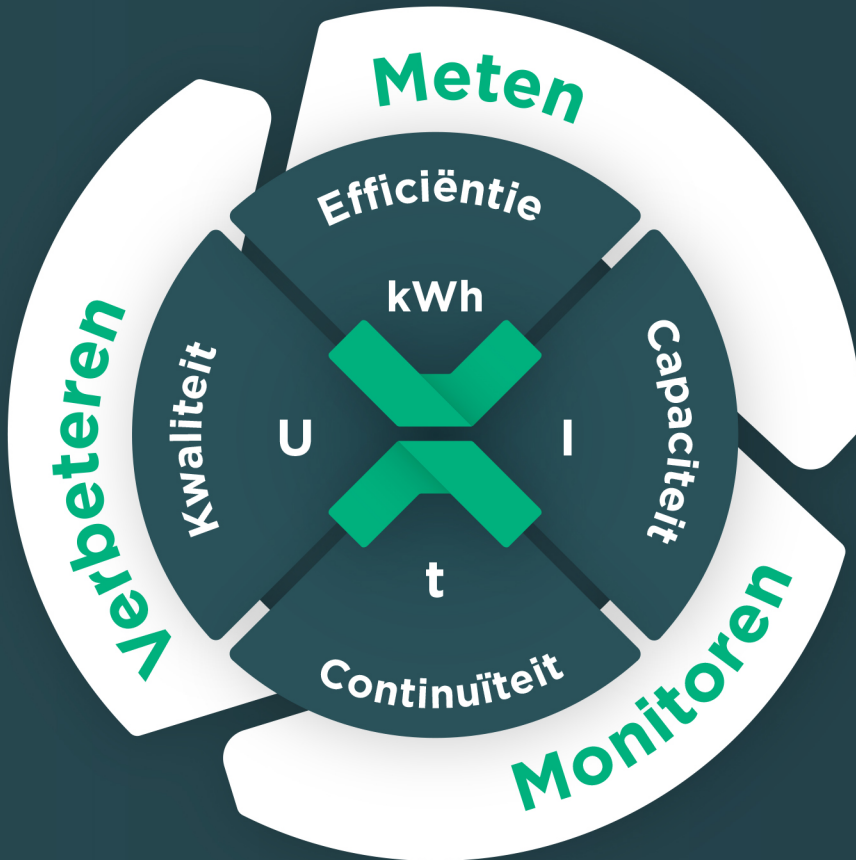


Perfect Power



Het **meten, monitoren** en **verbeteren** van de **vier management-aspecten** van **elektriciteit**.

Perfect Power

Auteur: Arjan Pit

Technische redactie: Wiljan Stegeman, Jarno Schoen en Joeri Kruidhof

Opmaak: Yulin Nota

Eindredactie: Nederlands Taalbureau

Illustraties: forttop, tenzij anders vermeld

Uitgeverij: forttop Automation & Energycontrol BV

NUR 468

IBSN 978-90-904-1681-6

Eerste druk, eerste oplage

© 2026 ForTop Automation & Energycontrol B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van forttop.

forttop behoudt, respectievelijk de rechthebbenden behouden, alle rechten met betrekking tot de in deze uitgave opgenomen teksten, afbeeldingen, grafisch materiaal en logo's.

forttop heeft bij het samenstellen van deze uitgave zoveel mogelijk getracht de rechthebbenden van alle gebruikte materialen te achterhalen. Mocht u als rechthebbende onverhoopt niet zijn vermeld of toestemming nodig achten, dan kunt u contact opnemen met forttop. forttop zal dit in overleg corrigeren of regelen.

Voorwoord

Ik zit nu ruim 40 jaar in dit vak en ik zie hoe fundamenteel de rol van elektrische energie is veranderd. Wat ooit vanzelfsprekend leek, is dat allang niet meer. Elektriciteit vormt het fundament onder onze moderne samenleving, maar tegelijk is de beschikbaarheid, kwaliteit en voorspelbaarheid ervan steeds minder zeker geworden. Die ontwikkeling zien wij dagelijks terug bij onze klanten.

In ziekenhuizen, datacenters en industriële omgevingen zijn processen volledig afhankelijk van een continue en betrouwbare elektriciteitsvoorziening. Tegelijkertijd zorgt de energietransitie voor een ingrijpende verandering van het speelveld. Elektrificatie, decentrale opwekking, vermogenselektronica en netcongestie leggen een steeds grotere druk op bestaande installaties. Daarmee groeit niet alleen de vraag naar elektrische energie, maar ook de kwetsbaarheid van elektrische infrastructuur.

Daarnaast is de wereld rondom meten sterk veranderd. Wat een energiemeter vandaag kan, was jaren geleden nauwelijks voorstelbaar. Vermogens, harmonischen, spanningsdips, onbalans, piekbelastingen — alles is meetbaar. Maar in de praktijk zien we dat meten alleen niet voldoende is. De echte uitdaging zit in het begrijpen van wat deze parameters betekenen voor een installatie, een proces en uiteindelijk voor de bedrijfszekerheid. Pas wanneer die vertaalslag wordt gemaakt, ontstaat de mogelijkheid om gericht te sturen en betere beslissingen te nemen.

Dat inzicht is in de loop der jaren steeds scherper geworden. Wat begon vanuit de verkoop en toepassing van meters, groeide uit tot een bredere overtuiging: techniek krijgt pas waarde wanneer gebruikers begrijpen wat ze zien en weten hoe ze die informatie moeten benutten. Dit boek voelt daarmee ook als een persoonlijke mijlpaal. De kennis en ervaring die wij als fortop in de praktijk hebben opgebouwd, is nu vastgelegd in een samenhangend handboek. Inzicht is de sleutel tot betere beslissingen — dat is waar wij in geloven en wat in dit boek wordt beschreven.

Dat is precies waar wij als fortop voor staan. Wij helpen klanten om data te vertalen naar inzicht, en inzicht naar actie. Niet alleen vanuit de theorie, maar ook vanuit jarenlange praktijkervaring. We zien keer op keer dat de oorzaken van problemen vaak binnen de installatie zelf liggen. Zonder goed begrip van spanning en stroom blijven die problemen onzichtbaar, totdat ze leiden tot storingen, onnodige investeringen of energieverlies.

Vanuit die overtuiging is Perfect Power ontstaan.

In dit boek benaderen we elektrische energie aan de hand van vier samenhangende managementaspecten: netcapaciteit, netkwaliteit, continuïteit en efficiëntie. Deze vier aspecten maken de prestaties van een elektrische installatie inzichtelijk en bestuurbaar. Ze laten zien hoe de kwaliteit van stroom en spanning direct van invloed is op beschikbare capaciteit, betrouwbaarheid en energieverbruik. Door deze aspecten in samenhang te bekijken, ontstaat grip op de complexiteit die de energietransitie met zich meebrengt.

Perfect Power is bedoeld als praktisch handboek voor beheerders van elektrotechnische installaties én als studieboek voor het HBO. In samenwerking met het onderwijs en vanuit ons Experience Center brengen wij theorie en praktijk bewust samen. Kennis delen en opleiden zijn voor ons geen bijzaak, maar een essentieel onderdeel van onze bedrijfsfilosofie en een belangrijke pijler onder ons succes. Wij geloven dat goed geïnformeerde gebruikers betere keuzes maken — technisch, financieel en strategisch.

Dit boek had niet tot stand kunnen komen zonder de inzet en kennis van velen. In het bijzonder danken wij Arjan Pit, die zijn vakinhoudelijke diepgang en praktijkervaring heeft weten te vertalen naar een toegankelijk en toepasbaar geheel. Daarnaast bedanken wij onze forttop-collega's die met hun kennis, kritische blik en dagelijkse praktijkervaring direct of indirect hebben bijgedragen aan de inhoud.

Tot slot danken wij onze klanten. De vele gesprekken, power-quality-onderzoeken en workshops hebben ons uitgedaagd en aangescherpt. Hun praktijkvragen en ervaringen vormen de basis van dit boek.

Wij hopen dat Perfect Power bijdraagt aan beter begrip, betere beslissingen en beter presterende elektrische installaties — vandaag en in de toekomst.

Harmen Sikkema,
Algemeen directeur
fortop Automation & Energycontrol BV

Zwartsluis, 16 januari 2026

INHOUD

1.	INLEIDING	10
1.1	Versnelling van de energietransitie.....	11
1.2	Grote uitdagingen voor technisch beheerders.....	12
1.3	De vier managementaspecten van elektriciteit	13
1.4	Netoptimalisatie door meten, monitoren en verbeteren	14
1.5	Leeswijzer	16
1.6	Verantwoording	17
2.	NETCAPACITEIT	20
2.1	Inleiding.....	20
2.2	Stroom en vermogen bij een lineaire belasting	22
2.2.1	Stroom en vermogen bij een resistieve belasting	22
2.2.2	Stroom en vermogen bij een inductieve belasting	25
2.2.3	Stroom en vermogen bij een capacatieve belasting	30
2.2.4	$\cos \varphi$ (cosinus φ of arbeidsfactor)	32
2.2.5	Vermogensdriehoeken bij lineaire belastingen	34
2.2.6	Richtingen van het werkelijk vermogen	35
2.2.7	Gevolgen van teruggeleverd werkelijk vermogen	37
2.2.8	Richtingen van het reactief vermogen	37
2.2.9	Gevolgen van reactief blindvermogen	38
2.2.10	Stroom bij asymmetrische belastingen	39
2.2.11	Gevolgen van een asymmetrische belasting.....	40
2.3	Stroom en vermogen bij niet-lineaire belastingen.....	42
2.3.1	Het ontstaan van niet-lineaire stroomvormen.....	43
2.3.2	Fourieranalyse en harmonischen.....	44
2.3.3	Stroom bij een enkelfasige passieve gelijkrichter	46
2.3.4	Stroom bij een zespulsige passieve gelijkrichter	47
2.3.5	Total Harmonic Distortion (THDi) en Total Demand Distortion (TDD)	48
2.3.6	Vermogen bij niet-lineaire belastingen	50
2.3.7	De powerfactor (PF) versus $\cos \varphi$	51
2.3.8	Toepassing vermogensdriehoeken bij niet-lineaire belastingen.....	54
2.3.9	Gevolgen van harmonische stromen voor de capaciteit.....	54
2.3.10	Stroom bij een actieve gelijkrichter.....	59
2.3.11	Gevolgen van supra-harmonischen voor de capaciteit	60
2.4	Normen, richtlijnen en verantwoordelijkheden	61
2.4.1	Definitie referentiepunten	61
2.4.2	Regelgeving op het overdrachtpunt van netbeheerder naar aangeslotene	62

2.4.3	Regelgeving op het overdrachtspunt van de installatie naar de aangesloten apparatuur	65
3.	NETKWALITEIT	68
3.1	Inleiding.....	68
3.2	Spanningskwaliteit bij lineaire belastingen	70
3.2.1	Langzame spanningsvariaties (onder- en overspanning)	70
3.2.2	Gevolgen van langzame spanningsvariaties (over- en onderspanning)	73
3.2.3	Frequentie.....	73
3.2.4	Gevolgen van een niet-stabiele frequentie	75
3.2.5	Flicker	75
3.2.6	Gevolgen van flicker	76
3.2.7	Onbalans.....	76
3.2.8	Gevolgen van spanningsonbalans	78
3.3	Spanningskwaliteit bij niet-lineaire belastingen	79
3.3.1	Spanningsharmonischen	79
3.3.2	Total Harmonic Distortion in de spanning (THDu)	82
3.3.3	Toename van spanningsharmonischen in zwakke netten.....	82
3.3.4	Gevolgen spanningsharmonischen	84
3.3.5	Supra-harmonische spanningen	85
3.3.6	Gevolgen supra-harmonischen in de spanning	85
3.3.7	Resonantie in elektrische distributiesystemen.....	86
3.3.8	Gevolgen van elektrische resonanties	89
3.4	Normen, richtlijnen en verantwoordelijkheden	91
3.4.1	Regelgeving op het overdrachtspunt van netbeheerder naar aangeslotene	91
3.4.2	Regelgeving op het overdrachtspunt van de installatie naar de aangesloten apparatuur	93
3.4.3	Power quality buiten de norm?	95
4.	CONTINUÏTEIT	98
4.1	Inleiding.....	98
4.2	Stroomincidenten	99
4.2.1	Inschakelstromen.....	99
4.2.2	Gevolgen inschakelstromen.....	101
4.2.3	Kortsluitstromen.....	101
4.2.4	Gevolgen kortsluitstromen.....	102
4.2.5	Overstroom (overbelasting)	103
4.2.6	Gevolgen van overbelasting.....	103
4.3	Spanningsincidenten	104
4.3.1	Transiënten.....	105
4.3.2	Gevolgen van transiënten.....	106
4.3.3	Spanningsdips	106
4.3.4	Gevolgen van spanningsdips	111
4.3.5	Rapid Voltage Changes.....	111

4.3.6	Gevolgen Rapid Voltage Changes.....	112
4.4	Normen, richtlijnen en verantwoordelijkheden	113
4.4.1	Regelgeving op het overdrachtpunt van netbeheerder naar aangeslotene	113
4.4.2	Regelgeving op het overdrachtpunt van de installatie naar de aangesloten apparatuur	114
5.	EFFICIËNTIE.....	116
5.1	Inleiding.....	116
5.1.1	Wat is energie-efficiëntie?.....	117
5.2	Invloed van de stroom op de efficiëntie van de installatie	119
5.2.1	Energieverliezen in kabels en leidingen	119
5.2.2	Energieverliezen in distributietransformatoren	123
5.2.3	Energieverliezen in generatoren.....	128
5.2.4	Energieverliezen in UPS-systemen	130
5.3	Invloed van de spanning op de efficiëntie van aangesloten apparatuur... 134	
5.3.1	Invloed van langzame spanningsvariaties.....	134
5.3.2	Invloed van spanningsharmonischen.....	134
5.3.3	Invloed van spanningsonbalans	136
5.4	Normen en regelgeving.....	138
5.4.1	Normen	138
5.4.2	Nationale en Europese regelgeving	140
6.	METEN.....	144
6.1	Inleiding.....	144
6.2	Meettransformatoren	145
6.2.1	Traditionele stroomtransformatoren.....	146
6.2.2	Traditionele stroomtransformatoren in deelbare uitvoering.....	150
6.2.3	Low-power-stroomtransformatoren	151
6.2.4	Rogowski-spoelen	152
6.2.5	Beveiligingstransformatoren	154
6.2.6	Middenspanningsgeïsoleerde spanningstransformatoren.....	155
6.2.7	Meetnauwkeurigheid van meetstroomtransformatoren.....	155
6.3	Tijdelijk meten	158
6.4	Permanent meten	161
6.4.1	Geschiedenis permanent meten in elektrotechnische installaties	161
6.4.2	Kilowattuurmeters	165
6.4.3	Energy-, power- en meerkanaals-analysers	167
6.4.4	Normen en richtlijnen voor permanent meten.....	171
6.4.5	Meetnauwkeurigheid meetinstrumenten.....	172
6.5	Interpretatie meetwaarden.....	174
6.5.1	Principewerking analysers	174

6.5.2	Momentane, gemiddelde en maximaal gemiddelde waarden	176
6.5.3	Meetnauwkeurigheid in de praktijk	178
6.5.4	Uitlezen en verwerken van meetgegevens	178
6.6	Het toepassen van de juiste meter in de praktijk.....	180
6.6.1	De niveaus binnen een elektrische installatie.....	180
6.6.2	Kies de juiste meter.....	181
6.6.3	Aandachtspunten bij het aansluiten van meetcircuits	184
6.6.4	Configuratie-analysers	186
6.6.5	Mogelijke aansluitfouten.....	186
7.	MONITOREN	190
7.1	Inleiding.....	190
7.2	Datacollectie.....	191
7.2.1	Communicatie-interfaces.....	191
7.2.2	Generieke communicatiearchitectuur	193
7.2.3	Protocollen	194
7.2.4	Data-integriteit.....	196
7.2.5	Datasets binnen de vier managementaspecten.....	197
7.2.6	Database.....	198
7.3	Systeemarchitectuur	200
7.3.1	Standalone-desktopapplicatie	200
7.3.2	Desktopapplicatie met centrale service	201
7.3.3	Centrale webapplicatie.....	202
7.3.4	High-availabilityapplicatie	203
7.3.5	Cloudapplicatie.....	204
7.4	Functies binnen een powermonitorsysteem	205
7.4.1	Visualiseren	206
7.4.2	Notificeren.....	206
7.4.3	Rapporteren.....	208
7.4.4	Analyseren.....	209
7.5	Het toepassen van de juiste software in de praktijk	211
7.5.1	Softwareapplicaties voor het sturen en monitoren van energiestromen	211
7.5.2	Welke systeemarchitectuur is het best toe te passen?.....	212
7.5.3	Aandachtspunten bij het toepassen van monitoringapplicaties.....	214
7.5.4	Continu monitoren met een EPMS.....	215
8.	VERBETEREN	218
8.1	Inleiding.....	218
8.2	In serie geschakelde compensatietechnieken.....	219
8.2.1	Passieve filters (in serie geschakeld)	219
8.2.2	Multipuls-gelijkrichters.....	220

8.2.3	Active Front Ends (AFE)	221
8.3	Parallel geschakelde compensatietechnieken	222
8.3.1	Passieve filters voor blindstroomcompensatie (PFC-classic)	223
8.3.2	Actieve filters voor blindstroomcompensatie (SVG)	226
8.3.3	Passieve filters voor harmonische compensatie	228
8.3.4	Actieve filters voor harmonische compensatie (AHF)	230
8.3.5	Modulair Hybride Filters (FPH)	232
8.3.6	Dynamische spanningsregelaar (DVR)	233
8.3.7	Blindstroomcompensatie op middenspanning (MV-PFC)	235
8.3.8	Static Synchronous Compensator (STATCOM)	236
8.4	Het toepassen van het juiste filter in de praktijk	238
8.4.1	Compensatietechnieken samengevat	238
8.4.2	Verbeteren stroom (netcapaciteit, $\cos\phi$ en powerfactor)	239
8.4.3	Verbeteren spanning (netkwaliteit)	243
8.4.4	Verbeteren continuïteit (beschikbaarheid)	245
8.4.5	Verbeteren energie-efficiëntie	247
9.	PERFECT POWER	250
10.	BIBLIOGRAFIE	253
	BEGRIPPENLIJST	254

1. Inleiding

Ziekenhuizen, datacenters en de kritische procesindustrie zijn niet meer weg te denken uit onze moderne samenleving. Allemaal hebben ze één essentieel punt gemeen: de constante behoefte aan betrouwbare elektriciteit. De beschikbaarheid ervan houdt deze bedrijfssectoren draaiende en is een voorwaarde voor een gezonde bedrijfsvoering. Toch ondervindt het merendeel van deze stroomverbruikers toenemende problemen in de elektrische energievoorziening.

Door de gevolgen van de energietransitie vormen tekorten in netcapaciteit, spanningsproblemen en storingen, zoals dips, een voortdurende uitdaging voor stroomverbruikers. Geplande uitbreidingen en in-voeding met duurzame opwekking zijn niet altijd mogelijk. Soms kunnen problemen in de energievoorziening leiden tot volledige uitval, maar vaak worden de gevolgen niet gelinkt aan problemen in de spanning. Onnodige energieverliezen en hoge onderhoudskosten zijn latent aanwezig en stapelen zich op.

De toekomst vraagt om een elektriciteitsinfrastructuur die niet alleen betrouwbaar is, maar ook duurzaam en efficiënt. Daarom dit boek. Voor beheerders van elektrotechnische installaties is dit boek een essentieel handboek en een houvast voor de dagelijkse praktijk. Voor studenten biedt het de kennis en praktische gereedschappen voor wat ze in de toekomst zullen tegenkomen.



Figuur 1-1: Installaties zijn voor een goede werking afhankelijk van kwalitatief goede elektriciteit (bron: Shutterstock).

1.1 Versnelling van de energietransitie

De energietransitie omvat alle ontwikkelingen die nodig zijn om los te komen van traditionele, op fossiele brandstoffen gebaseerde energiebronnen, zoals kolen, olie en gas. Deze energietransitie is urgent. De gevolgen van klimaatverandering en de energieafhankelijkheid van minder betrouwbare landen worden steeds nadrukkelijker ondervonden.

Er wordt veel gedaan om de energietransitie mogelijk te maken. Dit omvat subsidies voor hernieuwbare energie, emissiereductiedoelen, het beprijzen van CO₂-uitstoot en het verplicht stellen van energiebesparende maatregelen. Het optimaliseren van energiestromen staat centraal. Dit vraagt om grote veranderingen in zowel de techniek, de maatschappij als de overheden.

Binnen de energietransitie kunnen de volgende ontwikkelingen worden onderscheiden:

Elektrificatie

Toenemende vraag naar elektrische energie door toepassing van warmtepompen in plaats van gasgestookte ketels, elektrische boilers en elektrisch vervoer.

Energie-efficiëntie

Het verbeteren van de energie-efficiëntie in gebouwen, industrie en transport is een belangrijke focus. Daarom wordt er steeds meer energiezuinige apparatuur toegepast. Denk hierbij aan frequentieregelaars en LED-verlichting. Daarnaast is er toenemende aandacht voor het beperken van energieverliezen in de elektrische infrastructuur zelf.

Hernieuwbare energiebronnen

De groei van opwek door zon en wind blijft toenemen. Zonne- en windenergie in het bijzonder hebben sterk geprofiteerd van de technologische vooruitgang en van dalende kosten. Deze technologieën worden zo steeds concurrerender met fossiele brandstoffen.

Decentrale energieproductie

Decentrale energieproductie, zoals zonnepanelen op daken en kleinschalige windturbines, wordt steeds belangrijker. Dit vermindert de afhankelijkheid van centrale energiecentrales en legt minder druk op de netcongestie.

Energieopslag

De ontwikkeling en implementatie van Battery Energy Storage Systems (BESS) en waterstofopslag verbeteren de betrouwbaarheid van hernieuwbare energiebronnen. Dit maakt het mogelijk om elektriciteit op te slaan bij hoge productie en te gebruiken wanneer dat nodig is.

Slimme elektriciteitsnetten

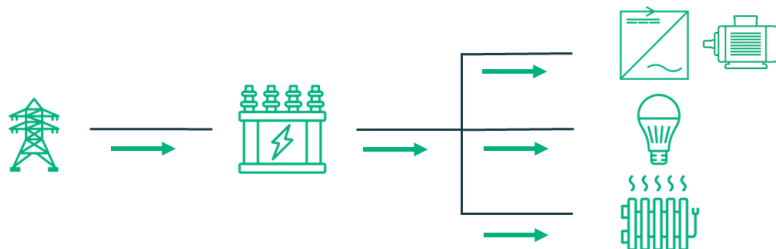
De modernisering en uitbreiding van elektriciteitsnetten wordt cruciaal om de integratie van hernieuwbare energiebronnen en energieopslag te ondersteunen. Meer inzicht en digitalisering spelen hierin een belangrijke rol.



Figuur 1-2: De elektrificatie staat centraal in de energievoorziening (bron: Shutterstock).

1.2 Grote uitdagingen voor technisch beheerders

Decennia terug was het simpel. Elektrische energie werd voornamelijk opgenomen uit het net en vermogenselektronica werd nauwelijks toegepast.

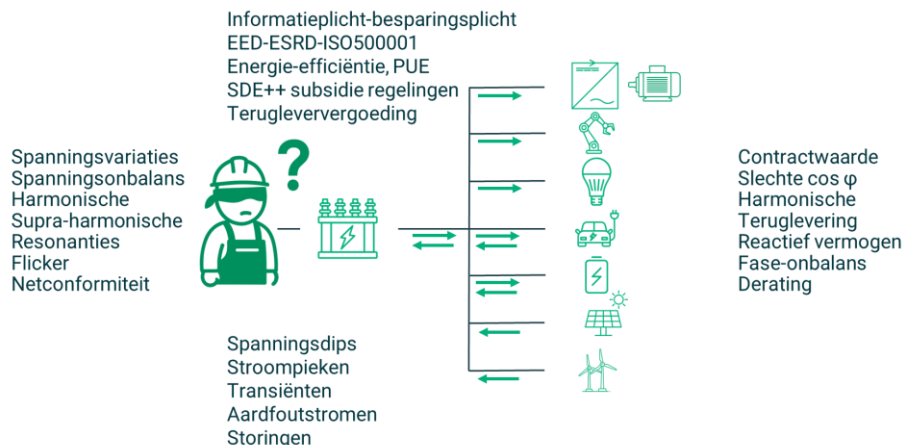


Figuur 1-3: De situatie in traditionele elektrische installaties.

De ontwikkelingen binnen de energietransitie zorgen er echter voor dat:

- > het elektrisch vermogen dat door de netten gedistribueerd moet worden, toeneemt;
- > het elektrisch vermogen steeds meer in twee richtingen gaat lopen (verbruik en teruglevering);
- > elektronica de elektrische energie, in zowel spanning als stroom, steeds meer vervuilt.

De zwaardere belasting van kabels, leidingen en transformatoren, en de toepassing van nieuwe energiebesparende technieken, zorgen voor steeds omvangrijkere en complexere energiesystemen en meer ongrijpbare netproblemen. Daarnaast is er steeds meer regelgeving, dienen energiebesparingsdoelen gehaald te worden en worden er hoge eisen gesteld aan de beschikbaarheid van elektriciteit.



Figuur 1-4: Ontwikkelingen en verschijnselen die worden aangejaagd door de energietransitie.

De in figuur 1-4 getoonde ontwikkelingen en fenomenen worden versterkt of aangejaagd door de energietransitie en zorgen voor een toenemende complexiteit. Om dit allemaal in goede banen te leiden,

is de juiste kennis nodig, terwijl vakkennis beperkt beschikbaar is. Tegelijkertijd zijn veel installatieverantwoordelijken “blind” voor wat er in de elektrische installatie gebeurt en is het inzicht beperkt. Dat leidt ertoe dat de uitdagingen die de elektrificatie met zich meebrengt, maar moeilijk het hoofd te bieden zijn.

1.3 De vier managementaspecten van elektriciteit

De kwalitatieve aspecten van spanning en stroom worden steeds relevanter, maar de generieke term ‘power quality’ is te veel een containerbegrip geworden dat onvoldoende houvast biedt om specifieke problemen te duiden. Daarom wordt in dit boek een nieuw managementmodel geïntroduceerd: een model dat draait om vier samenhangende aspecten die elektriciteit beheersbaarder maken en optimaliseren.

Met dit raamwerk worden de steeds complexer wordende ontwikkelingen en verschijnselen, naar hun praktische impact, voor de gebruiker vertaald. Ze zijn onderling verbonden en beïnvloeden elkaar direct. Door deze samenhangende aspecten tegelijk te benaderen, ontstaat er inzicht in de totale prestatie van een elektrische installatie.

Deze aspecten zijn als volgt:

Netcapaciteit

Verschijnselen zoals teruglevering, harmonische stromen, derating en een afwijkende $\cos \varphi$ beïnvloeden de beschikbare capaciteit van een installatie. In dit aspect staan de elektrische stroom (I) en de kwaliteit ervan centraal.

Netkwaliteit

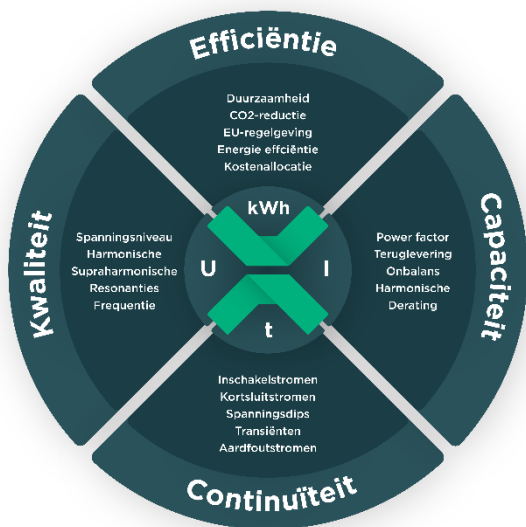
Spanningsvariaties, frequentieafwijkingen, harmonischen en supra-harmonischen zijn voorbeelden van verschijnselen die de spanningskwaliteit beïnvloeden. De elektrische spanning (U) en de kwaliteit ervan vormen de kern van dit aspect.

Continuïteit

Incidentele en kortdurende verschijnselen, zoals spanningsdips, transiënten, pieken en aardlekstromen, kunnen de bedrijfszekerheid van een installatie verstoren. Binnen dit aspect staat de grootheid tijd (t) centraal.

Efficiëntie

De kwaliteit van spanning en stroom bepaalt in sterke mate hoe efficiënt elektrische energie wordt gebruikt. Het energieverbruik, uitgedrukt in kilowattuur (kWh), is hierbij het centrale uitgangspunt.



Figuur 1-5: De vier managementaspecten van elektriciteit en hun samenhang.

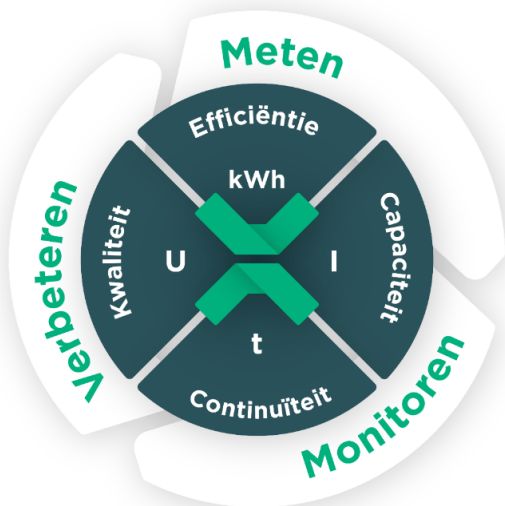
1.4 Netoptimalisatie door meten, monitoren en verbeteren

Netoptimalisatie begint met de plaatsing van meetinstrumenten op de belangrijke knooppunten in een installatie, waarmee de basis wordt gelegd voor meer inzicht. "Meten is weten" richt zich op het verzamelen van meetdata.

Monitoren is begrijpen. Of anders gezegd: weet wat je meet. De verzamelde meetgegevens worden door middel van een powermonitorsysteem vertaald naar de impact op het net, aan de hand van de vier managementaspecten. De beheerders van elektrische installaties worden hiermee in staat gesteld om bij calamiteiten de juiste actie te ondernemen, onderhoud te plannen en achteraf analyses uit te kunnen voeren voor het doorvoeren van verbetermaatregelen.

Als laatste stap kunnen deze maatregelen daadwerkelijk doorgevoerd worden, die kunnen bestaan uit: wijzigingen in het beheer, aanpassingen in de installatie, het toepassen van UPS-systemen, spanningsstabilisatiesystemen of filtersystemen voor het beperken van blindvermogen en het verbeteren van de spanningskwaliteit.

Netoptimalisatie is een continu proces van meten, monitoren en verbeteren van de vier managementaspecten van elektriciteit. Het omvat de voortdurende inspanning om ervoor te zorgen dat het opwekken, distribueren en verbruiken van elektrische energie zo efficiënt en betrouwbaar mogelijk gebeurt.



Figuur 1-6: Het meten, monitoren en verbeteren als een verbeterproces van de vier managementaspecten.

1.5 Leeswijzer

Dit boek is opgebouwd uit twee delen. In het eerste deel worden de vier managementaspecten van elektriciteit afzonderlijk behandeld. Elk aspect wordt in relatie gebracht tot de actuele technische uitdagingen binnen elektrische installaties en de van toepassing zijnde normen, richtlijnen en verantwoordelijkheden. In dit boek wordt er bewust voor gekozen om de stroom als uitgangspunt te nemen. Niet omdat spanning minder belangrijk is, maar omdat de stroom de meest directe en bepalende factor is voor de vier managementaspecten. Uit praktijkervaring en analyses van serviceorganisaties blijkt dat het merendeel van de storingen in elektrische installaties – naar schatting circa 80% – voortkomt uit interne oorzaken, waar het stroomverbruik aan ten grondslag ligt. Vervolgens wordt via de impedantie van de installatie de spanning beïnvloed.

Waar netbeheerders traditioneel primair redeneren vanuit spanningskwaliteit aan de netzijde, worden in dit boek de gevolgen van stroomverbruik binnen de installatie beschreven. Beide invalshoeken zijn waardevol, maar deze benadering sluit beter aan bij de dagelijkse realiteit en verantwoordelijkheden van de technisch beheerder. Deze benadering leidt tot de volgende opbouw van het boek:

- > Hoofdstuk 2 (Netcapaciteit) gaat in op de invloed van verschillende typen stroomverbruik op de beschikbare capaciteit van de elektrische installatie.
- > Hoofdstuk 3 (Netkwaliteit) beschrijft hoe stroomverbruik de spanningskwaliteit beïnvloedt en wat de gevolgen daarvan zijn voor aangesloten apparatuur.
- > Hoofdstuk 4 (Continuïteit) behandelt welke elektrische parameters van invloed zijn op de continuïteit van een installatie.
- > Hoofdstuk 5 (Efficiëntie) laat zien hoe de kwaliteit van stroom en spanning de energie-efficiëntie beïnvloedt, zowel voor de elektrische installatie als voor de werking van aangesloten apparatuur.

In het tweede deel staat het proces van netoptimalisatie centraal. Aan de hand van praktijkgerichte stappen wordt uitgelegd hoe installaties meetbaar en beheersbaar worden gemaakt.

- > Hoofdstuk 6 (Meten) bespreekt welke meetmiddelen beschikbaar zijn en hoe deze op een juiste en representatieve manier kunnen worden ingezet.
- > Hoofdstuk 7 (Monitoren) behandelt de opbouw van een powermonitoringsysteem. Daarbij worden de verschillen met energiemangement en gebouwbeheersystemen toegelicht.
- > Hoofdstuk 8 (Verbeteren) sluit af met een overzicht van oplossingen en technieken die kunnen worden toegepast om elektrische installaties gericht te verbeteren.

1.6 Verantwoording

Binnen dit boek is uitgegaan van de Europese IEC- en EN-standaarden. Daarmee is gekozen voor kenmerkende waarden die binnen Europese netten gangbaar zijn, zoals een netfrequentie van 50 Hz en een nominale netspanning van 230/400 V. We zijn ons ervan bewust dat in andere standaarden, zoals IEEE, andere aanduidingen en referentiewaarden worden gehanteerd. Vanuit het oogpunt van overzichtelijkheid, consistentie en didactische overwegingen zijn in dit boek uitsluitend voorbeelden opgenomen die gebaseerd zijn op de Europese standaarden.

Bij de uitwerking van de engineeringsdriehoeken in paragraaf 2.2.2 (Stroom en vermogen bij een inductieve belasting) en 2.2.3 (Stroom en vermogen bij een capacatieve belasting) wordt het totale schijnbare vermogen (S) constant gehouden bij een verslechtering van de $\cos \varphi$. Hierdoor neemt het werkzame vermogen (P) af. Technisch gezien is dit niet altijd logisch; in de praktijk zou men vaak het werkzame vermogen constant houden, waardoor het schijnbare vermogen toeneemt en ook de opgenomen stroom stijgt. Vanuit didactisch oogpunt is echter gekozen voor voorbeelden met een constant schijnbaar vermogen en een variërend werkzame vermogen. Dit maakt de afbeeldingen consistent en maakt de relaties tussen werkzaam, schijnbaar en reactief vermogen bij wisselende vermogensopnames beter zichtbaar.

Bij de weergave van de relaties tussen golfvormen en harmonische spectrums in paragraaf 2.3.3 (Stroom bij een enkelfasige passieve gelijkrichter) en 2.3.4 (Stroom bij een zespulsige passieve gelijkrichter) zijn de golfvormen opgebouwd door het optellen van sinusvormige signalen van verschillende frequenties. In de praktijk gebeurt dit juist andersom: via een Fourier-transformatie wordt vanuit de golfvorm de samenstelling in afzonderlijke harmonischen bepaald. Om praktische en didactische redenen is in dit boek gekozen voor de benadering via opbouw van de golfvorm uit sinuscomponenten.



Perfect Power

Door de energietransitie en de daarmee samenhangende elektrificatie worden de kwaliteitsaspecten van spanning en stroom steeds belangrijker voor een goed ontwerp en gebruik van een elektrische installatie. De sterke toename van vermogenslektronica in elektrische distributiesystemen, zoals toegepast in frequentieregelaars, windmolens, batterijsystemen en zonnepanelen, beïnvloedt de capaciteit, kwaliteit en continuïteit van de energievoorziening op een andere manier dan we gewend waren. Deze ontwikkelingen leiden tot onvoorziene problemen die vaak latent aanwezig zijn en zich pas over langere tijd uiten, bijvoorbeeld in een verkorte levensduur van apparatuur, onnodige verliezen en onverwachte uitval door overbelasting.

In dit boek wordt een methodiek beschreven voor het gestructureerd meten, monitoren en verbeteren van de vier managementaspecten van elektriciteit. Daarmee kunnen verschillende, vaak onzichtbare, verschijnselen worden herkend en effectief worden verbeterd. De inhoud van dit boek is gebaseerd op de kennis die onze specialisten in de afgelopen jaren in de praktijk hebben opgedaan, aangevuld met feedback van verschillende marktpartijen.

Met 256 pagina's en meer dan 200 technische illustraties is Perfect Power een onmisbaar handboek voor technisch beheerders, installatieverantwoordelijken en installateurs. Ook voor studenten in de elektrotechniek biedt het boek waarde volle inzichten in de uitdagingen die zij in de praktijk zullen gaan tegenkomen.

