



# Inhoudsopgave

	<b>Inleiding</b> .....	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Elektrische grootheden</b> .....	<b>15</b>
1.1	<b>Inleiding</b>	<b>15</b>
1.2	<b>Éénfasige systemen</b>	<b>15</b>
1.2.1	Fasorvoorstelling sinusoidale grootheden .....	15
1.2.2	Complexe impedantie .....	18
1.3	<b>Vermogen van éénfasige systemen</b>	<b>20</b>
1.3.1	Actief vermogen .....	21
1.3.2	Reactief vermogen .....	22
1.3.3	Voorstelling spanningen en stromen in het complexe vlak .....	23
1.4	<b>Driefasige systemen</b>	<b>25</b>
1.4.1	Notaties en definities voor driefasige systemen .....	25

1.4.2	Ster- en driehoekschakeling . . . . .	27
<b>1.5</b>	<b>Vermogen in driefasige netten</b>	<b>28</b>
1.5.1	Drie-wattmetermethode . . . . .	29
1.5.2	Twee-wattmetermethode of Aronschakeling . . . . .	31
1.5.3	Eén-wattmetermethode bij een driefasig symmetrische belasting . . . . .	35
1.5.4	Metten van reactief vermogen . . . . .	36
1.5.5	Noodzaak van het gebruik van stroomtransfo's . . . . .	36
1.5.6	Overzicht om driefasige vermogens te meten . . . . .	37
<b>1.6</b>	<b>Besluit</b>	<b>37</b>
<b>1.7</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>37</b>
<b>2</b>	<b>Regelgeving . . . . .</b>	<b>39</b>
<b>2.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>39</b>
<b>2.2</b>	<b>De normen betreffende elektrische installaties</b>	<b>42</b>
2.2.1	De buitenlandse normering . . . . .	42
2.2.2	De Belgische wetgeving: het AREI . . . . .	43
<b>2.3</b>	<b>Machineveiligheid</b>	<b>45</b>
2.3.1	Machinerichtlijn 2006/42/EG . . . . .	45
2.3.2	Laagspanningsrichtlijn 2014/35/EG . . . . .	48
2.3.3	EMC-richtlijn 2014/30/EG . . . . .	49
<b>2.4</b>	<b>Terminologie bescherming tegen elektrische gevaren</b>	<b>51</b>
2.4.1	Spanningsgebieden . . . . .	51
2.4.2	Fouten en foutstromen in de installatie . . . . .	52
<b>2.5</b>	<b>De uitwendige invloeden</b>	<b>55</b>
2.5.1	Inleiding . . . . .	55
2.5.2	Codering . . . . .	56
2.5.3	Invloed van de omgeving <i>A</i> . . . . .	57
2.5.4	Invloeden van personen <i>B</i> . . . . .	60
2.5.5	Bouwkundige constructies <i>C</i> . . . . .	70
2.5.6	Overzicht . . . . .	72

<b>2.6</b>	<b>Beschermingsweergaven op toestellen</b>	<b>72</b>
2.6.1	Isolatieklassen volgens het AREI .....	72
2.6.2	IP-klassen .....	74
2.6.3	Labeling .....	76
<b>2.7</b>	<b>Technisch Reglement voor Distributie van Elektriciteit</b>	<b>80</b>
<b>2.8</b>	<b>De normen betreffende Power Quality</b>	<b>81</b>
2.8.1	Compatibiliteitsniveaus .....	81
2.8.2	Netcode EN 50160 .....	83
2.8.3	Toestelnormering .....	83
<b>2.9</b>	<b>Besluit</b>	<b>84</b>
<b>2.10</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>84</b>
<b>3</b>	<b>Energieverdeling .....</b>	<b>87</b>
<b>3.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>87</b>
<b>3.2</b>	<b>Opwekking van elektriciteit</b>	<b>88</b>
3.2.1	Thermische centrales .....	89
3.2.2	STEG centrales .....	89
3.2.3	Nucleaire centrales .....	91
3.2.4	Hernieuwbare energie .....	93
3.2.5	Discussie rond energie-opwekking .....	99
<b>3.3</b>	<b>Elektriciteitsverdeling</b>	<b>99</b>
3.3.1	Spanningsniveau's .....	101
3.3.2	Het internationale hoogspanningsnet .....	103
3.3.3	Het lokale distributienet .....	110
3.3.4	Structuur van elektrische energienetten .....	111
<b>3.4</b>	<b>De vrijgemaakte energiemarkt</b>	<b>113</b>
3.4.1	Inleiding .....	113
3.4.2	Spelers in de vrijgemaakte energiemarkt .....	114
3.4.3	Toekomstig energielandschap .....	120
<b>3.5</b>	<b>Smart grid</b>	<b>121</b>

<b>3.6</b>	<b>Decentrale productie</b>	<b>121</b>
<b>3.7</b>	<b>Besluit</b>	<b>122</b>
<b>3.8</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>123</b>
<b>4</b>	<b>Aansluiting hoogspanning Cat. I</b>	<b>125</b>
<b>4.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>125</b>
<b>4.2</b>	<b>Keuze voedingsysteem</b>	<b>127</b>
<b>4.3</b>	<b>Voorschriften aansluiting HS-distributienet</b>	<b>129</b>
4.3.1	Fases bij aansluiting van een cabine van de DNG	130
4.3.2	Functie en samenstelling van een cabine	134
4.3.3	Vereisten van het lokaal	137
<b>4.4</b>	<b>Functionele eenheden (FU's)</b>	<b>138</b>
4.4.1	Spanningsdetectoren	140
4.4.2	Interactie tussen de FU's en het lokaal	140
<b>4.5</b>	<b>Transformatoren</b>	<b>143</b>
<b>4.6</b>	<b>HS kabels</b>	<b>146</b>
4.6.1	HS-kabels voor aansluiting met het distributienet van de DNB	147
4.6.2	HS-kabels voor aansluiting met een intern distributienet	148
4.6.3	Verbinding tussen transformator en algemeen laagspanningsbord	149
<b>4.7</b>	<b>Beveiligingen</b>	<b>150</b>
4.7.1	Types beveiligingen	150
4.7.2	Overstroombeveiliging	152
4.7.3	Toepassing van de beveiliging tegen overstromen en aardfouten	158
4.7.4	Minimumspanningsbeveiliging	160
4.7.5	Zichtbare onderbreking op LS	161
<b>4.8</b>	<b>Aarding van cabines</b>	<b>162</b>
4.8.1	Aardingstechnologie	162
4.8.2	Aardingsonderbreker	163
<b>4.9</b>	<b>Schematische weergave van een hoogspanningscabine</b>	<b>164</b>

4.10	<b>De vitale acht</b>	<b>166</b>
4.11	<b>Besluit</b>	<b>167</b>
4.12	<b>Bibliografie</b>	<b>167</b>
<b>5</b>	<b>Aarding</b> .....	<b>169</b>
5.1	<b>Inleiding</b>	<b>169</b>
5.2	<b>Begrippen</b>	<b>170</b>
5.3	<b>Uitvoering van de aardverbinding</b>	<b>173</b>
5.3.1	Aardingslussen .....	174
5.3.2	Aardelektroden .....	175
5.4	<b>Berekenen van de aardingsweerstand</b>	<b>177</b>
5.4.1	Aardingslussen .....	178
5.4.2	Aardelektroden .....	179
5.5	<b>Metten van de totale aardingsweerstand van de installatie</b>	<b>179</b>
5.5.1	Vierpuntsmethode .....	180
5.5.2	Dead-earth-methode .....	182
5.5.3	Methode met twee stroomtangen of "Clamp-on"-methode .....	183
5.5.4	Lustestermethode .....	184
5.6	<b>Metten van een individuele elektrode in het aardingssysteem van de installatie</b>	<b>185</b>
5.6.1	Vierpuntsmethode in combinatie met een stroomtang .....	185
5.6.2	Methode met twee stroomtangen .....	185
5.7	<b>De aardingsinstallatie</b>	<b>185</b>
5.7.1	Opbouw aardingsinstallatie .....	187
5.7.2	Beschermingsgeleiders (AREI Afdeling 5.4.3.) .....	189
5.7.3	Aardgeleiders (AREI Afdeling 5.4.2.) .....	191
5.7.4	Hoofdequipotentiaalverbindingen (AREI Afdeling 5.4.4.) .....	192
5.7.5	Bijkomende equipotentiaalverbinding (AREI Afdeling 5.4.4.) .....	193
5.8	<b>Besluit</b>	<b>196</b>

<b>5.9</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>196</b>
<b>6</b>	<b>Netstelsels</b>	<b>199</b>
<b>6.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>199</b>
<b>6.2</b>	<b>Netstelsels</b>	<b>200</b>
6.2.1	Naamgeving van netstelsels	200
6.2.2	TT-net	201
6.2.3	TN-net	202
6.2.4	IT-net	205
6.2.5	IU-net	206
6.2.6	IM-net of IN-net	206
<b>6.3</b>	<b>Isolatiefout bij de verschillende netten</b>	<b>207</b>
6.3.1	TT-net	207
6.3.2	TN-net	209
6.3.3	IT-net	211
6.3.4	IU-net en IM-net: aarden van mobiele installaties	218
<b>6.4</b>	<b>Keuze van het gepaste netstelsel</b>	<b>219</b>
<b>6.5</b>	<b>Besluit</b>	<b>222</b>
<b>6.6</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>222</b>
<b>7</b>	<b>Leidingen</b>	<b>223</b>
<b>7.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>223</b>
<b>7.2</b>	<b>Geleiders en kabels</b>	<b>224</b>
7.2.1	Geleidermateriaal	225
7.2.2	Isolatie	226
7.2.3	Buisleidingen	227
7.2.4	Stroomrails	228
7.2.5	Codes en classificaties	230
7.2.6	Voorbeelden van veel gebruikte geleiders en kabels	236

<b>7.3</b>	<b>Plaatsingswijzen volgens het AREI en volgens IEC 60364</b>	<b>237</b>
7.3.1	Plaatsingswijzen volgens het AREI	237
7.3.2	Plaatsingswijzen volgens IEC 60364	239
<b>7.4</b>	<b>Bedrijfsstroom</b>	<b>241</b>
7.4.1	Gebruiksfactor	242
7.4.2	Gelijktijdigheidsfactor	243
7.4.3	Uitbreidingsfactor	243
<b>7.5</b>	<b>Thermische belasting van een leiding</b>	<b>244</b>
7.5.1	Maximale opwarming bij thermisch evenwicht	244
7.5.2	Bepaling van de kabeldoorsnede volgens IEC 60364	247
7.5.3	Intermitterende stromen	256
7.5.4	Maximale opwarming van korte duur	257
7.5.5	Grafische voorstelling van thermische belasting	261
<b>7.6</b>	<b>Parallele kabels</b>	<b>262</b>
7.6.1	Kabelimpedantie	262
7.6.2	Stroomverdeling	268
<b>7.7</b>	<b>Investeringsniveau en energiebesparing</b>	<b>271</b>
<b>7.8</b>	<b>Besluit</b>	<b>274</b>
<b>7.9</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>275</b>
<b>8</b>	<b>Beveiligingen</b>	<b>277</b>
<b>8.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>277</b>
8.1.1	Algemeen	277
8.1.2	Soorten schakelaars	278
<b>8.2</b>	<b>Zekeringen</b>	<b>279</b>
8.2.1	Opbouw en werkingsprincipe	279
8.2.2	Eigenschappen	283
8.2.3	Uitschakelkarakteristieken	285
<b>8.3</b>	<b>Vermogenschakelaars</b>	<b>290</b>
8.3.1	Opbouw en werkingsprincipe	290

8.3.2	Eigenschappen . . . . .	293
8.3.3	Uitschakelkarakteristieken . . . . .	295
<b>8.4</b>	<b>Differentieelschakelaars</b>	<b>301</b>
8.4.1	Opbouw en werkingsprincipe . . . . .	301
8.4.2	Eigenschappen . . . . .	303
8.4.3	Uitschakelkarakteristieken . . . . .	304
<b>8.5</b>	<b>Isolatiewachters</b>	<b>306</b>
8.5.1	Isolatiefout in een IT-net . . . . .	306
8.5.2	Werkingsprincipe . . . . .	307
<b>8.6</b>	<b>Lastscheiders</b>	<b>309</b>
8.6.1	Werkingsprincipe . . . . .	309
8.6.2	Schakelcategorieën . . . . .	310
8.6.3	Types lastscheiders . . . . .	312
<b>8.7</b>	<b>Plaatsing van de beveiliging</b>	<b>313</b>
8.7.1	Bescherming fasegeleiders en nulgeleider . . . . .	313
8.7.2	Plaatsing van de beveiliging . . . . .	316
8.7.3	Vrijstelling van de beveiliging . . . . .	316
<b>8.8</b>	<b>Beveiliging tegen overstroom</b>	<b>317</b>
8.8.1	Beveiliging van leidingen tegen overbelasting . . . . .	317
8.8.2	Beveiliging van leidingen tegen kortsluitstroom . . . . .	319
8.8.3	Beveiliging met zekeringen . . . . .	320
8.8.4	Beveiliging met vermogenschakelaar . . . . .	323
<b>8.9</b>	<b>Coördinatie</b>	<b>326</b>
<b>8.10</b>	<b>Selectiviteit</b>	<b>328</b>
8.10.1	Algemeen . . . . .	328
8.10.2	Selectiviteit tussen zekeringen . . . . .	329
8.10.3	Selectiviteit tussen vermogenschakelaars . . . . .	331
8.10.4	Selectiviteit tussen zekeringen en vermogenschakelaars . . . . .	334
<b>8.11</b>	<b>Filiatie</b>	<b>336</b>
<b>8.12</b>	<b>Besluit</b>	<b>337</b>



<b>8.13</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>339</b>
<b>9</b>	<b>Persoonsbeveiliging</b>	<b>341</b>
<b>9.1</b>	<b>Invloed van elektrische stroom door het lichaam</b>	<b>341</b>
9.1.1	Effecten op het menselijk lichaam	341
9.1.2	Invloedsfactoren	343
9.1.3	Rechtstreekse en onrechtstreekse aanraking	349
<b>9.2</b>	<b>Afleiden van de veiligheidscurven</b>	<b>350</b>
9.2.1	Foutstromen doorheen het menselijk lichaam	350
9.2.2	Stroominvloedscurven	352
9.2.3	Relatieve conventionele grensspanning	353
9.2.4	Absolute conventionele grensspanning	354
<b>9.3</b>	<b>Beschermingsmaatregelen</b>	<b>355</b>
9.3.1	Beschermingsmaatregelen tegen rechtstreekse aanraking	355
9.3.2	Beschermingsmaatregelen tegen onrechtstreekse aanraking	358
<b>9.4</b>	<b>Bijzonderheden</b>	<b>362</b>
9.4.1	Maximale lengte TN- en IT-net	362
9.4.2	Extra maatregelen voor globale aardingsweerstand in een TN-net	367
9.4.3	Dubbele fouten in een TN-net	368
<b>9.5</b>	<b>Besluit</b>	<b>369</b>
<b>9.6</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>370</b>
<b>10</b>	<b>Spanningsval</b>	<b>373</b>
<b>10.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>373</b>
<b>10.2</b>	<b>Spanningsval bij leidingen</b>	<b>374</b>
10.2.1	Éénfasige circuits	374
10.2.2	Driefasige circuits	375
10.2.3	Wettelijke bepalingen en normering	377
10.2.4	Harmonische spanningsval	380

<b>10.3</b>	<b>Spanningsval bij transformatoren</b>	<b>386</b>
10.3.1	T-equivalent vervangingsschema van een transformator . . . . .	386
10.3.2	Nullasttoestand van een transformator . . . . .	388
10.3.3	Kortsluittoestand van een transformator . . . . .	390
10.3.4	De transformator bij belasting . . . . .	391
<b>10.4</b>	<b>Spanningsval bij motoren</b>	<b>395</b>
10.4.1	Onderscheid tussen regimegedrag en opstarten van de motor . . . . .	395
10.4.2	Opmerking rond spanningsevoluties . . . . .	396
<b>10.5</b>	<b>Besluit</b>	<b>396</b>
<b>10.6</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>397</b>
<b>11</b>	<b>Kortsluitstromen</b> . . . . .	<b>399</b>
<b>11.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>399</b>
<b>11.2</b>	<b>Terminologie</b>	<b>400</b>
<b>11.3</b>	<b>Eénfasige kortsluiting bij constante spanning</b>	<b>401</b>
11.3.1	Kortsluiten van een <i>RL</i> -circuit . . . . .	401
11.3.2	Invloed van de plaats van de kortsluiting: dichtbij of ver van alternatoren 405	
<b>11.4</b>	<b>Karakteristieken van kortsluitstromen</b>	<b>405</b>
11.4.1	Soorten kortsluitingen in driefasige netten . . . . .	405
11.4.2	Minimale en maximale kortsluitstroom . . . . .	408
<b>11.5</b>	<b>Kortsluitstroomberekening volgens IEC 60909</b>	<b>411</b>
11.5.1	Equivalenten spanningsbron op de foutpositie: de spanningscorrectiefactor <i>c</i> 412	
11.5.2	Modelleren van de netvoeding . . . . .	416
11.5.3	Modelleren van transformatoren . . . . .	417
11.5.4	Modelleren van synchrone generatoren . . . . .	418
11.5.5	Modelleren van kabels . . . . .	419
11.5.6	Modelleren van inductiemotoren . . . . .	420
11.5.7	Het reduceren van componenten . . . . .	421
11.5.8	Berekenen van de regimekortsluitstroom . . . . .	422

11.5.9	Berekenen van de stoot- of piekkortsluitstroom . . . . .	422
11.5.10	Voorbeeld van berekening volgens IEC 60909 . . . . .	423
<b>11.6</b>	<b>Vereenvoudigde kortsluitstroomberekening zonder symmetrische componenten</b>	<b>429</b>
11.6.1	Driefasige kortsluiting . . . . .	429
11.6.2	Tweefasige kortsluiting . . . . .	430
11.6.3	Eénfasige kortsluiting . . . . .	430
<b>11.7</b>	<b>Symmetrische componenten</b>	<b>432</b>
11.7.1	Analyse van netten met behulp van symmetrische componenten . .	437
11.7.2	Impedanties in symmetrische componenten . . . . .	440
11.7.3	Vermogen in symmetrische componenten . . . . .	441
11.7.4	Model van driefasige transformatoren . . . . .	442
11.7.5	Voorbeeld: een éénfasig belast net in symmetrische componenten .	445
<b>11.8</b>	<b>Gedetailleerde kortsluitberekening in driefasige netten</b>	<b>446</b>
11.8.1	Driefasige kortsluiting of aardsluiting . . . . .	448
11.8.2	Tweefasige kortsluiting . . . . .	449
11.8.3	Tweefasige aardsluiting . . . . .	450
11.8.4	Eénfasige aardsluiting . . . . .	452
11.8.5	Berekening van kortsluitstromen . . . . .	454
11.8.6	Aarding . . . . .	457
11.8.7	Kortsluitvermogen . . . . .	460
11.8.8	Voorbeeld van berekening met symmetrische componenten . . . . .	461
<b>11.9</b>	<b>Vereenvoudigde kortsluitberekening</b>	<b>464</b>
11.9.1	Maximale kortsluitstroom . . . . .	464
11.9.2	Minimale kortsluitstroom . . . . .	464
<b>11.10</b>	<b>Besluit</b>	<b>466</b>
<b>11.11</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>467</b>
<b>12</b>	<b>Nulgeleider . . . . .</b>	<b>469</b>
<b>12.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>469</b>

<b>12.2</b>	<b>Nulgeleiderstroom bij lineaire belasting</b>	<b>470</b>
12.2.1	Lineaire belastingen . . . . .	470
12.2.2	Nulgeleiderstroom . . . . .	471
<b>12.3</b>	<b>Nulgeleiderstroom bij niet-lineaire belasting</b>	<b>474</b>
12.3.1	Niet-lineaire belastingen . . . . .	474
12.3.2	Nulgeleiderstroom . . . . .	476
<b>12.4</b>	<b>Kabelopwarming</b>	<b>481</b>
12.4.1	Warmteproductie in stroomvoerende geleiders . . . . .	481
12.4.2	Warmteproductie in kabels . . . . .	482
12.4.3	Casestudie . . . . .	482
<b>12.5</b>	<b>Wettelijke bepalingen van de nulgeleider</b>	<b>485</b>
<b>12.6</b>	<b>Besluit</b>	<b>487</b>
<b>12.7</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>487</b>
<b>13</b>	<b>Praktische handleiding . . . . .</b>	<b>489</b>
<b>13.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>489</b>
<b>13.2</b>	<b>Stappenplan voor de berekening van een industriële laagspanningsinstallatie</b>	<b>490</b>
13.2.1	Stap 1: Bepalen van de bedrijfsstromen van alle verbruikers . . . . .	491
13.2.2	Stap 2: Dimensioneren van de doorsnede van de leidingen . . . . .	494
13.2.3	Stap 3: Bepalen van de spanningsval over de leidingen . . . . .	497
13.2.4	Stap 4: Bepalen van de kortsluitstromen . . . . .	498
13.2.5	Stap 5: Keuze van beveiligingsapparatuur tegen overstroom . . . . .	499
13.2.6	Stap 6: Selectiviteit nagaan . . . . .	502
13.2.7	Stap 7: Filiatie toepassen . . . . .	502
13.2.8	Stap 8: Controle van persoonsbeveiliging bij onrechtstreekse aanraking	502
<b>13.3</b>	<b>Uitgewerkt voorbeeld 1 (kabel en beveiliging)</b>	<b>504</b>
<b>13.4</b>	<b>Uitgewerkt voorbeeld 2 (kabel en beveiliging)</b>	<b>510</b>
<b>13.5</b>	<b>Uitgewerkt voorbeeld 3 (volledig)</b>	<b>515</b>
13.5.1	Stap 1: Bepalen van bedrijfsstromen van alle verbruikers . . . . .	517

13.5.2	Stap 1 (kabel W1): Bepalen van de bedrijfsstroom . . . . .	521
13.5.3	Stap 2 (kabel W1): Dimensioneren van de doorsnede van de leiding	522
13.5.4	Stap 1 (kabel W2): Bepalen van de bedrijfsstroom . . . . .	525
13.5.5	Stap 2 (kabel W2): Dimensioneren van de doorsnede van de leiding	526
13.5.6	Stap 3: Bepalen van de spanningsval over de leidingen . . . . .	528
13.5.7	Stap 4: Bepalen van de kortsluitstromen . . . . .	531
13.5.8	Stap 5: Keuze van beveiligingsapparatuur tegen overstroom . . . . .	538
13.5.9	Stap 6: Selectiviteit nagaan . . . . .	548
13.5.10	Stap 7: Filiatie toepassen . . . . .	550
13.5.11	Stap 8: Controle van persoonsbeveiliging bij onrechtstreekse aanraking	551
13.5.12	Vergelijking met dimensioneringssoftware . . . . .	554
<b>13.6</b>	<b>Besluit</b>	<b>555</b>
<b>13.7</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>556</b>
<b>14</b>	<b>Netstelsels op gelijkspanning . . . . .</b>	<b>557</b>
<b>14.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>557</b>
<b>14.2</b>	<b>Classificatie volgens risicozones</b>	<b>559</b>
<b>14.3</b>	<b>Indeling van de DC-netstelsels</b>	<b>561</b>
14.3.1	Type netten en spanningsniveaus . . . . .	563
14.3.2	TT-DC-net . . . . .	563
14.3.3	TN-DC-net . . . . .	564
14.3.4	IT-DC-net . . . . .	567
<b>14.4</b>	<b>Beveiligen van DC-netten</b>	<b>567</b>
14.4.1	Bescherming tegen thermische invloeden . . . . .	568
14.4.2	Beveiliging tegen overstromen . . . . .	569
14.4.3	Beveiliging tegen overspanning . . . . .	569
14.4.4	Bescherming tegen corrosie . . . . .	570
14.4.5	Beveiligingsapparatuur . . . . .	571
<b>14.5</b>	<b>Besluit</b>	<b>572</b>
<b>14.6</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>573</b>

<b>15</b>	<b>Integratie van Hernieuwbare energie</b>	<b>575</b>
<b>15.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>575</b>
<b>15.2</b>	<b>Begrippen</b>	<b>577</b>
<b>15.3</b>	<b>Zonne-energie</b>	<b>578</b>
15.3.1	Inleiding	578
15.3.2	Zonneprofiel	582
<b>15.4</b>	<b>Windenergie</b>	<b>585</b>
15.4.1	Inleiding	585
15.4.2	Windprofiel	587
<b>15.5</b>	<b>Dimensionering van decentrale energieproductie</b>	<b>590</b>
15.5.1	Inleiding	590
15.5.2	Begrippen	592
15.5.3	Dimensionering	593
<b>15.6</b>	<b>Netkoppeling</b>	<b>600</b>
15.6.1	Begrippen en definities	600
15.6.2	Procedure voor de in- en buitendienststelling van (nieuwe) productie-installaties	603
15.6.3	Beveiligingsapparatuur	608
<b>15.7</b>	<b>Directe lijnen</b>	<b>610</b>
15.7.1	Inleiding	610
15.7.2	Wetgevend kader	611
15.7.3	Heffing op de exploitatie van een directe lijn in het Vlaams Gewest	613
15.7.4	Toepassingsgebied van een directe lijn	613
15.7.5	Besluit	617
<b>15.8</b>	<b>Casus</b>	<b>617</b>
15.8.1	Impact van de tijdsresolutie	617
15.8.2	Kwartierdata: een eerste benadering	619
15.8.3	Finetunen met een ogenblikkelijke meting	620
<b>15.9</b>	<b>Besluit</b>	<b>623</b>
<b>15.10</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>623</b>

<b>16</b>	<b>Power quality in de installatietechniek</b>	<b>625</b>
<b>16.1</b>	<b>Inleiding tot Power Quality</b>	<b>625</b>
<b>16.2</b>	<b>Power Quality parameters</b>	<b>631</b>
16.2.1	Effectiefwaarde of Root-Mean-Square (rms)	632
16.2.2	Crestfactor	633
16.2.3	Vormfactor	634
16.2.4	Totale Harmonische distorsie (THD)	634
16.2.5	Actief vermogen	635
16.2.6	Schijnbaar vermogen	637
16.2.7	Reactief vermogen	638
16.2.8	Power factor	641
16.2.9	Onbalans	642
16.2.10	Flikker	642
<b>16.3</b>	<b>Oorzaken van een gereduceerde vermogenskwaliteit</b>	<b>644</b>
16.3.1	Gelijkrichting en harmonischen	644
16.3.2	Common DC-bus	647
16.3.3	Actieve gelijkrichting	648
16.3.4	Efficiëntie en power factor	652
<b>16.4</b>	<b>Problemen veroorzaakt door gereduceerde vermogenskwaliteit</b>	<b>653</b>
16.4.1	Extra belasting van transformatoren	654
16.4.2	Correcte metering	660
16.4.3	Power Quality en elektrische machines	661
<b>16.5</b>	<b>Besluit</b>	<b>664</b>
<b>16.6</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>665</b>
<b>17</b>	<b>Compensatie van reactief vermogen</b>	<b>667</b>
<b>17.1</b>	<b>Compensatie van reactief vermogen</b>	<b>667</b>
<b>17.2</b>	<b>Actief vermogen, reactief vermogen, arbeidsfactor</b>	<b>668</b>
<b>17.3</b>	<b>Belang van een goede arbeidsfactor</b>	<b>672</b>

<b>17.4</b>	<b>Berekening van het benodigde reactief vermogen</b>	<b>674</b>
<b>17.5</b>	<b>Inschakelen van condensatorbatterijen</b>	<b>676</b>
<b>17.6</b>	<b>Condensatorbatterij in netten met harmonische vervuiling</b>	<b>679</b>
17.6.1	Stroomharmonischen als gevolg van spanningsharmonischen . . . . .	679
17.6.2	Resonantie in netten met harmonischen . . . . .	680
17.6.3	Maatregelen tegen resonanties: antiresonantiespoelen . . . . .	683
17.6.4	Keuze van het type compensatie-uitrusting . . . . .	684
<b>17.7</b>	<b>Aansluiting en beveiliging van condensatorbatterijen</b>	<b>686</b>
17.7.1	Vermogenschakelaars voor beveiliging van de condensatorbatterij . . .	686
17.7.2	Kabeldoorsnede van aansluitkabels van de condensatorbatterij . . .	688
<b>17.8</b>	<b>Individuele compensatie tegenover centrale compensatie</b>	<b>688</b>
<b>17.9</b>	<b>Individuele compensatie van inductiemotoren</b>	<b>689</b>
<b>17.10</b>	<b>Compensatie van transformatoren</b>	<b>692</b>
<b>17.11</b>	<b>Procedure voor de keuze van een condensatorbatterij</b>	<b>694</b>
17.11.1	Berekening op basis van meetgegevens of de elektriciteitsfactuur . . .	694
17.11.2	Berekening op basis van elektrische gegevens van de installatie . . .	695
17.11.3	Keuze van het type en de wijze van compensatie . . . . .	696
<b>17.12</b>	<b>Besluit</b>	<b>697</b>
<b>17.13</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>698</b>
<b>18</b>	<b>Harmonische filters . . . . .</b>	<b>699</b>
<b>18.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>699</b>
<b>18.2</b>	<b>Passieve filtering van harmonische stromen</b>	<b>699</b>
18.2.1	Types passieve filters . . . . .	700
18.2.2	Dimensionering en plaatsing van filters . . . . .	705
<b>18.3</b>	<b>Harmonische filters: actieve filtering</b>	<b>711</b>
18.3.1	Werking . . . . .	711
18.3.2	Impact van actief filteren op spannings- en stroomdistortie . . . . .	713



18.3.3	Hybride filtersystemen . . . . .	714
<b>18.4</b>	<b>Besluit</b>	<b>715</b>
<b>18.5</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>715</b>
<b>19</b>	<b>UPS-systemen . . . . .</b>	<b>717</b>
<b>19.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>717</b>
<b>19.2</b>	<b>Netnoodvoeding en hulpvoeding</b>	<b>717</b>
19.2.1	Netnoodvoeding . . . . .	717
19.2.2	Hulpvoedingen . . . . .	718
<b>19.3</b>	<b>Uninterruptable Power Supply</b>	<b>719</b>
19.3.1	Statische UPS-systemen . . . . .	721
19.3.2	Classificatie volgens de norm EN 50091-3 . . . . .	727
19.3.3	Roterende UPS systemen . . . . .	727
19.3.4	UPS systemen in combinatie met dieselmotor . . . . .	729
19.3.5	Voeding vanuit een UPS systeem . . . . .	731
19.3.6	Dimensioneren van een UPS systeem . . . . .	733
<b>19.4</b>	<b>Besluit</b>	<b>735</b>
<b>19.5</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>736</b>
<b>20</b>	<b>Bliksem- en overspanningsbeveiliging . . . . .</b>	<b>737</b>
<b>20.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>737</b>
<b>20.2</b>	<b>Overspanningen in elektrische installaties</b>	<b>738</b>
20.2.1	Karakteristiek van een overspanning . . . . .	738
20.2.2	Schakeloverspanningen . . . . .	740
20.2.3	Atmosferische ontladingen . . . . .	740
20.2.4	Karakteristieken van bliksem . . . . .	742
20.2.5	Effect van bliksem op de elektrische installatie . . . . .	744
<b>20.3</b>	<b>Inkoppelmechanismen</b>	<b>745</b>
20.3.1	Ohmse inkoppeling . . . . .	745

20.3.2	Inductieve inkoppeling	747
20.3.3	Capacitieve inkoppeling	747
<b>20.4</b>	<b>Normering</b>	<b>748</b>
20.4.1	Norm EN62305	749
20.4.2	Bliksembeveiligingszone	749
<b>20.5</b>	<b>Bescherming tegen overspanningen</b>	<b>751</b>
20.5.1	Uitwendige beveiliging	752
20.5.2	Bescherming van de elektrische installatie	754
<b>20.6</b>	<b>Besluit</b>	<b>760</b>
<b>20.7</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>761</b>
<b>21</b>	<b>EMC in elektrische installaties</b>	<b>763</b>
<b>21.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>763</b>
21.1.1	EMC en EMI	763
21.1.2	EMC-model	765
21.1.3	Indeling van het hoofdstuk	766
<b>21.2</b>	<b>EMC-richtlijn</b>	<b>767</b>
<b>21.3</b>	<b>Spectrum</b>	<b>772</b>
21.3.1	Decibel	772
21.3.2	Periodieke signalen	773
21.3.3	Ideale blok golf	774
21.3.4	Trapezoidale kloksignalen	778
21.3.5	Vermogenselektronische componenten	779
21.3.6	Invloed van ringing	781
<b>21.4</b>	<b>Parasitair gedrag</b>	<b>781</b>
21.4.1	Impedantie	781
21.4.2	Weerstand	783
21.4.3	Spoel	784
21.4.4	Condensatoren	785
21.4.5	Ronde geleiders	787
21.4.6	Motorimpedantie	788

<b>21.5</b>	<b>Modes</b>	<b>789</b>
21.5.1	Common mode en differential mode . . . . .	789
21.5.2	Common mode bron bij vermogenselektronische toestellen . . . . .	793
21.5.3	Common mode pad bij een drive-motor-kabel . . . . .	794
21.5.4	Referentie . . . . .	796
21.5.5	Koppelpaden . . . . .	796
21.5.6	Gemeenschappelijke impedantie . . . . .	797
21.5.7	Capacitieve koppeling . . . . .	798
21.5.8	Inductieve koppeling . . . . .	799
21.5.9	Koppeling via EM-velden . . . . .	800
<b>21.6</b>	<b>Oplossen van EMI-problemen</b>	<b>801</b>
21.6.1	Inleiding . . . . .	801
21.6.2	Snelheid beperken . . . . .	801
21.6.3	Netfilters . . . . .	801
21.6.4	Kabels . . . . .	806
21.6.5	Hoogfrequente equipotentialiteit . . . . .	812
<b>21.7</b>	<b>Besluit</b>	<b>813</b>
<b>21.8</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>814</b>
	<b>Bijlagen</b> . . . . .	<b>815</b>
	<b>Bijlage A: Toelaatbare stroomwaarden door kabels</b>	<b>816</b>
	<b>Bijlage B: Toelaatbare stroomwaarden door rails</b>	<b>829</b>
	<b>Bijlage C: Kabeltypes</b>	<b>833</b>
	<b>Bijlage D: Kleine elektrische installaties</b>	<b>839</b>
	<b>Bijlage E: Karakterisatie volgens CLC/TR 50480</b>	<b>857</b>
	<b>Index</b> . . . . .	<b>863</b>