, July – September 2007.
- [19] Farshad Azadian and M.A.M.Radzi. A general approach toward building integrated photovoltaic systems and its implementation barriers: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 22 (2013) 527–538.
- [20] M Tripathy and P K Sadhu. Building Integrated Photovoltaic is a Cost Effective and Environmental Friendly Solution. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering Vol. 14, No. 1, April 2015, pp. 49 – 54.
- [21] G. Nofuentes et al. TECHNICAL HANDBOOK. The installation of on-ground photovoltaic plants over marginal areas. PVs in BLOOM Project. ISBN 9788890231001.
- [22] Chuck Whitaker et al. Renewable Systems Interconnection Study: Distributed Photovoltaic Systems Design and Technology Requirements. SANDIA Report, 2008.
- [23] Michel Vandenberg et al. PV Grid. D3.1 Prioritization of Technical Solutions Available for the Integration of PV into the Distribution Grid. Version 13, 2013
- [24] EPIA, Greenpeace (ed.) 2011: Solar Generation 6. Solar PV Electricity Empowering the World 25.

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE. Photovoltaics Report. 2015.

[26] Hydro-Quebec. A Renewable Energy Option. Small Wind Power. ISBN: 978-2-550- 73924-1

[27] WWEA (World Wind Energy Association). 2015 Small Wind World Report Summary.

[28] Michael Duffy. Small Wind Turbines Mounted to Existing Structures. Master Thesis. Georgia Institute of Technology, 2010.

[29] Arifujjaman, M. et al. Power Electronics Reliability Comparison of Grid Connected Small

Wind Energy Conversion Systems. Wind Engineering Volume 35, NO. 1, 2011.

[30] European Commission. European energy security strategy {COM(2014) 330 final}.

Mulțumiri. Această lucrare a fost realizată prin programul Parteneriate în domenii prioritare - PN II, derulat cu sprijinul MEN – UEFISCDI, proiect nr. PN-II-PT-PCCA-2013-4-1003.

Despre autori.



Chindriș Mircea, dr. ing., profesor emerit. Domeniile de cercetare științifică: utilizarea energiei electrice; managementul și calitatea energiei electrice; eficiență energetică, aplicații ale inteligenței artificiale, sisteme energetice moderne

E-mail:

Mircea.Chindris@enm.utcluj.ro



Miron Anca, dr. ing., conferențiar universitar Departamentul de Electroenergetică și Management, Facultatea de Inginerie Electrică. Domeniile de cercetare științifică: sisteme expert în energetică, aplicații ale inteligenței artificiale, managementul energiei, sisteme moderne de conversie a energiei.

E-mail:anca.miron@enm.utcluj.ro



Cziker Andrei Crisitinel, dr. ing., decan Facultatea de Inginerie Electrică. Domeniile de cercetare științifică: utilizarea energiei electrice; managementul energiei electrice; instalații electrice; producerea, transportul și distribuția energiei electrice; proiectarea asistată de calculatorul numeric. E-mail:

Andrei.Cziker@enm.utcluj.ro

Sacerdoțianu Dumitru, dr.ing., cercetător științific. Domeniile de cercetare științifică: cercetare - dezvoltare echipamente electrotehnice, echipamente de monitorizare și diagnosticare stare rețele electrice

E-mail:

dumitrusacerdotianu@yahoo.com

