

VATRĂ FĂNICĂ

POSTOLACHE PETRU

VATRĂ CRISTIANA ANDREEA

POIDA ANA



**INTEGRAREA ȘI FUNCȚIONAREA
CENTRALELOR EOLIENE
ȘI A INSTALAȚIILOR FOTOVOLTAICE ÎN
SISTEMUL ELECTROENERGETIC**



**LEONARDO POWER QUALITY INITIATIVE
VOCATIONAL EDUCATION SYSTEM**

**Editura SIER
București, august 2012**

PREFAȚĂ

"Dacă înveți doar niște metode, vei fi încătușat de ele, dar dacă înveți principii, îți vei putea concepe propriile metode."

Ralph Waldo Emerson

(Citat preluat din cartea "Alte motive pentru a zâmbi" - Autor: Zig Ziglar)

"Learn everything you can, anytime you can, from anyone you can - there will always come a time when you will be grateful you did."

Sarah Caldwell (http://en.wikipedia.org/wiki/Sarah_Caldwell)

Această carte își are rădăcinile ancorate:

- într-un prim început, care a avut loc în octombrie 2005, când a fost inițiat primul curs din cadrul proiectului european LPQIVES (*Leonardo Power Quality Initiative and EMC Vocational Education System*) în România sub numele - "Calitatea energiei electrice" - *Expert Gradul 1* (compus din 10 module);
- într-un al doilea început, cel prin care, la inițiativa SIER (Societatea Inginerilor Energeticieni din România) s-a demarat, în februarie 2008, un nou curs LPQIVES, intitulat inițial "**Integrarea și funcționarea Centralelor Eoliene în Sistemele Electroenergetice**", ca extindere/aprofundare a *Modulului 9 (Surse de energie distribuite și calitatea energiei electrice. Sisteme de stocare a energiei)*, din cadrul cursului mai sus amintit, și care, din aprilie 2010, și-a extins tematica devenind cursul care se derulează și în prezent, "**Integrarea și Funcționarea Centralelor Eoliene și a Instalațiilor Fotovoltaice în Sistemul Electroenergetic**" (*The Integration and Operation of Wind Power Plants and Photovoltaic Installations into Power Systems*).

Această carte urmărește, în principal, tematica cursului *Integrarea și Funcționarea Centralelor Eoliene și a Instalațiilor Fotovoltaice în Sistemul Electroenergetic*, oferind, în același timp, și o serie de noutăți/informații "proaspete", care, sperăm să fie o surpriză plăcută pentru cursanții care au absolvit acest curs și util celor care iau, pentru prima dată, contact cu subiectele abordate în această carte.

Mulțumim atât cursanților noștri, pentru aportul pe care și l-au adus la dezvoltarea cursului și, implicit, a acestei cărți, cât și Dlui Roman Targosz - Președintele LPQIVES CB fără sprijinul căruia nu am fi reușit în demersurile noastre, prezenta carte fiind, de asemenea, editată sub egida LPQIVES/Leonardo Energy.

Autorii sunt conștienți că prezenta lucrare, fiind prima de acest fel din România, poate fi perfecționată și sunt recunoscători tuturor celor care vor contribui, prin observații și sugestii, la îmbunătățirea ei.

Vă dorim lectură plăcută!

Autorii

București, iulie 2012

CUPRINS

Prefață	5
Cuprins	7
1. Producerea și consumul de energie electrică în lume. Surse primare, procedee, evoluție, tendințe	21
1.1. Introducere	21
1.2. Situația energetică generală	21
1.3. Situația energetică din România	28
1.3.1. Sursele pe bază de petrol	30
1.3.2. Sursele pe bază de gaz natural	31
1.3.3. Sursele pe bază de cărbune energetic	31
1.3.4. Sursele pe bază de hidroenergie	32
1.3.5. Sursele pe bază de energie nucleară	32
1.3.6. Energie electrică	32
1.4. Producerea energiei electrice în centrale electrice pe bază de combustibili fosili și încadrarea în mediul ambiant	33
1.5. Surse și resurse de energie regenerabilă	36
1.5.1. Definirea noțiunilor de surse și resurse de energie regenerabilă	36
1.5.2. Avantajele și dezavantajele DG și RES	39
1.5.3. Stadiul actual și perspective în domeniul utilizării energiilor regenerabile	40
1.5.3.1. Date statistice preluate din <i>Renewables 2011 Global Status Report - REN 21</i>	40
1.5.3.2. Date statistice preluate din <i>World Wind Energy Report 2011</i>	47
1.5.3.3. Date statistice preluate din <i>Wind in power: 2011 European statistics</i>	48
1.5.3.4. Date statistice preluate din <i>PV Status Report 2011</i>	50
1.5.4. Resurse regenerabile de energie în România	53
1.5.4.1. Potențialul eolian al României	53
1.5.4.2. Potențialul solar în România	54
1.5.5. Puterea instalată în centrale electrice eoliene și fotovoltaice din România	57
1.5.5.1. Centrale electrice eoliene	57
1.5.5.2. Centrale electrice fotovoltaice	60
1.6. Bibliografie	65
2. Politici și directive ale Uniunii Europene în domeniul utilizării resurselor regenerabile de energie	67
2.1. Prezentare generală	67
2.2. Obiectivele țintă pentru țările UE privind Protocolul de la Kyoto	71
2.3. Obiectivele țintă pentru țările UE privind aportul de energie din surse regenerabile în consumul final de energie primară	72
2.4. Obiectivele țintă pentru țările UE privind energia electrică produsă din surse regenerabile de energie (RES-E)	73

2.5. Europa, consumatoare de energie 100 % regenerabilă ?	74
2.6. Politica României în domeniul utilizării resurselor regenerabile de energie	75
2.7. Bibliografie	77
3. Scurt istoric al instalațiilor eoliene și fotovoltaice.....	79
3.1. Instalații eoliene	79
3.2. Instalații fotovoltaice	89
3.3. Bibliografie	97
4. Principalele componente și caracteristici ale instalațiilor eoliene și fotovoltaice.....	99
4.1. Instalații eoliene.....	99
4.1.1. Rotorul și palele	99
4.1.2. Nacela	103
4.1.3. Generatorul electric	104
4.1.4. Sistemul de comandă-control	105
4.1.5. Schema părții electrice a unui grup eolian	105
4.1.6. Stările/regimurile de funcționare ale unui grup eolian	107
4.2. Instalații fotovoltaice	110
4.2.1. Celula fotoelectrică (fotovoltaică). Principiu de funcționare	110
4.2.2. Tehnologii ale celulelor fotovoltaice	111
4.2.3. Modelul matematic al celulei fotovoltaice	113
4.2.4. Parametrii celulei fotovoltaice	114
4.2.5. Influența iluminării	116
4.2.6. Influența temperaturii	117
4.2.7. Modul de conectare a celulelor fotovoltaice	118
4.2.8. Elemente componente ale sistemelor fotovoltaice	119
4.2.8.1. Baterii de acumulare	120
4.2.8.2. Reglatoarele de sarcină	122
4.2.8.3. Convertoare statice	122
4.2.8.3.1. Tipuri de convertoare statice	122
4.2.8.3.2. Invertoare	124
4.2.8.4. Alte componente	125
4.3. Bibliografie	126
5. Evaluarea potențialului eolian	127
5.1. Introducere.....	127
5.2. Puterea dezvoltată de o instalație eoliană.....	127
5.3. Influența altitudinii și a temperaturii	131
5.4. Evaluare orientativă a puterii medii	131
5.5. Evaluarea statistică a datelor măsurării vitezei vântului	132
5.5.1. Măsurători	132
5.5.2. Viteza medie	133
5.5.3. Viteza medie cubică	134
5.5.4. Neregularitatea vântului	134
5.5.5. Abaterea pătratică medie	134
5.5.6. Aplicații ale distribuției Weibull	135
5.5.7. Turbulență, rafale, vânt extrem	137

5.6. Agregarea producției de energie electrică	138
5.7. Factor de capacitate	139
5.8. Bibliografie	140
Anexă - Modele probabilistice. Distribuții statistice	141
6. Evaluarea potențialului energiei solare	147
6.1. Soarele - sursă de energie. Constanta solară	147
6.2. Noțiuni privind mișcarea aparentă a soarelui pe bolta cerească	148
6.3. Densitatea fluxului solar incident la nivelul solului	149
6.4. Densitatea fluxului solar incident pe suprafețe cu înclinare variabilă	150
6.5. Aparatură folosită pentru măsurarea radiației solare	150
6.6. Bibliografie	151
7. Amplasarea centralelor eoliene și a instalațiilor fotovoltaice	153
7.1. Amplasarea centralelor eoliene	153
7.1.1. Introducere	153
7.1.2. Alegerea amplasamentului	154
7.1.3. Estimarea energiei produse	161
7.1.4. Aspecte practice la alegerea amplasamentului	162
7.2. Amplasarea instalațiilor fotovoltaice	163
7.2.1. Introducere	163
7.2.2. Alegerea amplasamentului	163
7.2.3. Elemente de care trebuie să se țină seama pentru estimarea energii produse	165
7.2.3.1. Criteriul “maximalizarea producției pe timp de iarnă” versus “maximalizarea producției anuale”	165
7.2.3.2. Unghiul de înclinare și unghiul de orientare a panourilor fotovoltaice	166
7.2.3.3. Evaluarea umbririi panourilor fotovoltaice	169
7.2.3.4. Factorul de performanță (<i>Performance Ratio-PR</i>) a instalației fotovoltaice	171
7.3. Bibliografie	173
8. Grupuri electrice utilizate în centralele eoliene	175
8.1. Introducere	175
8.2. Mașina asincronă	175
8.2.1. Regim motor	176
8.2.2. Regim generator	177
8.2.3. Caracteristica mecanică a mașinii asincrone	178
8.3. Generator asincron cu rotor în scurtcircuit	178
8.4. Generator asincron cu rotor bobinat.....	180
8.5. Generator sincron.....	182
8.6. Privire de ansamblu asupra grupurilor electrice din centralele eoliene.....	184
8.7. Controlul puterii reactive la utilizarea grupurilor eoliene.....	186
8.8. Bibliografie	187

9. Controlul grupurilor eoliene	189
9.1. Ideea generală de control a grupurilor eoliene	189
9.2. Sistemul de monitorizare și control a grupului eolian	193
9.3. Sistemul de control a turbinei	200
9.4. Sistemul de control a generatorului	201
9.5. Bibliografie	203
10. Rețeaua electrică internă a centralelor eoliene și instalațiilor fotovoltaice	205
10.1. Rețeaua electrică internă a centralelor eoliene	205
10.2. Rețeaua electrică internă în cazul instalațiilor/centralelor fotovoltaice	210
10.3. Rețeaua electrică internă în cazul sistemelor energetice hibride pe bază de surse regenerabile de energie	214
10.4. Micro-rețea Smart Grid pentru alimentarea consumatorilor cu energie electrică produsă din surse regenerabile de energie	217
10.4.1. Definierea termenului de Smart Grid	217
14.4.1.1. Definiții adoptate de Uniunea Europeană	217
14.4.1.2. Definiția și caracteristicile distinctive ale Smart Grids adoptate în SUA	219
10.4.2. Arhitectura de principiu și sistemele componente ale unei micro-rețele de tip Smart Grid pentru alimentarea consumatorilor cu energie electrică produsă din surse regenerabile de energie	221
14.4.2.1. Sistemele componente ale micro-rețelei Smart Grid	221
14.4.2.2. Rolul invertoarelor în cadrul unei micro-rețele Smart Grid	221
14.4.2.3. Sistemul local de distribuție a energiei electrice la consumatori ...	222
14.4.2.4. Configurația și schema de principiu a sistemului fotovoltaic ...	223
14.4.2.5. Sistemul eolian de producere de energie electrică	224
14.4.2.6. Sistemul de stocare a energiei electrice	225
14.4.2.7. Sistemul de monitorizare și comandă-control a micro-rețelei Smart Grid	228
10.5. Bibliografie	228
11. Conectarea centralelor eoliene și a instalațiilor fotovoltaice la rețelele electrice ale SEN ..	231
11.1. Noțiuni privind Sistemul Electroenergetic Național (SEN)	231
11.2. Nivelurile de tensiune la care se pot racorda grupurile/centralele eoliene și instalațiile fotovoltaice la rețelele electrice publice	236
11.3. Soluții de conectare a grupurilor și centralelor eoliene și a centralelor fotovoltaice la sistemele electroenergetice	240
11.4. Aspecte tehnice ale conectării centralelor eoliene/fotovoltaice la sistemul electroenergetic	245
11.5. Reglementări în vigoare în România referitoare la racordarea utilizatorilor la rețelele electrice de interes public	245
11.5.1. Studiu de soluție pentru racordarea centralelor electrice	246
11.5.2. Avizul Tehnic de Racordare	246
11.5.3. Încheierea Contractului de Racordare	247
11.5.4. Elaborarea documentațiilor de proiectare	247
11.6. Bibliografie	248

12. Influența centralelor eoliene și a celor fotovoltaice asupra regimurilor de funcționare a rețelelor electrice	249
12.1. Variația tensiunii electrice în rețeaua electrică	249
12.2. Curenții de scurtcircuit	260
12.3. Pierderile de putere activă	268
12.4. Bibliografie	272
13. Controlul tensiunii și a fluxurilor de putere prin utilizarea sistemelor FACTS	273
13.1. Introducere	273
13.2. Compensatoare statice de putere reactivă (SVC)	275
13.2.1. Bobinele comandate cu tiristoare (TCR)	276
13.2.2. Condensatoare comutate cu tiristoare (TSC)	277
13.2.3. Bobinele comandate cu tiristoare asociate cu un condensator fix (FC/TCR)	277
13.2.4. Bobinele comandate cu tiristoare asociate cu condensatoare comutate cu tiristoare (TCR + TSC)	278
13.3. Compensator sincron static shunt (STATCOM)	279
13.4. Compensator serie comandat cu tiristoare (TCSC)	281
13.5. Compensator sincron static serie (SSSC)	282
13.6. Controler unificat de flux de putere (UPFC)	283
13.7. Bibliografie	284
14. Funcționarea rețelelor electrice/SEN în prezența centralelor eoliene și a centralelor fotovoltaice	287
14.1. Aspecte generale	287
14.2. Pierderi de energie electrică în rețelele electrice de distribuție	288
14.3. Aspecte tehnice ale conectării centralelor eoliene și a centralelor fotovoltaice la sistemul electroenergetic. Servicii de sistem care pot fi realizate de centralele eoliene/fotovoltaice	288
14.3.1. Solicitări în regim normal de funcționare și în caz de scurtcircuite.....	289
14.3.2. Efecte asupra calității energiei electrice în rețelele electrice	289
14.3.3. Circulația puterii reactive și controlul tensiunii	290
14.3.4. Participarea la realizarea serviciilor de sistem	291
14.3.5. Stabilitatea și capabilitatea grupurilor eoliene și a sistemelor fotovoltaice de a face față perturbațiilor din rețeaua electrică	293
14.3.6. Aspecte privind protecția prin relee	294
14.3.7. Operații de insularizare și reconectare	294
14.3.8. Siguranță în funcționare	294
14.4. Bibliografie	296
15. Integrarea centralelor eoliene și a centralelor fotovoltaice în conducerea operativă a SEN	297
15.1. Monitorizarea centralelor eoliene și a centralelor fotovoltaice	297
15.2. Agregarea centralelor eoliene în centrale electrice eoliene virtuale	302
15.3. Prevederi din normele tehnice privind cerințele tehnice de racordarea la SEN a centralelor electrice eoliene și a centralelor fotovoltaice.....	304

15.3.1. Prevederi din Norma Tehnică “ <i>Condiții tehnice de racordare la rețelele electrice de interes public pentru centralele electrice eoliene</i> ”	304
15.3.2. Prevederi din propunerea de Norma Tehnică “ <i>Cerințe tehnice de pentru centralele fotovoltaice racordate la SEN</i> ”	305
15.4. Organizarea conducerii prin dispecer în SEN din România	306
15.4.1. Scopul conducerii operative a SEN	306
15.4.2. Structura și organizarea conducerii operative în SEN. Trepere/centrele de conducere operativă în SEN	307
15.4.3. Funcțiunile principale pe trepere/centrele de conducere operativă	310
15.4.3.1. Dispecerul Energetic Central (DEC)	310
15.4.3.2. Dispeceri Energetici Teritoriale (DET)	313
15.4.3.3. Dispeceri Energetici de Distribuție (DED)	314
15.4.3.4. Dispeceri Energetici de Distribuție Locali (DEDL)	317
15.4.3.5. Dispecerii Energetici Locali de Centrale electrice (DLC)	318
15.5. Conducerea operativă a centralelor eoliene mari din Germania utilizând conceptul de centrală electrică virtuală	320
15.6. Aspecte privind conducerea operativă a centralelor eoliene în Spania și Portugalia	326
15.7. Aspecte privind conducerea operativă a centralelor eoliene aparținând companiei Iberdrola Renewables din SUA	330
15.8. Bibliografie	331
16. Introducere în calitatea energiei electrice	333
16.1. Aspecte generale privind calitatea energiei electrice	333
16.2. Componentele calității energiei electrice	337
16.3. Perturbațiile electromagnetice care afectează calitatea energiei electrice	338
16.4. Susceptibilitatea echipamentelor. Niveluri de compatibilitate	341
16.5. Standarde și reglementări în domeniul calității energiei electrice	343
16.5.1. Standarde și reglementări internaționale în domeniul calității energiei electrice	344
16.5.2. Reglementări naționale în domeniul calității energiei electrice	346
16.6. Efecte ale calității tensiunii rețelei electrice asupra grupurilor eoliene și sistemelor fotovoltaice	346
16.7. Influența instalațiilor eoliene și fotovoltaice asupra calității energiei electrice din sistemul electroenergetic	347
16.8. Bibliografie	349
17. Fluctuații de tensiune (efecte de flicker)	351
17.1. Descrierea perturbațiilor. Termeni de bază și definiții	351
17.2. Cauzele fluctuațiilor de tensiune	354
17.2.1. Sarcini industriale	355
17.2.2. Sarcini alimentate din rețelele de joasă tensiune	356
17.2.3. Grupurile electrice eoliene	356
17.3. Efectele fluctuațiilor de tensiune	357
17.4. Cuantificarea fluctuațiilor de tensiune / fenomenului de flicker.....	358
17.5. Limite admise	360

17.6. Evaluarea nivelului de flicker produs de mai multe surse	360
17.7. Bibliografie	361
18. Armonice și interarmonice	363
18.1. Termeni de bază și definiții	363
18.1.1. Aspecte generale. Definierea perturbațiilor	363
18.1.2. Mărimi periodice	365
18.1.3. Mărimi caracteristice în regim periodic sinusoidal	366
18.1.4. Mărimi caracteristice în regim periodic nesinusoidal	368
18.1.5. Circuitele electrice în regim deformant	370
18.1.6. Bilanțuri de puteri active în regim periodic nesinusoidal	372
18.2. Surse de armonice și de interarmonice	373
18.3. Efecte ale poluării armonice asupra instalațiilor și echipamentelor.....	376
18.4. Metode de limitare a armonicelor și interarmonicelor	377
18.5. Indicatori de calitate a energiei electrice	380
18.6. Limite admisibile	381
18.6.1. Prevederi din Standardul European EN 50160	381
18.6.2. Prevederi din reglementări naționale	384
18.6.2.1. Prevederi din Codul Tehnic al Rețelei Electrice de Transport	384
18.6.2.2. Prevederi din Standardul de performanță pentru serviciile de transport și de sistem ale energiei electrice	384
18.6.2.3. Prevederi din Standardul de performanță pentru serviciile de distribuție a energiei electrice	384
18.7. Bibliografie	385
19. Goluri de tensiune, întreruperi de scurtă durată și supratensiuni.....	387
19.1. Aspecte generale	387
19.2. Definierea perturbațiilor	387
19.2.1. Goluri de tensiune și întreruperi de scurtă durată	387
19.2.2. Supratensiuni temporare de frecvență industrială	391
19.3. Particularități	391
19.4. Efecte ale golurilor și întreruperilor de tensiune asupra generatoarelor eoliene	395
19.5. Variații de tensiune determinate de pornirea sau deconectarea generatoarelor eoliene	396
19.6. Influența golurilor de tensiune asupra vibrației turnului unui grup eolian.....	397
19.7. Limitarea efectelor golurilor și întreruperilor de scurtă durată.....	398
19.8. Bibliografie	400
20. Parametrii care permit evaluarea influenței centralelor eoliene și a sistemelor fotovoltaice asupra calității energiei electrice	401
20.1. Parametrii care permit evaluarea influenței instalațiilor eoliene asupra calității energiei electrice	401
20.1.1. Parametrii nominali (rated data)	401
20.1.2. Puterea maxim măsurată (maximum measured power)	402
20.1.3. Puterea reactivă	402
20.1.4. Coeficientul de flicker	402
20.1.5. Numărul maxim de operații de comutare a unității eoliene	404
20.1.6. Factorul treaptă de flicker pentru operații de comutare a grupurilor eoliene....	404

20.1.7. Factorul de variație a tensiunii pentru operații de comutare a grupurilor eoliene	405
20.1.8. Armonice de curent și tensiune generate de unitățile eoliene	406
20.2. Studii de caz - Predeterminarea prin calcul a nivelului de flicker și a salturilor de tensiune generate de grupurile și centralele eoliene	407
20.2.1. Studiu de Caz 1	407
20.2.1.1. Date de intrare	407
20.2.1.2. Determinarea nivelului de flicker produs de grupurile eoliene în condiții normale de funcționare	408
20.2.1.3. Determinarea nivelului de flicker produs la comutarea grupurilor eoliene	409
20.2.1.4. Determinarea saltului de tensiune produs la comutarea grupurilor eoliene	410
20.2.2. Studiu de Caz 2	411
20.2.2.1. Date de intrare	411
20.2.2.2. Determinarea nivelului de flicker produs de grupurile eoliene în condiții normale de funcționare	412
20.2.2.3. Determinarea nivelului de flicker produs la comutarea grupurilor eoliene	412
20.2.2.4. Determinarea saltului de tensiune produs la comutarea grupurilor eoliene	413
20.3. Parametrii care permit evaluarea influenței sistemelor fotovoltaice asupra calității energiei electrice	414
20.4. Bibliografie	418
21. Condiții tehnice de racordare a centralelor eoliene și a centralelor fotovoltaice la SEN. Comparatie între prevederi din unele coduri tehnice din Europa.....	419
21.1. Introducere	419
21.2. Prevederi din Normele tehnice privind cerințele tehnice de racordarea la SEN a centralelor electrice eoliene și a centralelor fotovoltaice	419
21.2.1. Scopul și domeniul de aplicare	419
21.2.2. Cerințe pentru centralele electrice eoliene	420
21.2.2.1. Cerințe pentru centralele electrice eoliene dispecerizabile (CEED)	420
21.2.2.2. Cerințe pentru centralele electrice eoliene nedispacerizabile (CEEND)	423
21.2.2.3. Cerințe pentru echipamentele de telecomunicații	424
21.2.3. Cerințe pentru centralele fotovoltaice	424
21.2.3.1. Cerințe pentru centralele fotovoltaice dispecerizabile (CFVD)	424
21.2.3.2. Cerințe pentru centralele fotovoltaice nedispacerizabile (CFVND)....	426
21.2.3.3. Cerințe pentru echipamentele de telecomunicații	426
21.3. Comparatie între prevederi din unele Codurile Tehnice din Europa	427
21.3.1. Reglementări în vigoare	427
21.3.2. Cerințe referitoare la controlul puterii	427
21.3.3. Cerințe referitoare la controlul puterii active generate în funcție de abaterea frecvenței în sistemul electroenergetic	429

21.3.4. Cerințe referitoare la compensarea puterii reactive	431
21.3.5. Cerințe referitoare la banda de tensiune admisă în funcționare normală	434
21.3.6. Cerințe referitoare la capabilitatea de funcționare a centralelor eoliene în cazul producerii unor defecte în rețelele electrice	434
21.4. Bibliografie	439
22. Măsurarea calității energiei electrice	441
22.1. Aspecte generale referitoare la măsurarea și monitorizarea calității energiei electrice	441
22.2. Condiții generale pe care trebuie să le îndeplinească echipamentele de măsurare a calității energiei electrice și de prelucrare a datelor măsurate	442
22.2.1. Lanțul de măsurare	442
22.2.2. Clasele echipamentelor de măsurare	443
22.2.3. Incertitudinea Ceasului de Timp Real	444
22.2.4. Agregarea datelor măsurate	444
22.2.4.1. Intervalele de agregare a datelor măsurate	444
22.2.4.2. Intervalele de măsurare de bază	445
22.2.4.3. Agregarea pe intervale de 150 perioade	446
22.2.4.4. Agregarea pe intervale de 10 minute	447
22.2.4.5. Agregarea pe intervale de 2 ore.....	447
22.2.5. Conceptul de marcare	448
22.3. Măsurarea parametrilor care definesc calitatea energiei electrice	448
22.3.1. Măsurarea frecvenței	448
22.3.1.1. Metoda de măsurare	448
22.3.1.2. Procedură de evaluare a calității energiei electrice	449
22.3.2. Măsurarea valorii efective a tensiunii	449
22.3.2.1. Metoda de măsurare	449
22.3.2.2. Procedură de evaluare a calității energiei electrice	449
22.3.3. Măsurarea armonicilor și interarmonicilor	450
22.3.3.1. Metoda de măsurare	450
22.3.3.2. Procedură de evaluare a calității energiei electrice	454
22.3.4. Măsurarea fluctuațiilor de tensiune (flicker)	455
22.3.4.1. Metoda de măsurare	455
22.3.4.2. Procedură de evaluare a calității energiei electrice	456
22.3.5. Măsurarea nivelului de nesimetrie.....	456
22.3.5.1. Metoda de măsurare	456
22.3.5.2. Procedură de evaluare a calității energiei electrice	457
22.3.6. Măsurarea golurilor de tensiune și a întreruperilor de scurtă durată	458
22.3.6.1. Metoda de măsurare	458
22.3.6.2. Procedură de evaluare a calității energiei electrice	459
22.3.6.3. Metode de raportare a rezultatelor măsurătorilor	460
22.3.7. Măsurarea supratensiunilor temporare de frecvență industrială	463
22.3.7.1. Metoda de măsurare	463
22.3.7.2. Procedură de evaluare a calității energiei electrice	463
22.3.7.3. Metode de raportare a rezultatelor măsurătorilor	463
22.4. Bibliografie	465

23. Procedura de măsurare a parametrilor unităților eoliene necesari pentru evaluarea influenței asupra calității energiei electrice	467
23.1. Introducere	467
23.2. Procedurile de măsurare recomandate de standardul CEI 61400-21:2008	468
23.2.1. Aspecte generale	468
23.2.1.1. Condiții de măsurare	468
23.2.1.2. Elementele sistemului de măsurare	469
23.2.2. Identificarea parametrilor nominali	470
23.2.3. Puterea activă	470
23.2.3.1. Puterea maxim măsurată (Maximum measured power)	470
23.2.3.2. Limitarea vitezei de variație (Ramp rate limitation) a puterii active	470
23.2.3.3. Reglarea puterii active conform valorii de consemn (Set-point control)	471
23.2.4. Puterea reactivă	471
23.2.4.1. Capabilitatea de a produce și de a absorbi putere reactivă.....	471
23.2.4.2. Reglarea valorii de consemn pentru puterea reactivă	472
23.2.5. Evaluarea fluctuațiilor de tensiune	473
23.2.5.1. Rețeaua electrică fictivă pentru simularea fluctuațiilor de tensiune	473
23.2.5.2. Procedura de măsurare pentru funcționarea continuă a unității eoliene	474
23.2.5.3. Procedura de măsurare pentru operațiile de comutare	476
23.2.6. Măsurarea armonicelor, interarmonicelor și a componentelor de frecvență mai înaltă de curent electric	478
23.2.7. Protecția rețelei electrice (timpul de deconectare a unității eoliene la creșteri/scăderi de tensiune sau frecvență în rețeaua electrică)	478
23.2.8. Timpul de reconectare a unității eoliene	479
23.2.9. Răspunsul unității eoliene la căderi temporare de tensiune datorate defectelor în rețeaua electrică	480
23.2.10. Modelul de Raport asupra rezultatelor obținute la măsurători	481
23.3. Bibliografie	486
24. Valoarea energiei eoliene / fotovoltaice. Studiu de caz.	487
24.1. Prezentare generală	487
24.2. Structura costurilor pentru instalațiile eoliene	487
24.3. Costuri de exploatare și mentenanță	489
24.4. Costul energiei produse	490
24.5. Costuri de mediu	492
24.6. Studiu de caz	492
24.7. Informații privind instalațiile fotovoltaice	493
24.8. Bibliografie	493
25. E-SRE pe piața de energie electrică. Sistemul certificatelor verzi	495
25.1. Scheme de susținere a E-SRE utilizate în țările Uniunii Europene	495
25.1.1. Motivele promovării E-SRE	495
25.1.2. Necesitatea aplicării de scheme de susținere pentru promovarea E-SRE....	495

25.1.3. Scheme de promovare a E-SRE	496
25.1.4. Conceptul certificatelor verzi	500
25.2. Cadrul legislativ	501
25.2.1. Cadrul legislativ european	501
25.2.2. Cadrul legislativ național	501
25.2.2.1. Legislația primară	501
25.2.2.2. Legislația secundară	503
25.3. Sistemul de promovare prin certificate verzi a producerii de E-SRE	503
25.3.1. Prevederi din HG 1892/2004 și HG 958/2005	503
25.3.2. Prevederi din Legea 220/2008	505
25.3.3. Prevederi din Legea 123/2012	511
25.3.4. Prevederi din <i>Regulamentul de organizare și funcționare a Pieței de Certificate Verzi</i>	511
25.3.5. Prevederi din <i>Metodologia de monitorizare a sistemului de promovare a E-SRE prin certificate verzi</i>	514
25.4. Rezultate din funcționarea Sistemului de promovare a E-SRE și a Pieței de Certificate Verzi în România în perioada 2005-2012	515
25.4.1. Structura participanților la Piața de Certificate Verzi	516
25.4.2. Gradul de ofertare a certificatelor verzi emise pe Piața de Certificate Verzi ..	517
25.4.3. Numărul de certificate verzi disponibile pe Piața de Certificate Verzi și gradul de valorificare a acestora	520
25.4.4. Prețul de tranzacționare al certificatelor verzi pe Piața de Certificate Verzi și venitul unitar al producătorului de E-SER	521
25.4.5. Gradul de îndeplinire al cotei anuale obligatorii de achiziție de certificate verzi	523
25.4.6. Efortul financiar al populației pentru promovarea E-SRE și creșterea prețului energiei electrice ca urmare a promovării E-SRE	524
25.4.7. Emisia de CO ₂ evitată ca urmare a promovării E-SRE	524
25.4.8. Gradul de îndeplinire al țintei naționale privind ponderea de E-SRE	525
25.5. Certificarea originii energiei electrice produse din resurse regenerabile	526
25.6. Prognoză privind efortul financiar al populației și impactul promovării E-SRE în România în perioada 2012-2020 în prețul energiei electrice la consumatorul final	529
25.7. Bibliografie	529
26. Influența asupra mediului și populației	531
26.1. Introducere	531
26.2. Impact vizual (încadrare în peisaj)	532
26.3. Instalațiile eoliene - sursă de zgomot acustic și de vibrații	534
26.4. Impactul asupra păsărilor zburătoare	535
26.5. Interferențe electromagnetice	536
26.6. Efect de pâlpâire (<i>flickering</i>) și de umbrire	537
26.7. Riscul declanșării unor avarii cu impact major	538
26.8. Alte tipuri de impact	538
26.9. Bibliografie	539
Anexă	540

27. Sisteme de stocare a energiei electrice	543
27.1. Necesitatea stocării energiei electrice produse de centralele eoliene și fotovoltaice....	543
27.2. Stocarea energiei electrice în câmp electric sau în câmp magnetic	544
27.2.1. Supercondensatoare sau ultracondensatoare	544
27.2.2. Stocarea magnetică a energiei electrice în supraconductoare (SMES)	545
27.3. Stocarea energiei electrice sub formă neelectrică (sub alte forme de energie)	545
27.3.1. Utilizarea bateriilor de acumuloare (stocare chimică)	545
27.3.1.1. Acumuloare cu plumb	546
27.3.1.2. Acumuloare alcaline	547
27.3.1.3. Acumuloare cu flux de electrolit (REDOX)	548
27.3.2. Utilizarea volantului pentru stocarea de energie (FES)	550
27.3.3. Stocare sub formă de aer comprimat (CAES)	552
27.3.4. Alte metode de stocare	552
27.4. Privire de ansamblu asupra metodelor de stocare	552
27.5. Bibliografie	553
28. Proiect, construcția și exploatarea unei centrale eoliene - Studiu de caz	555
28.1. Obiectul studiului de caz	555
28.2. Faza de inițiere și fezabilitate	557
28.2.1. Alegerea amplasamentului și evaluarea caracteristicilor vântului	557
28.2.2. Fezabilitatea tehnică	558
28.2.3. Evaluarea principalelor riscuri datorate prezenței centralei eoliene	558
28.2.4. Constrângeri rezultate din planurile de sistematizare ale autorităților locale	558
28.2.5. Finanțarea proiectului	559
28.3. Faza de pre construcție	560
28.3.1. Analiza în detaliu a amplasamentelor promițătoare și predicția energiei electrice nete produse de centrala eoliană	560
28.3.2. Conformitatea cu reglementările de protecție a mediului ambiant și cu planurile locale de sistematizare	561
28.3.2.1. Conformitatea cu reglementările de protecție a mediului ambiant	561
28.3.2.2. Poluarea sonoră produsă de unitățile eoliene	562
28.3.2.3. Impactul vizual	562
28.3.2.4. Securitatea oamenilor și a bunurilor	563
28.3.3. Conectarea la sistemul electroenergetic	563
28.3.3.1. Rețeaua electrică internă a centralei eoliene	563
28.3.3.2. Racordarea centralelor eoliene la sistemul electroenergetic	563
28.3.4. Contractul de vânzare - cumpărare a energiei electrice	564
28.3.5. Selectarea furnizorilor și a constructorilor	564
28.3.6. Analiza eficienței investiției	565
28.4. Faza de construcție	567
28.4.1. Aspecte generale despre procesul de construcție a centralei eoliene....	567
28.4.2. Controlul calității pe durata fabricației părților componente și construcției centralelor eoliene	568
28.4.3. Punerea în funcțiune și darea în exploatare	569

28.5. Faza de exploatare și mentenanță	570
28.5.1. Exploatarea zilnică	570
28.5.2. Garanții și asigurări	570
28.5.3. Mentenanța și reparații	570
28.6. Bibliografie	571
29. Etapele ce trebuie parcurse pentru realizarea unui proiect de sistem electroenergetic hibrid autonom pe bază de surse regenerabile de energie	573
29.1. Introducere	573
29.2. Determinarea necesarului de putere și energie consumată	573
29.2.1. Date de intrare pentru determinarea necesarului de putere și de energie consumată	573
29.2.2. Optimizarea consumului de energie electrică	574
29.2.3. Evaluarea consumului de energie electrică	578
29.3. Inventarierea și evaluarea surselor de energie regenerabilă disponibile pe amplasament	579
29.4. Acoperirea consumului de energie electrică din sursele regenerabile locale inventariat	580
29.4.1. Dimensionarea instalației fotovoltaice pentru acoperirea consumului de energie electrică	580
29.4.2. Dimensionarea bateriei de acumuloare	584
29.4.3. Dimensionarea invertorului	585
29.4.4. Regulatorul	586
29.4.5. Grup motor-generator ca sursă de rezervă	586
29.4.6. Alte componente	586
29.4.7. Evaluarea energiei electrice produse de o instalație eoliană de mică putere	587
29.5. Bibliografie	589
Anexă	589
30. Producerea de energie electrică pe bază de energie solară prin utilizarea sistemelor Dish-Stirling	595
30.1. Aspecte generale referitoare la motorul Stirling	595
30.2. Sistemul EuroDish - Stirling	599
30.2.1. Introducere	599
30.2.2. Descrierea Sistemului EuroDish - Stirling	605
30.3. Bibliografie	610