

## **Woord vooraf**

Als masterstudenten aan de Universiteit Hasselt en KU Leuven, faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen, afstudeerrichting Industriële Ingenieurswetenschappen Energie-Elektrotechniek kregen wij de mogelijkheid om onze masterproef uit te voeren bij Siemens te Huizingen.

Langs deze weg willen we in het bijzonder een dankwoord uiten aan de heren B. Vandendoorent en L. Vandichel, die ons de mogelijkheid hebben gegeven om deze masterproef te realiseren. Eveneens danken we hen voor de enthousiaste medewerking, technische ondersteuning en de vereiste informatie om deze masterproef tot een goed einde te brengen.

Tevens willen we ook onze stagebegeleider, de heer G. Leen, bedanken voor de deskundige begeleiding van de masterproef. Ook gaat onze dank uit naar de heer G. Vandensande voor zijn hulpvaardigheid tijdens het onderzoek naar meetstroomtransformatoren.

Eveneens willen wij diegene bedanken die ons taalkundig advies hebben gegeven bij het schrijven van onze masterthesis, dit zijn de heer J. Lievens, juffrouw G. Timsonet en mevrouw A. Jacobs.

Voorts willen we onze ouders, vriendin en vrienden bedanken. Op hen konden we altijd rekenen. We danken hen voor hun enorme steun en geduld.

Als laatste willen we ook iedereen bedanken die we hierboven nog niet hebben vermeld en die hebben bijgedragen tot de realisatie van deze masterproef.

Tom Jacobs en Ward Waegeneers  
2014



# **Inhoudsopgave**

<b>WOORD VOORAF</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>9</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>11</b>
<b>HOOFDSTUK 1 INLEIDING</b> .....	<b>13</b>
1.1 <i>Situering masterproef</i> .....	13
1.2 <i>Probleemstelling</i> .....	14
1.3 <i>Doelstelling</i> .....	16
1.4 <i>Materiaal en methode</i> .....	17
<b>HOOFDSTUK 2 ENERGY MANAGEMENT</b> .....	<b>19</b>
2.1 <i>ISO 50001 Energy Management Standaard</i> .....	20
2.2 <i>Energy efficiency</i> .....	21
<b>HOOFDSTUK 3 ENERGIE DATA IDENTIFICATIE</b> .....	<b>23</b>
3.1 <i>Situering</i> .....	23
3.2 <i>Apparatuur met meetfunctie</i> .....	24
3.3 <i>Overzicht producten met meetfunctie en communicatiemogelijkheid</i> .....	24
3.4 <i>Waar welk apparatuur toepassen</i> .....	26
3.5 <i>Besluit</i> .....	28
<b>HOOFDSTUK 4 ENERGIEDATA-ANALYSE</b> .....	<b>29</b>
4.1 <i>Situering</i> .....	29
4.2 <i>Energiemanagementsystemen per gebruiksniveau</i> .....	30
4.3 <i>Excelapplicatie voor energiedata weergave</i> .....	33
4.3.1 <i>Concept Excelapplicatie</i> .....	33
4.3.2 <i>Uiteindelijke Excelapplicatie</i> .....	35
4.4 <i>Besluit</i> .....	43
<b>HOOFDSTUK 5 INTEGRATIE VAN ET200SP ENERGY METER</b> .....	<b>45</b>
5.1 <i>Situering</i> .....	45
5.2 <i>ET200SP met energy meter</i> .....	46
5.2.1 <i>ET200 producten</i> .....	46
5.2.2 <i>ET200SP</i> .....	47
5.2.3 <i>Energy meter</i> .....	49
5.3 <i>Plaatsing van de ET200SP energy meter</i> .....	50
5.4 <i>Demoproject voor de ET200SP energy meter</i> .....	53
5.4.1 <i>Energy to monitoring (E2M)</i> .....	53
5.4.2 <i>E2M-project</i> .....	55
5.4.3 <i>Integreren van dag- en nachtteller in E2M project</i> .....	57

5.4.4	Visualisatie van de dag- en nachtteller.....	59
5.4.5	Loggen van de energiewaarden .....	59
5.5	<i>Aandachtspunten ET200SP energy meter</i> .....	61
5.6	<i>Besluit</i> .....	63

## **HOOFDSTUK 6    NAUWKEURIGHEIDSONDERZOEK OP MEETSTROOMTRANSFORMATOR..... 65**

6.1	<i>Situering</i> .....	65
6.2	<i>Meettransformatoren</i> .....	67
6.2.1	Meetstroomtransformator.....	67
6.2.2	Normering .....	77
6.3	<i>Nauwkeurigheidsonderzoek naar CT tijdens en na overbelasting van secundaire kring</i> .....	79
6.3.1	Meetopstelling .....	79
6.3.2	Meetplan .....	83
6.3.3	Meetresultaten.....	84
6.3.4	Analyse meetresultaten .....	88
6.4	<i>Lastberekenningsapplicatie voor (1-fasig) stroomtransformatoren (CT)</i> .....	104
6.4.1	Maximale secundaire last berekening .....	106
6.4.2	Maximale secundaire draadweerstand berekening .....	107
6.4.3	Maximale secundaire draadlengteberekening .....	110
6.4.4	Maximale spanning over secundaire windingen .....	111
6.4.5	Toegepaste symbolen in de vergelijkingen uit lastberekenningsapplicatie.....	112
6.5	<i>Besluit</i> .....	113

## **LITERATUURLIJST ..... 115**

## **BIJLAGE ..... 123**

## **Lijst van figuren**

Figuur 1 Wereld populatie en globaal energieverbruik .....	14
Figuur 2 Energy efficiency cirkel .....	21
Figuur 3 Overzicht Siemens meetproducten .....	25
Figuur 4 Schematische voorstelling van de elektriciteitshiërarchie. ....	26
Figuur 5 Energy management niveaus .....	30
Figuur 6 Schematische weergave van B.Data .....	30
Figuur 7 Schematische weergave van Powerrate .....	31
Figuur 8 Schematische weergave van Energy Analytics .....	31
Figuur 9 Visualisatieweergave en schematische voorstelling van "E2M" .....	32
Figuur 10 Schematische weergaven van de basiswerking van de Excelapplicatie .....	33
Figuur 11 Visueel concept van de Excelapplicatie.....	34
Figuur 12 Bediening voor het inlezen van de data.....	35
Figuur 13 Foutmelding bij foutief ingeven van <i>file path</i> .....	36
Figuur 14 Ingave van parameters.....	36
Figuur 15 Bediening "Read File" .....	37
Figuur 16 Pop-up box bij start (links) en einde (rechts) van inlezen.....	37
Figuur 17 Voorbeeld van inlezen CSV-file .....	37
Figuur 18 Volgorde van data in de CSV-file.....	38
Figuur 19 Van ongesplitste data naar gesplitste data. ....	38
Figuur 20 Zoeken van de dichtstbijzijnde waarde .....	40
Figuur 21 Ingavepanel met weergavekeuze (2) en datumgeving (1) .....	42
Figuur 22 Eindversie Excel-applicatie .....	43
Figuur 23 ET200-producten .....	46
Figuur 24 ET200SP .....	47
Figuur 25 ET200SP modules .....	47
Figuur 26 ET200SP energy meter .....	49
Figuur 27 Demowand in Siemens IA DT-demozaal (te Huizingen) .....	50
Figuur 28 Grafische weergave ET200SP, 1500 PLC en <i>panel</i> .....	50
Figuur 29 Kablage ET200SP energy meter .....	51
Figuur 30 Aansluiting op ET200SP energy meter voor spanningen en stromen .....	51
Figuur 31 Klem aansluitingen op Base Unit van ET200SP energy meter .....	52
Figuur 32 De verschillende dataniveaus.....	53
Figuur 33 Overzicht E2M .....	53
Figuur 34 Basiswerking E2M .....	54
Figuur 35 Functieblokken van een standaard E2M project.....	55
Figuur 36 visualisatie van E2M .....	56
Figuur 37 Functieblokken van een standaard E2M project met uitbreiding dag- en nachtteller.....	57
Figuur 38 Structuur dag- en nachtteller.....	57
Figuur 39 Preset functie .....	58
Figuur 40 Visualisatie E2M.....	59
Figuur 41 Achiveren van data .....	59
Figuur 42 Grafische weergave ET200SP, 1500 PLC en <i>panel</i> .....	63
Figuur 43 Links: Meetspanningstransformator, rechts: stroommeettransformator .....	67
Figuur 44 Schematische weergave van een installatie met CT .....	68
Figuur 45 Simplistische voorstelling CT .....	68
Figuur 46 Vereenvoudigd schema van een stroomtransformator.....	69
Figuur 47 Simplistische voorstelling CT .....	70
Figuur 48 Vereenvoudigd schema van een stroomtransformator met grote secundaire last.....	71
Figuur 49 Benaderend, vereenvoudigd stroomtransformator schema met open secundaire kring .....	72
Figuur 50 Vector diagram van een CT .....	75
Figuur 51 Hoek fout, primaire-, secundaire- en nullast vectoren .....	76
Figuur 52 Labo opstelling zonder meetapparatuur .....	80
Figuur 53 Labo opstelling met meetapparatuur .....	82
Figuur 54 Voltech power analyzer PM6000.....	83

Figuur 55 Achterzijde Voltech power analyzer .....	83
Figuur 56 Vectordiagram van een niet ideale transformator .....	85
Figuur 57 Faseverschuiving tussen primaire- en secundaire spanning .....	86
Figuur 58 Meetopstelling voor kabelweerstand te bepalen .....	87
Figuur 59 Analyse meetresultaten (tijdens sec. overbelasting): Constante stroom (3A), variërende secundaire belasting .....	89
Figuur 60 Analyse meetresultaten (tijdens sec. overbelasting): Constante stroom (3A), variërende secundaire belasting .....	90
Figuur 61 Analyse meetresultaten (tijdens sec. overbelasting): Constante stroom (5A), variërende secundaire belasting .....	91
Figuur 62 Analyse meetresultaten (tijdens sec. overbelasting): Constante stroom (5A), variërende secundaire belasting .....	92
Figuur 63 Transformatieverhoudingsfactor tijdens secundaire overbelasting.....	93
Figuur 64 Analyse meetresultaten (na sec. overbelasting): Constante secundaire belasting, variërende stroom .....	95
Figuur 65 Analyse meetresultaten (na sec. overbelasting): Constante stroom, variërende secundaire belasting (0.25 en 1A) .....	97
Figuur 66 Analyse meetresultaten (na sec. overbelasting): Constante stroom, variërende secundaire belasting (2.5A en 5A) .....	98
Figuur 67 Analyse meetresultaten (na sec. overbelasting): Constante stroom, variërende secundaire belasting (6A) .....	99
Figuur 68 Analyse meetresultaten (na sec. overbelasting): Amplitude fout bij 50% en 100% van secundaire belasting .....	100
Figuur 69 Transformatieverhoudingsfactor na secundaire overbelasting .....	101
Figuur 70 Analyse meetresultaten: Hoekfout.....	102
Figuur 71 Excelapplicatie: Last- en Kabel/draadlengte berekening aan secundaire (1fasige) stroomtransformator (CT) zijde .....	104
Figuur 72 Excelapplicatie: Last- en Kabel/draadlengte berekening aan secundaire (1fasige) stroomtransformator (CT) zijde .....	104
Figuur 73 Verschil tussen vermogen- en weerstand methode .....	110

## **Lijst van tabellen**

Tabel 1 Tabel met tijdsintervallen .....	39
Tabel 2 Voorbeelden van datalijsten .....	39
Tabel 3 Tabel dichtstbijzijnde energiewaarde .....	40
Tabel 4 Tabel met berekening van energieverschillen .....	41
Tabel 5 Tabel met energieverschillen .....	41
Tabel 6 ET200SP modules .....	48
Tabel 7 Base Units energy meter .....	61
Tabel 8 Maximaal aantal energy meters per interfacemodule .....	61
Tabel 9 Toegestane draaddoorsneden .....	62
Tabel 10 Limieten voor amplitude- en hoekfout voor CT, klasse 0.1, 0.2 en 1 .....	77
Tabel 11 Limieten voor amplitude- en hoekfout voor CT, klasse 0.2S en 0.5S .....	77
Tabel 12 Limieten voor amplitude- en hoekfout voor CT, klasse 3 en 5 .....	78
Tabel 13 Eigenschappen Siemens CT .....	79
Tabel 14 Maximale secundaire belasting .....	81
Tabel 15 Maximale secundaire spanning .....	81
Tabel 16 Overzicht maximale secundaire waarden .....	82
Tabel 17 Kabel lengte berekening, via de wet van Pouillet .....	87
Tabel 18 PF verslechtering door THD .....	103





## **Abstract**

Siemens te Huizingen beschikt over een uitgebreide demozaal met een overzicht van vrijwel alle Siemens Industry componenten. Toch ontbrak er, ten eerste, een uitgewerkt voorbeeld van een energiemeter en een energiemetapparatuuroverzicht in deze Siemens demozaal. Ten tweede ontbrak er een low cost weergaveapplicatie voor energiedata. Tot slot waren er vragen bij de meetnauwkeurigheid van de meetstroomtransformatoren (CT's) die gebruikt worden in de meetopstellingen.

Het doel van deze masterproef is om een energiemeter in de demozaal integreren en een overzicht van de meetapparatuur te bieden. Ook moet er een Excelapplicatie voor de weergave van energiedata gemaakt worden. Tot slot moet een CT bestudeerd worden op het effect bij secundaire overbelasting.

Om te beginnen is er een ET200SP energy meter hardware- en softwarematig in de demozaal geïntegreerd door middel van een TIA Step 7 project. Hierna is aan de hand van productinformatie een overzicht van de apparatuur gemaakt. Vervolgens is de applicatie voor energieweergave in Excel met VB geschreven. Tot slot is de nauwkeurigheid van een CT via labometingen onderzocht.

De energiemeter is operationeel in de demozaal waarbij de meetwaarden op een panel worden weergegeven. Het apparatuuroverzicht is voltooid. De applicatie geeft op uur-, dag-, maand- of jaarbasis de energiedata visueel weer. Het onderzoek op de CT geeft aan dat de nauwkeurigheid tijdens de overbelasting degradeert en zich nadien terug binnen de tolerantie bevindt.



## **Summary**

Siemens located in Huizingen, disposes of an extensive demo area. This demo area gives an overview of almost all possible Siemens Industry components. However, 2 components are still missing. First, a detailed/ elaborated example of an energy meter and an accompanying list of energy measurement equipment is missing in the demo area. Secondly, also a low cost overview application for energy data is not yet available. Finally, questions are raised about the accuracy of measuring current transformer (CT's).

The main goal of our master thesis is to integrate an energy meter in this demo area and to provide an overview of all measuring equipment. In this respect, an excel application should be created for a detailed overview of all energy data. Finally, we need to examine the effects with a secondary overburden of the CT's.

We started with the integration of an ET200SP energy meter in the demo room by using the TIA Step 7 project. Afterwards, by taking into account all product information, we created an overview of all equipment. Subsequently, we created via VB an application for the overview of the energy data in Excel. Finally, the accuracy of a CT is examined via several laboratory measurements.

Currently, the energy meter is operational in the demo area whereby the obtained results are displayed on a panel. Furthermore, the overview of the available equipment is completed and the application shows the energy data visual on a hourly, daily, monthly and yearly basis. The research on the CT indicates that the accuracy decreases during the overburden but that it settles itself afterwards (within the defined area of tolerance).



# Hoofdstuk 1 Inleiding

## 1.1 Situering masterproef

Als masterstudenten aan de Universiteit Hasselt en KULeuven, faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen (FIIW), richting Energie met als specialisatie Elektrotechniek, kregen wij de mogelijkheid om onze masterproef uit te voeren bij Siemens te Huizingen. Wereldwijd werken er bij Siemens ongeveer 360 000 medewerkers verspreid over meer dan 190 landen. Siemens heeft een jaarlijkse omzet van ±74 miljard euro, waarvan 4 miljard euro aan *research & development* wordt besteed. In België en Luxemburg telt Siemens bijna 1800 medewerkers, samen goed voor een omzet van 1 miljard euro. [1]

Siemens is een internationaal technologisch bedrijf dat zich wereldwijd toespitst op vier sectoren: Healthcare, Infrastructure & Cities, Energy en Industry.

- Healthcare focust op de ontwikkeling en productie van innovatieve producten, en op de realisatie van totaaloplossingen en diensten voor de gezondheidssector.
- Infrastructure & Cities biedt technologische totaaloplossingen en systemen voor duurzame mobiliteit, betrouwbare stroomverdeling, intelligente netwerken (smart grids), voor veilige en energie-efficiënte gebouwen. [2]
- Energy is wereldwijd actief in alle domeinen van energietechnologie. Dat maakt het voor de klanten mogelijk om energie te genereren en te transporteren met een hoge efficiëntie. Verder helpt Siemens Energy bij het produceren en omzetten van de primaire brandstoffen. Zowel bij hun producten en systemen, als bij de implementatie van projecten besteden ze veel aandacht aan de vermindering van het energieverbruik.
- Industry biedt wereldwijd een uitgebreid gamma aan industriële software en componenten voor industriële controle en aandrijftechniek.

Onze masterproef speelt zich af binnen Siemens Industry op de afdeling "Automation". Deze afdeling is voornamelijk actief in automatiserings- en energietechnologie, industriële controles en -software. Verder maakt het de productie- en procesindustrie sneller, efficiënter en flexibeler. [3]

De masterproef bevat meerdere opdrachten, allemaal binnen het gamma van Industry Automation, die voornamelijk op energiemeting en analyse focussen.

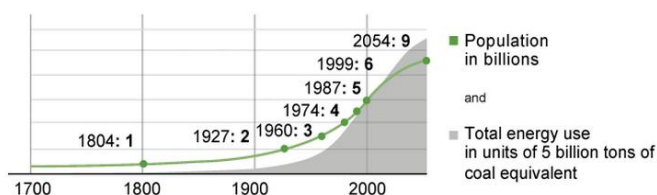
## 1.2 Probleemstelling

Het gecontroleerd gebruik van energie wordt steeds belangrijker in de huidige samenleving. Dit door de stijgende vraag naar energie, een beperkte voorraad aan fossiele brandstoffen, grote hoeveelheden aan uitstoot van broeikasgassen, ... .

Eenzijds zal de stijgende vraag naar energie en de beperkte voorraad fossiele brandstoffen een negatieve invloed hebben op de energieprijzen. Anderzijds worden de milieuvorschriften steeds strenger [4]. Het is dan ook belangrijk dat grote verbruikers zoals bedrijven het energieverbruik goed onder controle houden. Indien men efficiënt met energie omspringt, zal het energieverbruik tot een minimum worden gereduceerd.

### World population<sup>1</sup> and global energy use<sup>2</sup>

Historic development and forecast (intermediate-case scenario)



<sup>1</sup>Source: United Nations. <sup>2</sup>Source: World Bank.

**Figuur 1 Wereld populatie en globaal energieverbruik [5]**

Het verzamelen van de verbruiksgegevens en vervolgens het visualiseren van het energieverbruik zijn belangrijke aspecten om een hoge energie-efficiëntie te bekomen. Voordat men zuiniger met energie kan omspringen, moeten eerst alle energiestromen in kaart worden gebracht. Enkel wanneer er geweten is waar en wanneer er energie wordt verbruikt, kan er pas naar besparingen en technische verbeteringen worden gekeken.

De eerste stap in het energie-efficiëntieproces is het in kaart brengen van de energiestroom. Voor de energiestromen op ieder niveau in kaart te brengen, zijn er toestellen met meet- en communicatiemogelijkheden nodig. Binnen het Siemens Industry gamma ontbreekt er echter een compact overzicht van de beschikbare meetapparatuur.

In de volgende stap zullen de meettoestellen de gemeten data naar een gekoppelde controle-eenheid doorsturen, bijvoorbeeld een PLC. Eenmaal er energie naar een controle-eenheid gemeten en verzonden is, moet deze energiedata via een softwarepakket worden verwerkt. Hierna kan de data visueel op bijvoorbeeld een *panel* in een grafiekvorm worden weergegeven. Siemens heeft hiervoor tal van gesofisticeerde analysesoftwarepakketten. Echter zijn de uitgebreidere softwarepakketten niet steeds ideaal voor kleinere bedrijven met een beperkt budget. Kortweg, er is nog geen eenvoudige *low cost* applicatie voor een overzichtelijke weergave en analyse van gelogde energiedata.

Siemens Industry te Huizingen beschikt over een uitgebreide demozaal met een overzicht van vrijwel alle Siemens Industry componenten. Er ontbreekt enkel nog een uitgewerkt voorbeeld van een energiemeter.

Wanneer er stroom of energie wordt gemeten, wordt er vaak gebruik gemaakt van meetstroomtransformatoren (CT's). Deze meetstroomtransformatoren worden in

meetopstellingen toegepast wanneer het te meten stroombereik groter is dan het meetbereik van de te gebruiken meetapparatuur. Kortweg, een CT transformeert eerst de stroom omlaag voordat er gemeten wordt.

Voor een correcte energiemeting mag de nauwkeurigheidsafwijking van de CT niet van de opgestelde nauwkeurigheidsclassificering afwijken. Bij aankoop van een CT ligt de nauwkeurigheidsafwijking van de CT binnen opgestelde nauwkeurigheidsclassificering. Het is echter de vraag of de nauwkeurigheid van de CT nog steeds binnen de vooropgestelde nauwkeurigheidsclassificering tijdens en na een secundair overbelasting ligt. Een secundaire overbelasting kan zich voordoen wanneer de afstand tussen de CT en het secundaire aangesloten meetapparatuur te groot is.

## 1.3 Doelstelling

De eerste doelstelling van deze masterproef is een overzicht te maken van de verschillende producten binnen het Siemens Industry gamma die de mogelijkheid hebben om energie te meten. Meer specifiek worden de producten bedoeld met een meetfunctie alsook communicatiemogelijkheden

De tweede doelstelling is het maken van een eenvoudige *low cost* applicatie om een overzichtelijke weergave van gelogde energiedata te krijgen. En dit met de toegankelijke software, Excel. De Excelapplicatie moet de energiedata grafisch op uur-, dag-, maand- of jaarbasis kunnen weergeven.

Het volgende doel van deze masterproef is het integreren van een energiemeter in de Siemens Industry demozaal. En dit door middel van een uitgewerkt energiemetingsvoorbeeld.

Tot slot moet de nauwkeurigheid van een meetstroomtransformator (CT) worden onderzocht. Het doel van dit onderzoek is het nagaan of er een nauwkeurigheidsdegradatie optreedt wanneer de secundaire kring van de CT overbelast wordt. En vervolgens nagaan of er een nauwkeurigheidsdegradatie optreedt nadat deze CT secundair overbelast is geweest.



## 1.4 Materiaal en methode

Aan de hand van de probleemstelling en doelstelling wordt in dit hoofdstuk besproken welke de gebruikte methoden en materialen zijn.

Beginnend met het maken van een overzicht van de energiemeetapparatuur waarbij er van productinformatie werd gebruik gemaakt.

Vervolgens wordt via Visual Basic For Application een *low cost* Excelapplicatie voor de weergave van energiedata gemaakt. De eerste stap voor het maken van de applicatie bevat het maken van een flowchart. Vervolgens is er voor de visualisatie van de Excelapplicatie een concept uitgewerkt. Tot slot kon de applicatie aan de hand van de flowchart en het visualisatieconcept geprogrammeerd worden in Excel en VB.

Hierna is de integratie van de energiemeter in de Siemens Industry demozaal gebeurd. Er is voor een ET200SP energy meter gekozen. Deze energiemeter is zowel hardware- als softwarematig in de demozaal geïntegreerd. De gebruikte *hardware* hoofdcomponenten zijn een ET200SP interface module met de bijhorende energy meter, een S7-1500 PLC en een *comfort panel*. De communicatie tussen de verschillende componenten verloopt via Profinet. De ET200SP energy meter zal het verbruik van de demowand in de demozaal meten. Dit gebeurt aan de hand van een project dat speciaal voor deze energiemeter wordt aangemaakt. Het project wordt gemaakt met Step 7 Professional V12 en bevat het ophalen, verwerken, loggen en visualiseren van de data. De data wordt vervolgens weergegeven op een *panel* in de demowand.

Tot slot is de nauwkeurigheid van een meetstroomtransformator (CT) via labometingen onderzocht. De metingen op de CT werden in het elektriciteitslabo van de Katholieke Hogeschool Limburg (KHLim) te Diepenbeek uitgevoerd. De labo-opstelling is uit volgende componenten opgebouwd:

- een 1-fasige reotor (regelbare spanningsbron),
- een Siemens meetstroomtransformator 50A/1A, 2.5VA, klasse 3 (CT),
- Ohmse weerstanden ( $R_{sec}$  en  $R_{prim}$ ),
- een "Power Analyzer" van Voltech.



## **Hoofdstuk 2 Energy management**

Het gecontroleerd gebruik van energie wordt steeds belangrijker in de huidige samenleving. Dit door de stijgende vraag naar energie, een beperkte voorraad aan fossiele brandstoffen, grote hoeveelheden aan uitstoot van broeikasgassen, ... .

Eenzijds zal de stijgende vraag naar energie en de beperkte voorraad fossiele brandstoffen een negatieve invloed hebben op de energieprijzen. Anderzijds worden de milieuvoorschriften steeds strenger [4]. Kortom, het efficiënt gebruik van energie wordt steeds belangrijker. Door middel van een beter energiebeheersysteem, ook wel "energy management" genoemd, kan het energieverbruik geïdentificeerd, geëvalueerd en geoptimaliseerd worden.

Binnen Siemens wordt het identificeren, evalueren en optimaliseren (of realiseren) van de verbruikte energie via de "energie-efficiëntiecirkel" weergegeven (zie Figuur 2). De energie-efficiëntiecirkel is overeenkomstig met de ISO 50001 Energy Management standaard. [6]

Bedrijven die ISO 50001 implementeren, kunnen zich laten certificeren. Dit is een bewijs dat het gecertificeerd bedrijf belangrijke inspanningen voor het milieu doet.

Het is echter in deze thesis niet de bedoeling om een instantie naar ISO 50001 te begeleiden, maar meer om een manier te definiëren om het (elektrische) energieverbruik in kaart te brengen. Dit door energiestroom via energiemetingen te meten en vervolgens de gemeten energiedata op een goedkopere manier te analyseren.

In het volgende hoofdstuk wordt kort ISO 50001 aangehaald, waarna er wordt overgegaan naar de energie-efficiëntiecirkel van Siemens.

## **2.1 ISO 50001 Energy Management Standaard**

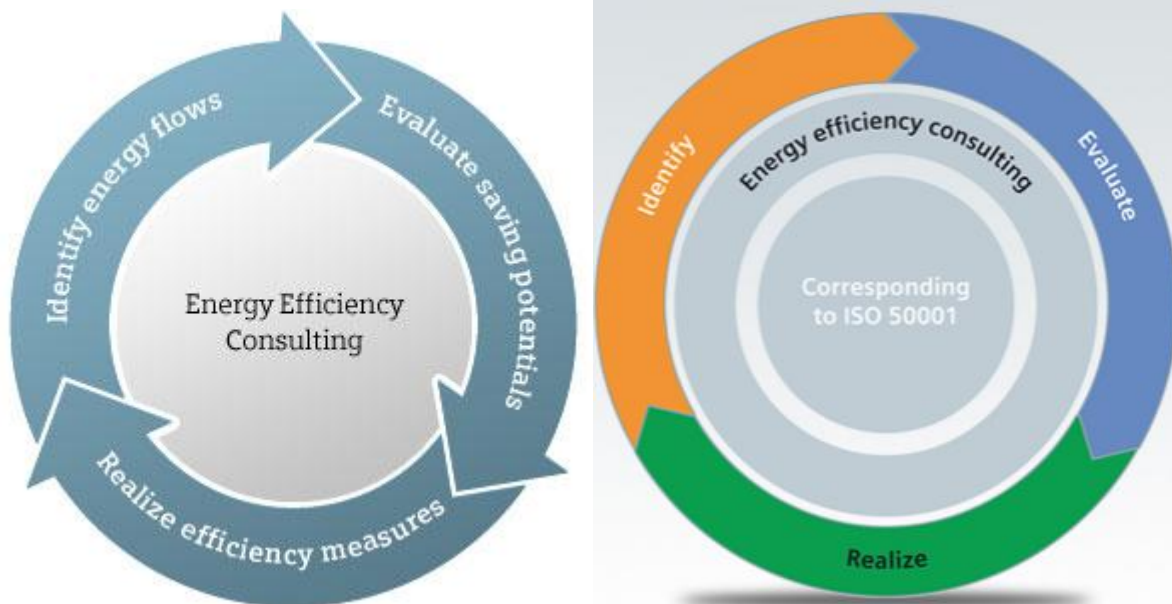
ISO 50001 (ISO = Organization of Standardization) is de norm voor Energie Management systemen.

Deze standaard biedt een structuur voor allerlei organisaties zoals industriële bedrijven, commerciële en administratieve ondernemingen. De norm helpt bij het managen van energieverbruik, het op een systematische manier verbeteren van de energieprestaties en het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen. Dit sluit aan op de doelstellingen om de opwarming van de aarde door broeikasgasemissies tegen te gaan. ISO 50001 sluit aan bij ISO 14001 (milieumanagement) en is ook te gebruiken in combinatie met ISO 9001 (kwaliteitsmanagement).

In de Bijlage A "ISO 50001 blokschema" vindt men het blokschema van ISO 50001 terug. [7] [8] [9].

## 2.2 Energy efficiency

Zoals reeds in het vorige hoofdstuk ( ISO 50001 Energy Management Standaard) is aangehaald, wordt er binnen Siemens het identificeren, evalueren en optimaliseren (of realiseren) van de verbruikte energie voorgesteld via de "energie-efficiëntiecirkel" (zie Figuur 2).



**Figuur 2 Energy efficiency cirkel [6] [10]**

De energie-efficiëntiecirkel (en ISO 50001) is gebaseerd op PDCA-cirkel (Plan- Do-Check-Act) en verwijst naar Kaizen (continu verbeteren) [11]. In deze context is dit het continu verbeteren van de energie-efficiëntie.

Het doel van de energie-efficiëntiecirkel is om het energieverbruik en de energiekosten tot het minimum te reduceren. Wanneer men efficiënt met energie omspringt, zal het energieverbruik tot een minimum worden gereduceerd. Hiervoor zijn het verzamelen van de verbruiksgegevens en vervolgens het visualiseren van het energieverbruik belangrijke aspecten om een hoge energie-efficiëntie te bekomen.

Voordat men zuiniger met energie kan omspringen, moeten eerst alle energiestromen in kaart worden gebracht, zoals elektriciteit, gas, stoom, perslucht, koeling, verwarming, ... . Enkel wanneer er geweten is waar, wanneer, hoeveel en wat soort energie er wordt verbruikt, kan er pas gekeken worden naar besparingen en technische verbeteringen. In deze thesis wordt enkel over de elektrische energiestromen gesproken. Er zal dus enkel de vraag gesteld worden waar, wanneer en hoeveel elektrische energie er wordt verbruikt.

Indien men terug naar de energie-efficiëntiecirkel (zie Figuur 2) kijkt, startend met "identificeren van de energiestromen", is dit de eerste stap in het proces om de energiestroom in kaart te brengen. Om energiestromen op ieder niveau in kaart te brengen, zijn meettoestellen nodig die over communicatiemogelijkheden beschikken. Deze toestellen worden in hoofdstukken "Apparatuur met meetfunctie" en "Overzicht producten met meetfunctie en communicatiemogelijkheid" besproken. De besproken toestellen moeten de

gemeten data naar de gekoppelde controle-eenheid (vb. PLC) doorsturen, waarna de actuele gemeten data visueel weergegeven kan worden, bijvoorbeeld via een *panel*.

Nu spreekt men enkel nog maar over actuele meetdata. Om een goed beeld te krijgen van het energieverbruik tussen bepaalde periodes, moet er gebruik gemaakt worden van energielogging. De gelogde energiedata kan dan in de volgende stap via een softwarepakket visueel op een *panel* worden weergegeven, onder andere in een grafiekvorm. Zo kunnen de energiestromen in kaart worden gebracht en nagegaan worden waar, wanneer en hoeveel energie er op een bepaalde plaatst en moment is verbruikt. Zoals sluimerverbruik of piekstromen bij opstart van een proces, het energieverbruik van processen op lange termijn analyseren of ... .

De volgende stap in de energie-efficiëntiekring (zie Figuur 2) is het "evalueren". Eenmaal dat er data is gemeten, gelogd en visueel is weergegeven, kan men nagaan waar dat het energieverbruik gereduceerd kan worden. Met andere woorden waar zich het sluimerverbruik, het piekverbruik, ... bevindt.

De laatste stap in de energie-efficiëntiekring (zie Figuur 2) is het "realiseren van energie efficiënte maatregelen".

Nadat er besluiten uit de energiedata zijn getrokken, kunnen er vaak technische verbeteringen aangebracht worden zodat het energieverbruik zal dalen.

Hieronder worden enkele verbeteringen aangehaald:

- Oude laagrendementsmotoren vervangen door hoge rendementsmotoren.
- Softstarters bij te plaatsen om het piekverbruik terug te dringen.

Ook kan men gebruik maken van frequentieomvormers die een daling van het verbruik kunnen realiseren. Indien men frequentieomvormers gebruikt met een vier kwadranten sturing, is het mogelijk om energie terug het net op te kunnen sturen. In plaats van motoren te laten uitbollen of afremmen, kan deze mechanische energie in elektrische energie omgezet worden. Op het moment dat motoren moeten remmen of uitbollen, kan men gebruik maken van de overblijvende mechanische energie door deze mechanische energie terug in elektrische energie om te zetten.

Tot slot kan er van "PROFIenergy" gebruik gemaakt worden. Dit betekent simpelweg dat verbruikers uitgeschakeld of in stand-by worden gezet wanneer deze niet gebruikt worden. Dit heeft een positieve invloed op het energieverbruik.

[12] [13] [11]

*De geraadpleegde bronnen in Hoofdstuk 2 "Energy management" zijn [4] [6] [7] [8] [9] [10] [12] [13] [11].*

## **Hoofdstuk 3 Energie data identificatie**

### **3.1 Situering**

De "energie-efficiëntiecirkel" (zie Figuur 2) van Siemens, die in het vorige hoofdstuk al uitgebreid werd aangehaald, is onderverdeeld in drie takken. Deze drie takken zijn het identificeren, evalueren en te optimaliseren (of realiseren) van de verbruikte energie.

In dit hoofdstuk "Energie data identificatie" bevindt men zich in de tak "identificeren van het energieverbruik" van de "energie-efficiëntiecirkel".

In dit hoofdstuk worden de toestellen verduidelijkt die de mogelijkheid hebben om energie te meten en deze gemeten energie naar een controle-eenheid (vb. PLC) door te communiceren.

In het kader van de masterproef moest er een overzicht gemaakt worden van de verschillende producten binnen het Siemens Industry gamma die de mogelijkheid hebben om energie te meten. Meer specifiek gaat het hier om de producten met een meetfunctie alsook een communicatiemogelijkheden. Zodoende dat de meetresultaten naar een controle-eenheid doorgestuurd kunnen worden (vb. PLC) en vervolgens in een energiemanagementverwerkingssoftware verwerkt worden.

## 3.2 Apparatuur met meetfunctie

Kort samengevat zijn de producten met (energie)meetfunctie en communicatiemogelijkheid in twee hoofdgroepen onder te verdelen:

- apparatuur met als primaire functie meten:
  - SIMATIC ET200SP energy meter,
  - SENTRON PAC's.
- apparatuur met als primaire functie aansturen, beveiligen of controleren:
  - SIMOCODE motormanagementsysteem,
  - SENTRON vermogensschakelaars,
  - SINAMICS frequentieomvormers.

Het overzicht van deze producten is tot stand gekomen door informatie te verzamelen uit handleidingen en catalogussen

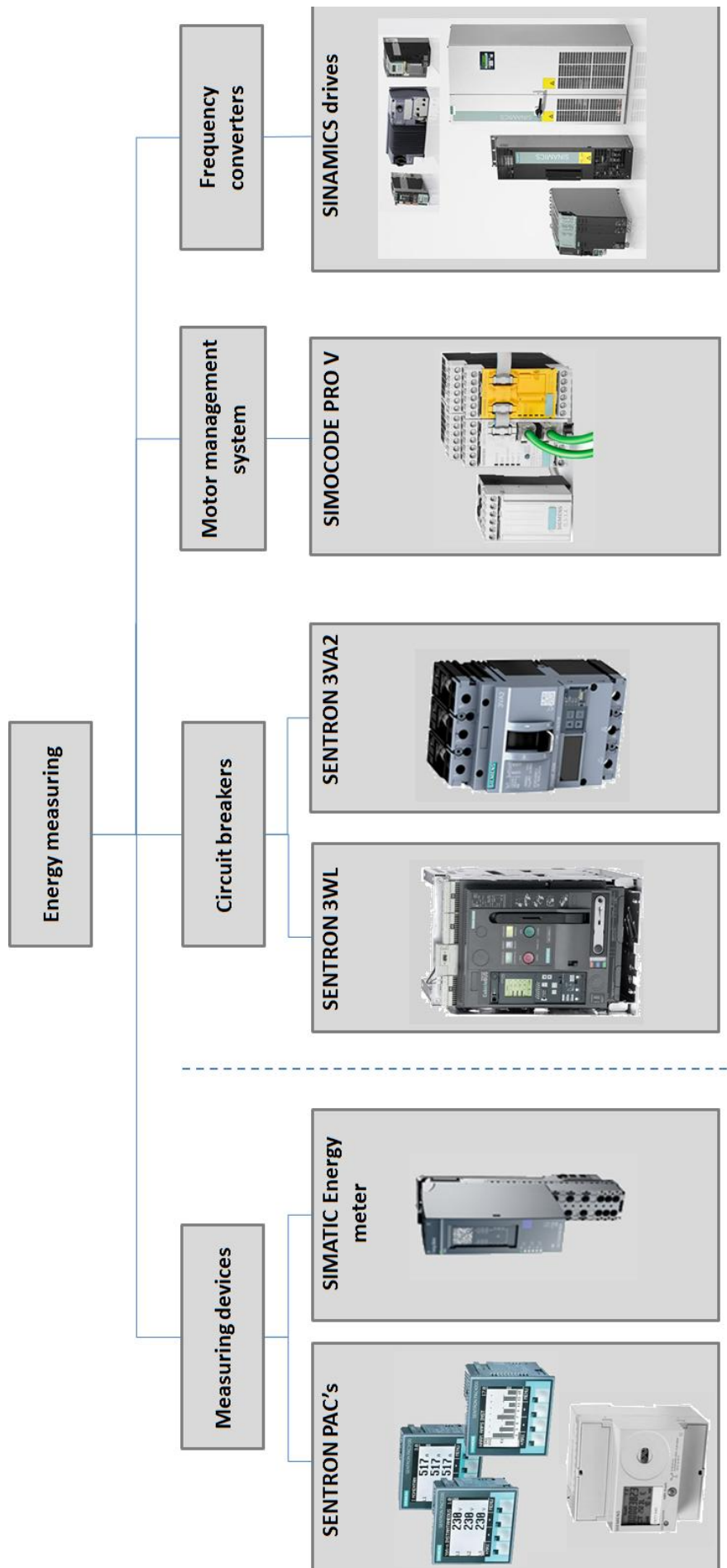
Ter vervollediging en verduidelijking worden in Bijlage B "Energimeetapparatuur met communicatiefunctie" hoofdstukken "B1 Apparatuur met als primaire functie meten" en "B2 Apparatuur met als primaire functie aansturen, beveiligen of controleren" de verschillende producten met meetfunctie kort besproken. Een bondig overzicht vindt men terug in een *excel-file*. Deze *excel-file* is terug te vinden in het hoofdstuk "Overzicht producten met meetfunctie en communicatiemogelijkheid".

In Bijlage C "Richtlijnen en Normen meetapparatuur" worden ter vervollediging enkele normen en richtlijnen in verband met meetapparatuur verduidelijkt.

## 3.3 Overzicht producten met meetfunctie en communicatiemogelijkheid

Het overzicht van de verschillende producten binnen het gamma die de mogelijkheid hebben om energie te meten alsook een communicatiefunctie hebben, vindt men terug in Bijlage D "Overzicht Siemens meetproducten". Een korte samenvatting vindt men terug in Figuur 3.



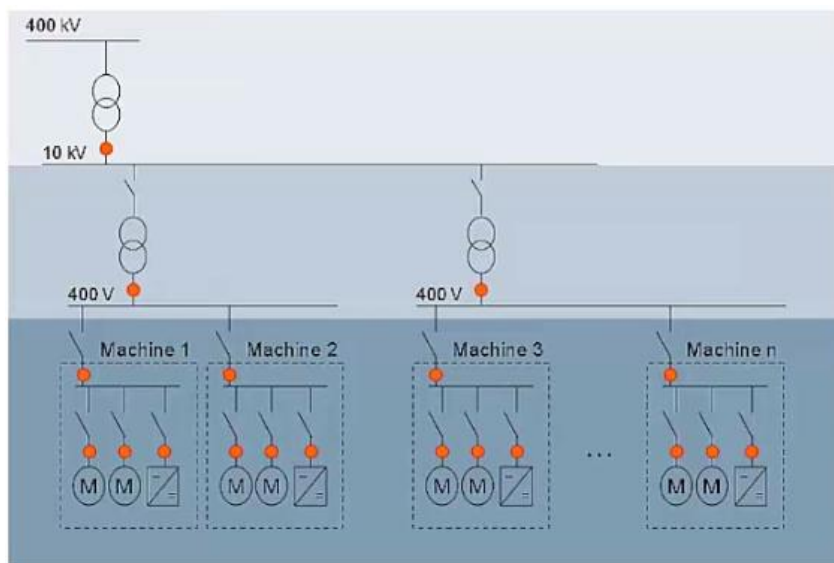


**Figuur 3** Overzicht Siemens meetproducten

### 3.4 Waar welk apparatuur toepassen

Indien men terug naar de "energie-efficiëntiekring" (zie Figuur 2) kijkt, naar de tak "identificeren van de energiestromen", wordt in Bijlage B "Energimeetapparatuur met communicatiefunctie" de hoofdstukken "B1 Apparatuur met als primaire functie meten" en "B2 Apparatuur met als primaire functie aansturen, beveiligen of controleren" de verschillende apparatuur besproken, die het mogelijk maken om de energiestromen te identificeren.

Pas als alle energiestromen op ieder niveau in kaart zijn gebracht, kan men overgaan naar het analyseren en verbeteren van het huidige energieverbruik. Er kan nu de vraag worden gesteld waar men welke producten in een installatie op het vlak van energiemetingen toepast.



**Figuur 4 Schematische voorstelling van de elektriciteitshiërarchie. [14]**

Elk oranje bolletje in Figuur 4 stelt een energiemeter voor. Startend van op het middenspanningsniveau op 10kV, naar laagspanningsniveau op 400V, en vervolgens op machineniveau. Op elke aftakking wordt er een meter geplaatst om het energieverbruik goed in kaart te brengen.

Als men kijkt van middenspannings- naar machineniveau, neemt het aantal te plaatsten meters sterk toe. Dit heeft als positief gevolg dat er een goed beeld gevormd kan worden van waar en wanneer de energievraag komt.

Als men start van op middenspanningsniveau te kijken, kan men stellen dat er op dit niveau een meetapparaat wordt toegepast, dat als primaire functie "meten" heeft. Deze gemeten waarden kunnen onmiddellijk op een display weergegeven worden. Een product dat aan beide eisen voldoet, is de PAC4200 energiemeter.

Met deze SENTRON PAC4200 kunnen de meetwaarden onmiddellijk van het display afgelezen worden. Een extra voordeel is dat deze SENTRON PAC4200 ook de mogelijkheid heeft om het frequentiespectrum (THD) op te meten. Zo kan er gecontroleerd worden als de netspanningskwaliteit op het PCC-punt (Point of Common Coupling) binnen de normering valt (EN 50160). Er moet bij deze meter echter wel gebruik gemaakt worden van spanning- en stroomtransformatoren om de grote spanningen en stromen te reduceren.

Als men een trapje lager op de schematische voorstelling van de "elektriciteitshiërarchie" kijkt, kan er een SENTRON PAC3200 of PAC3100 worden toegepast. Deze kan eveneens de hoofdtakken van een installatie meten en de gemeten resultaten onmiddellijk op het display weergeven.

Naarmate men lagere in de elektriciteitshiërarchie metingen uitvoert, zal het aantal te plaatsen meters toenemen en de beschikbare plaats in de elektriciteitskasten afnemen. Hierdoor is er een compacte, relatief goedkope energiemeter nodig. De SIMATIC ET200SP Energy meter voldoet aan deze eisen. Op deze Energy meter is echter geen display, de gemeten data van de ET200SP wordt via profibus of profinet communicatie door de gekoppelde PLC opgevraagd. Hierna kunnen deze visueel op bijvoorbeeld een *panel* worden weergegeven.

Dit zijn echter voorstellen, er zijn nog andere combinatiemogelijkheden. Bijvoorbeeld SENTRON PAC's toepassen op machineniveau. Maar dit is niet een ideale keuze, aangezien de SENTRON PAC's relatief veel plaats innemen en duurder zijn t.o.v. de SMATIC ET200SP Energy meter.

De hierboven omschreven voorstellen zijn enkel Siemens Industry producten die als primaire functie "meten" hebben. Buiten deze meters zijn er producten uit het Siemens Industry gamma die "aansturen, beveiligen of controleren" als primaire functie hebben.

De SENTRON WL vermogensschakelaars hebben als primaire functie "beveiligen en een hoofdkring in en uit te schakelen". Dus juist achter de transformator van 10kV naar 400V op de bovenstaande figuur. Met de meetfunctie van deze SENTRON WL is het mogelijk om onder andere het piekvermogen van heel de installatie te controleren.

De SENTRON 3VA vermogensschakelaar heeft eveneens als primaire functie "beveiligen en grotere vermogens af te schakelen". Ze hebben ook de mogelijkheid om het piekvermogen op te meten in lagergelegen kringen.

De SIMOCODE Pro V heeft een controlefunctie binnen het motormanagementsysteem dat voor laagspanningsmotoren wordt gebruikt. Als secundaire functie kan deze SIMOCODE Pro V, met een stroom/spanningstransformator en Basic Unit op motorniveau, energie meten.

SINAMICS frequentieomvormers hebben als primaire functie "het regelen van de frequentie", om op die manier (dynamische) motoren aan te sturen. Via parameters (vb. r...) kunnen er gegevens van de SINAMICS omvormers opgevraagd worden door controle- of stuureenheden, zoals een PLC uit het gamma van SIMATIC of controle-eenheden uit het gamma van SIMOTION of SINUMERIK. Dus deze manier van datameting kan men toepassen op het machineniveau, waar men gebruik maakt van frequentieomvormers.

De hierboven opgenoemde apparatuur hebben allemaal een communicatiefunctie om de gemeten data naar een centraal controlepunt (vb. PLC) door te sturen, waar het energieverbruik van heel de installatie in kaart kan worden gebracht.

*De geraadpleegde bron in hoofdstuk "3.4 Waar welk apparatuur toepassen" is [14]*

## 3.5 Besluit

Er is een overzicht gemaakt van de verschillende producten binnen het Siemens Industry gamma die de mogelijk hebben om energie te meten. Meer specifiek de producten met een meetfunctie alsook een communicatiemogelijkheden.

Kort samengevat zijn de producten met (energie)meetfunctie en communicatiemogelijkheid onder te verdelen in twee hoofdgroepen:

- apparatuur met als primaire functie meten:
  - SIMATIC ET200SP energy meter,
  - SENTRON PAC's,
    - PAC 3100,
    - PAC 3200,
    - PAC 4200,
    - PAC 1500.
  
- apparatuur met als primaire functie aansturen, beveiligen of controleren:
  - SENTRON vermogensschakelaars,
    - 3WL,
    - 3VA2,
  - SINAMICS frequentieomvormers,
  - SIMOCODE motormanagementsysteem,
    - SIMOCODE PRO V

Een volledig overzicht vindt men terug in Bijlage E "Overzicht Siemens meetproducten".

*De geraadpleegde bronnen in Hoofdstuk 3 "Energie data identificatie", Bijlage B "Energimeetapparatuur met communicatiefunctie" en Bijlage E "Richtlijnen en Normen" zijn [2] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24]. [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32].*

## Hoofdstuk 4 Energiedata-analyse

### 4.1 Situering

Zoals in hoofdstuk 2, meer bepaald 2.2 "Energy efficiency" al is besproken, is de energie-efficiëntiecirkel (zie Figuur 2) van Siemens in drie takken onderverdeeld. Deze drie takken zijn het identificeren, evalueren en te optimaliseren (of realiseren) van de verbruikte energie. Het vorige hoofdstuk "Energie data identificatie" bevindt zich in de tak "identificeren van het energieverbruik" van de energie-efficiëntiecirkel. In dat hoofdstuk zijn de toestellen verduidelijkt die de mogelijkheid hebben om energie te meten en deze gemeten energie naar een controle-eenheid (vb. PLC) door te communiceren.

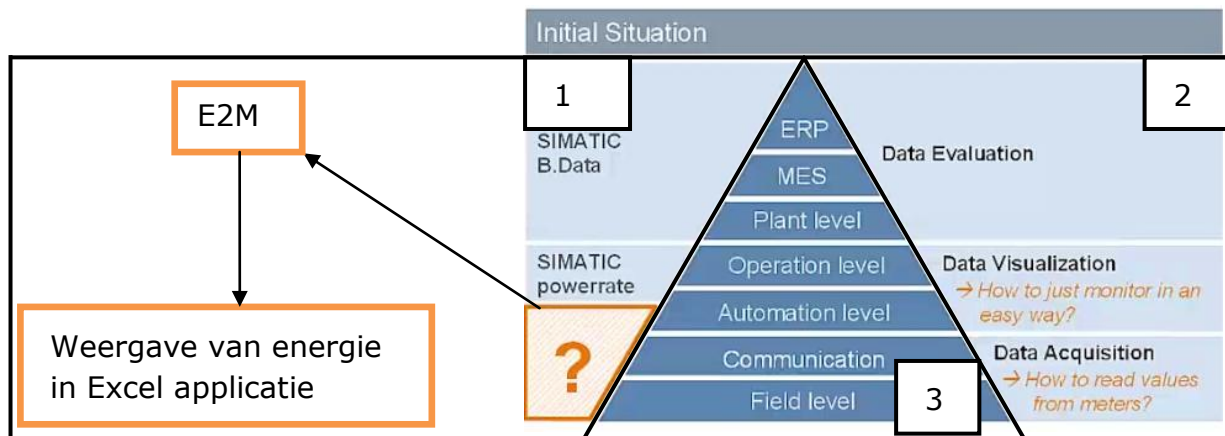
Eenmaal er energie gemeten en naar een controle-eenheid is verzonden, moet deze energiedata via een softwarepakket worden verwerkt. Hierna kan de data visueel worden weergegeven op bijvoorbeeld een *panel*. Dit proces bevindt zich in de evaluatietak van de energie-efficiëntiecirkel.

De opdracht in dit deel van de masterproef is het maken van een eenvoudige *low cost* applicatie voor het bekomen van een overzichtelijke weergave van gelogde energiedata. En dit met de toegankelijke software, Excel. De Excelapplicatie moet de energiedata grafisch kunnen weergeven op uur, dag-, maand of jaarbasis.

## 4.2 Energiemanagementsystemen per gebruiksniveau

Siemens heeft tal van softwarepakketten voor energiemangement zoals Powerrate, b.data [33], Powermanager, Energy Analytics [34], enz.

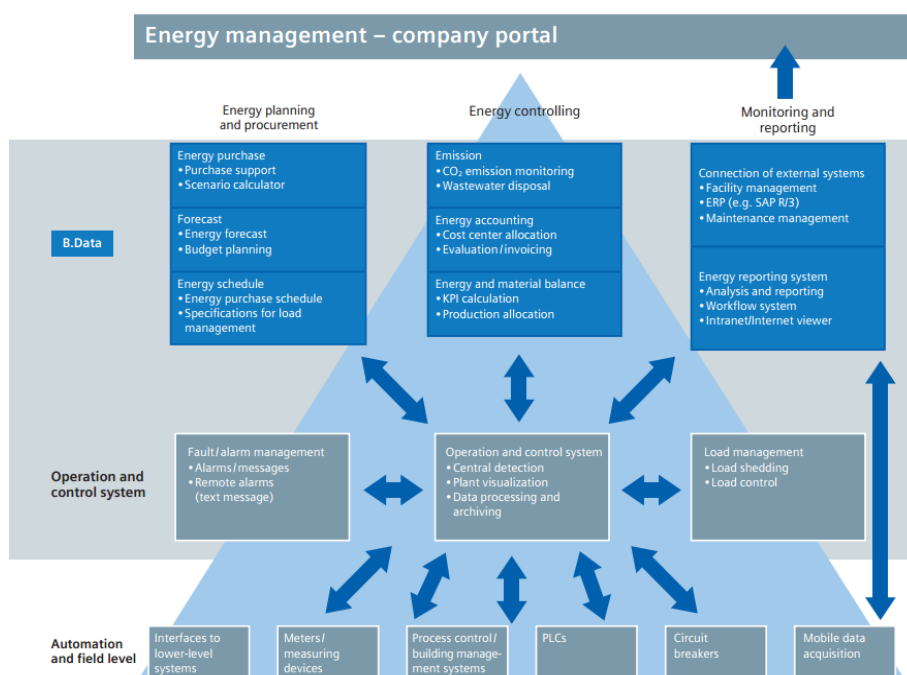
In dit subhoofdstuk worden de energiemangementssystemen van Siemens Industry kort toegelicht. Vooraleer de verschillende energiemangementssystemen per gebruiksniveau verduidelijkt en geplaatst kunnen worden, moeten eerst de verschillende niveaus worden gedefinieerd (zie Figuur 5).



**Figuur 5 Energy management niveaus [14]**

In Figuur 5 is weergegeven welke managementsystemen (1) er bij een bepaald veldniveau (3) worden toegepast. Verder vindt men in Figuur 5 ook de verschillende dataniveaus (2) terug.

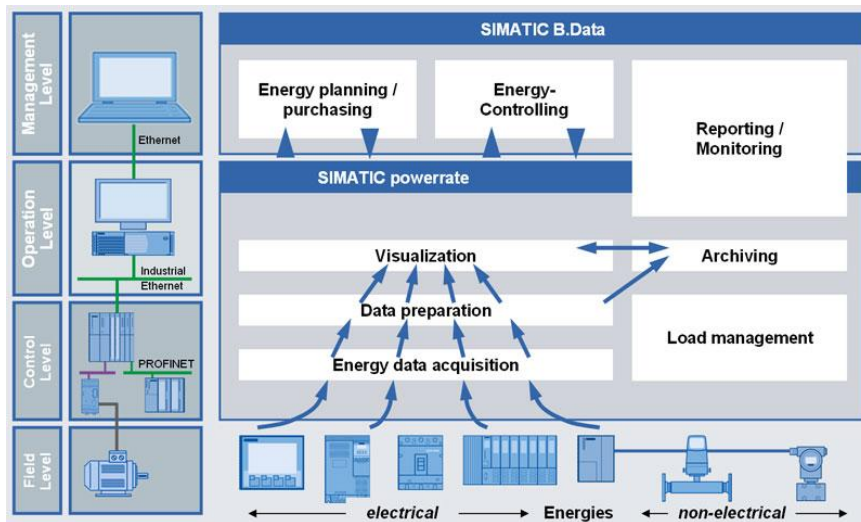
Startend op het hoogste dataniveau, het "Data Evaluation" niveau, ofwel het niveau waar de gemeten en gelogde data geanalyseerd en geëvalueerd worden. Hier bevindt zich B.data. In Figuur 6 wordt B.data schematisch weergegeven.



**Figuur 6 Schematische weergave van B.Data [35]**

B.data is een krachtig energiemanagementsysteem voor het bekomen van een efficiënter en geoptimaliseerd energiemanagementsysteem. Verder is B.data voorzien van functies voor het toewijzen van kosten en het overdragen van informatie naar boekhoudsystemen. Met dit systeem brengt men de energiestromen tot op managementniveau. Deze software biedt veel mogelijkheden voor het gevorderde energiebeheer.

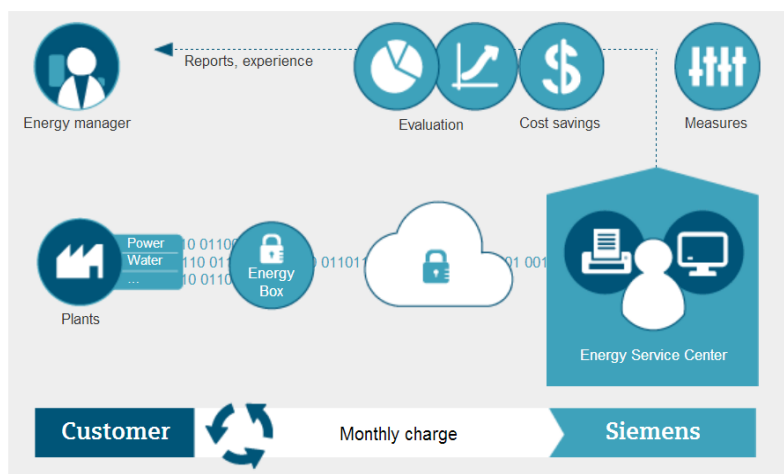
Een dataniveau lager bevindt men zich in het "Data Visualisation" niveau, ofwel het niveau waar dat de gemeten en gelogde data uit het lager liggende niveau gevisualiseerd worden. Op dit niveau bevindt zich de software "Powerrate" en "Energy Analytics". In Figuur 7 wordt Powerrate schematisch weergegeven.



**Figuur 7 Schematische weergave van Powerrate [36]**

Powerrate standaardiseert, visualiseert en archiveert energie. Deze software wordt toegepast voor de eenvoudige evaluatie van de energiestromen en automatische rapportering.

In Figuur 8 wordt het systeem "Energy Analytics" schematisch weergegeven

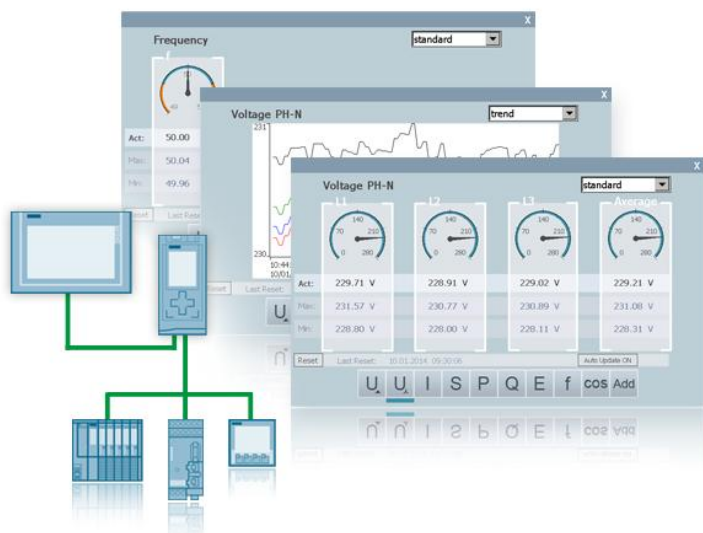


**Figuur 8 Schematische weergave van Energy Analytics [34]**

Energy Analytics is een energiemanagementsysteem waar de meetgegevens naar Siemens "energy server center" worden doorgestuurd. Het Siemens "energy server center" zal

vervolgens de meetgegevens analyseren en evalueren waarna de analyse naar de eindgebruiker wordt doorgestuurd.

Op het laagste dataniveau bevindt zich het "Data Acquisition" niveau, ofwel het niveau waar het verbruik gemeten en gelogd wordt. Op dit niveau kan E2M teruggevonden worden. Figuur 9 is een visualisatieweergave en een schematische voorstelling van "E2M" weergegeven.



**Figuur 9 Visualisatieweergave en schematische voorstelling van "E2M" [37]**

E2M bevat voorbeeld functieblokken om de data op een structurele manier te verwerken alsook *templates* voor de visualisatie [37].

Echter zijn bovenstaande besproken systemen niet altijd de beste oplossing voor een bepaalde situatie. B.data en Powerrate zijn uitgebreidere softwarepakketten die niet altijd ideaal zijn voor kleinere bedrijven met een beperkt budget. Een eerste alternatief zou het softwarepakket "Energy Analytics" kunnen zijn [34]. Een ander alternatief is "E2M" [37]. "E2M" is een *low cost* applicatie welke de actueel gemeten waarden visueel weergeeft. Echter biedt "E2M" geen oplossing naar historische data.

De opdracht in dit deel van de masterproef is het maken van een *low cost* applicatie voor het grafisch weergeven van gelogde energiedata op het laagste niveau (zie Figuur 5). Hiervoor is er gekozen voor het maken van de applicatie in Excel met Visual Basic (VBA), aangezien deze software zeer toegankelijk is.

*De geraadpleegde bronnen in hoofdstuk "4.2 Energiemanagementsystemen per gebruiksniveau" zijn [14] [33] [34] [35] [36] [37].*



## 4.3 Excelapplicatie voor energiedata weergave

Zoals reeds in het vorige hoofdstuk "Energiemanagementsystemen per gebruiksniveau" besproken, bestaat het doel uit het maken van een Excelapplicatie. Deze applicatie moet zorgen voor een eenvoudige grafische weergave van de gelogde energiedata. Deze applicatie moet de energie data op jaar-, maand-, dag- of uurbasis kunnen weergeven waarbij rekening wordt gehouden met een gekozen tolerantie.

### 4.3.1 Concept Excelapplicatie

Alvorens er een applicatie gemaakt kan worden, dient er een concept uitgewerkt te worden waarbij een basis wordt gelegd voor de werking en de lay-out. Eerst wordt de werking besproken en daarna komt het visueel concept aan bod.

De werking van de applicatie moet aan enkele eisen voldoen, nl. de data:

- weergeven op jaar-, maand-, dag- of uurbasis,
- weergeven rekening houdend met gekozen tolerantie,
- inlezen uit een CSV-file.

Rekening houdend met deze eisen is een schema opgesteld welke terug te vinden is in Figuur 10. Dit schema geeft de stappen weer welke softwarematig moeten doorlopen worden.



**Figuur 10** Schematische weergaven van de basiswerking van de Excelapplicatie

De Excelapplicatie zal de ingelezen data (zoals in Figuur 10 grafisch is weergegeven):

- ingeven van locatie CSV-file,
- ingeven van de tolerantie,
- bedienen van de "Read File" toets,
- inlezen van de data,
- opsplitsen van de data,
- verwerken van de meetdata,
- filteren en weergeven van de data tussen 2 opgegeven tijdstippen.

De applicatie zal deze stappen niet allemaal in één keer uitvoeren. Dit is een keuze die gemaakt is om de wachttijd van de weergave te verkleinen. De eerste stap is het inlezen en verwerken van de data. Nadat de data verwerkt is, kan de gebruiker de begin- en einddatum ingeven waartussen de waarden moeten liggen. Enkel deze data zal dan weergegeven worden. Door de applicatie in verschillende stappen te laten werken, dient de data maar 1 keer ingelezen en verwerkt te worden. Het voordeel is dat men na het inlezen van de data oneindig aantal keer van datum kan verwisselen zonder extra wachttijden.

Nadat de werking verduidelijkt is, kan er een conceptweergave (zie Figuur 11) worden gemaakt.



**Figuur 11** Visueel concept van de Excelapplicatie

In Figuur 11 wordt het visueel concept van de applicatie weergegeven. Tijdens het ontwerp van de applicatie is er rekening gehouden met verscheidende parameters. Deze parameters dienen door de gebruiker van de applicatie ingegeven te worden en zijn van essentieel belang voor de goede werking van de applicatie.

Volgende parameters moeten ingegeven worden:

- tolerantie,
- gegevens voor labels en titel,
- begin- en einddatum,
- *file path*,
- uur-, dag-, maand-, jaarmodus.

Ook dienen er enkele bedieningsknoppen aanwezig te zijn om de applicatie te kunnen bedienen, nl.:

- lezen van de file,
- maken van het diagram,
- help.

## 4.3.2 Uiteindelijke Excelapplicatie

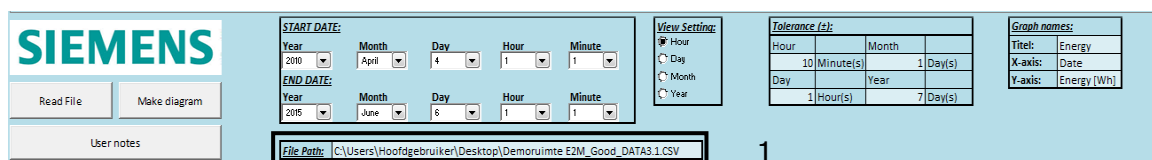
In het vorige hoofdstuk is aangehaald welke stappen de applicatie moet doorlopen, nl.:

- ingeven van locatie CSV-file,
- ingeven van de tolerantie,
- bedienen van de "Read File" toets,
- inlezen van de data,
- opsplitsen van de data,
- verwerken van de meetdata,
- filteren en weergeven van de data tussen 2 opgegeven tijdstippen.

Deze stappen zullen in dit hoofdstuk uitgebreider aan bod komen.

### 4.3.2.1 Ingeven van locatie CSV-file.

De eerste fase van het proces is het ingeven van de locatie van de CSV-file<sup>1</sup>. Om dit te verduidelijken moet eerst de bediening van de applicatie worden toegelicht. (zie Figuur 12)



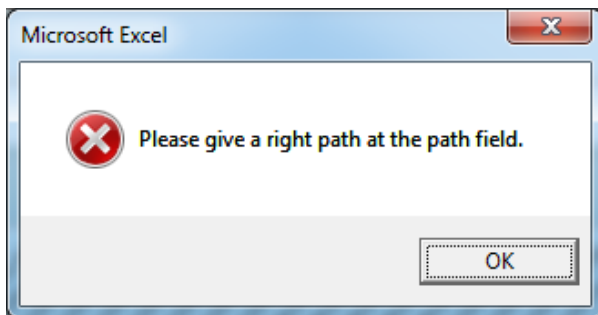
**Figuur 12 Bediening voor het inlezen van de data**

<sup>1</sup> De afkorting CSV staat voor "Comma Separated Values" ofwel kommagescheiden waarden.

Als eerste dient de locatie van de CSV-file ingegeven te worden (1). Het correct ingeven hiervan moet als volgt gebeuren:

1. Ga naar de map waarin de CSV-file is opgeslagen.
2. Rechts klikken op de CSV-file.
3. Ga naar "properties" (of "eigenschappen"), hier vindt men het *file path*.
4. Kopieer *file path* in lichtblauwe vakje in applicatie naast "File Path".

Het ingeven van de locatie is nu voltooid. Indien er een foute locatie is ingegeven, zal er een foutmelding volgen (zie Figuur 13).

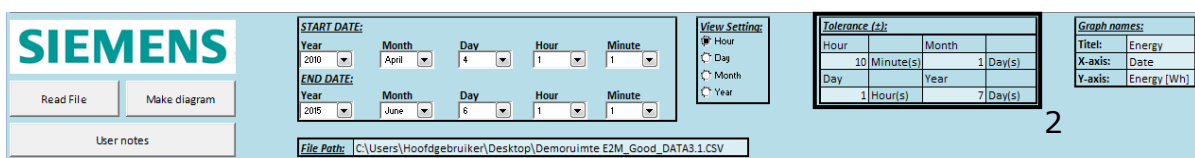


**Figuur 13** Foutmelding bij foutief ingeven van *file path*

Men dient rekening te houden met het feit dat deze paramater aangepast moet worden alvorens men deze inleest. De volgorde van de kolommen moet eveneens correct zijn. Dit wordt uitgelegd in hoofdstuk 4.3.2.4 "Inlezen van de data".

#### 4.3.2.2 Ingeven van de tolerantie

Na het ingeven van de locatie dient de tolerantie (zie Figuur 14) ingegeven te worden. Deze zal bepalen tussen welke tijdstippen de data moet voorkomen om een correcte weergave van de data te krijgen.



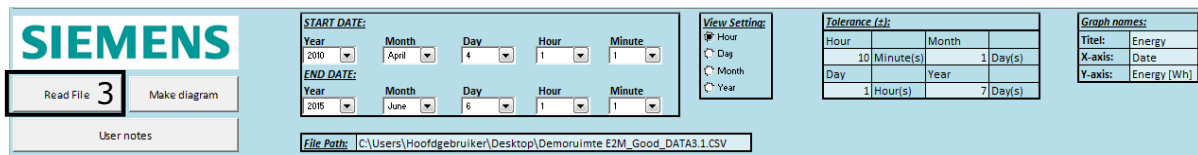
**Figuur 14** Ingave van parameters

Voorbeeld: Stel dat een tolerantie van  $\pm 10$  minuten voor de uren wordt opgelegd. De laatste waarde van het vorige uur of de eerste waarde van het huidige uur zal dan binnen de range  $xx:50$  (bv. 10:50) en  $x(x+1):10$  (bv. 11:10) moeten liggen. Indien dit niet het geval is, zal er voor deze periode een "0" als energiewaarde worden weergegeven.

Er dient rekening gehouden te worden met het feit dat deze paramaters aangepast moeten worden alvorens men de data inleest.

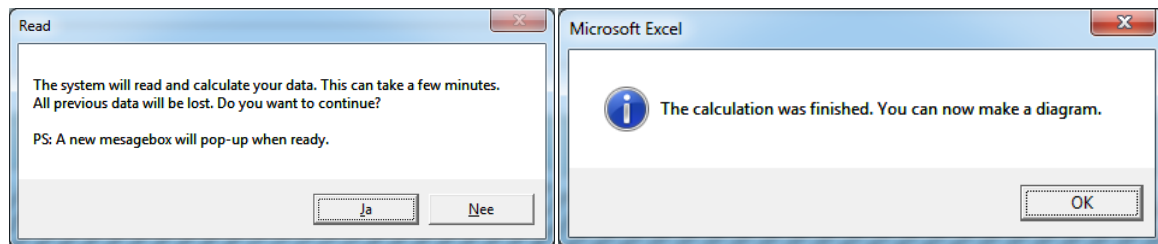
### 4.3.2.3 Bedienen van de "Read File" toets

Nadat het *file path* van de CSV-file en de toleranties zijn ingegeven, kan de "Read File" toets (2) bediend worden (zie Figuur 15).



**Figuur 15** Bediening "Read File"

Nadat de "Read File" toets (2) bediend is, zal er een pop-up box openen (zie Figuur 16).



**Figuur 16** Pop-up box bij start (links) en einde (rechts) van inlezen.

In de pop-up box krijg je bij het starten (links) van het inlezen / de keuze tussen "ja, ik wil de data inlezen" en "neen, ik wens de huidige data te behouden". Ook staat er vermeld dat er een nieuwe pop-up box komt wanneer de calculatie gedaan is (rechts).

Wanneer men de toets "ja" bedient, dan zal de applicatie starten met volgende stappen:

1. Inlezen van de data uit de CSV-file,
2. Opsplitsen van de data uit de CSV-file,
3. Verwerken van de gegevens.

Deze stappen worden in de volgende deelhoofdstukken besproken.

### 4.3.2.4 Inlezen van de data

Nadat de pop-up box bij "Read File" beantwoord is met "ja", zal de Excelapplicatie de data binnenlezen in een daarvoor voorziene tabblad.



**Figuur 17** Voorbeeld van inlezen CSV-file

De file wordt aangemaakt door de PLC/Panel/energiemeter en bevat de gelogde data. In Figuur 17 kan een voorbeeld teruggevonden worden waar de data wordt ingelezen. De ingelezen data zal initieel ongesplitst staan.

Om het inlezen op een correcte manier te laten verlopen, dient men rekening te houden met de volgorde van de kolommen en dienen er titels aanwezig te zijn.

	A	B	C	D	E
1	VarName	TimeString	VarValue	Validity	Time_ms
2	Energy	31/12/2009 23:44	1,96306	1	4,2E+10
3	Energy	31/12/2009 23:59	5,75017	1	4,2E+10

**Figuur 18 Volgorde van data in de CSV-file**

In Figuur 18 vindt men de volgorde van de kolommen terug. Het is uiterst belangrijk de volgorde van de kolommen te respecteren om de calculatie goed te laten verlopen. Ook het gebruik van titels (*headers*) is noodzakelijk. Er wordt aangeraden om dezelfde titels als in dit voorbeeld te nemen.

De kolommen zien er als volgt uit:

- Kolom A : "VarName", de naam van de variabele.
- Kolom B : "TimeString", de moment waarop de loggin gebeurde. De datum dient in volgend formaat "dd/mm/jjjj u:mm" te staan.
- Kolom C : "VarValue", de gemeten waarde van het tijdstip.
- Kolom D : "Validity", dient niet aanwezig te zijn.
- Kolom E : "Time\_ms", dient niet aanwezig te zijn.

De eerste 3 kolommen moeten aanwezig zijn, de laatste 2 niet. Dit omdat enkel de eerste 3 kolommen voor verdere berekening worden gebruikt. Het gebruik van meer dan 5 kolommen wordt ten zeerste afgeraden omdat dit de werking van de applicatie kan verstoren.

#### 4.3.2.5 Opsplitsen van de data

De vorige fase was het inlezen van de data. Nu alle data in 1 kolom staan, dient deze terug opgesplitst te worden.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	VarName;TimeString;VarValue;Validity;Time_ms			VarName	TimeString	VarValue	Validity	Time_ms	
2	Energy;31/12/2009 23:44;1,963063993;1;41705404672			Energy	31/12/2009 23:44	1,963063993	1	41705404672	
3	Energy;31/12/2009 23:59;5,750174416;1;41705404683			Energy	31/12/2009 23:59	5,750174416	1	41705404683	
4	Energy;1/01/2010 0:14;6,08869986;1;41705404695			Energy	1/01/2010 0:14	6,08869986	1	41705404695	
5	Energy;1/01/2010 0:29;11,05872243;1;41705404706			Energy	1/01/2010 0:29	11,05872243	1	41705404706	
6	Energy;1/01/2010 0:44;15,59839499;1;41705404718			Energy	1/01/2010 0:44	15,59839499	1	41705404718	
7	Energy;1/01/2010 0:59;19,46371778;1;41705404730			Energy	1/01/2010 0:59	19,46371778	1	41705404730	
8	Energy;1/01/2010 1:14;24,44184889;1;41705404741			Energy	1/01/2010 1:14	24,44184889	1	41705404741	
9	Energy;1/01/2010 1:29;27,3055883;1;41705404753			Energy	1/01/2010 1:29	27,3055883	1	41705404753	
10	Energy;1/01/2010 1:44;31,25124962;1;41705404764			Energy	1/01/2010 1:44	31,25124962	1	41705404764	
11	Energy;1/01/2010 1:59;31,47547301;1;41705404776			Energy	1/01/2010 1:59	31,47547301	1	41705404776	
12	Energy;1/01/2010 2:14;36,62610208;1;41705404787			Energy	1/01/2010 2:14	36,62610208	1	41705404787	
13	Energy;1/01/2010 2:29;41,4473569;1;41705404799			Energy	1/01/2010 2:29	41,4473569	1	41705404799	
14	Energy;1/01/2010 2:44;44,73233677;1;41705404811			Energy	1/01/2010 2:44	44,73233677	1	41705404811	
15	Energy;1/01/2010 2:59;51,6470095;1;41705404822			Energy	1/01/2010 2:59	51,6470095	1	41705404822	

**Figuur 19 Van ongesplitste data naar gesplitste data.**

Zoals men in Figuur 19 kan zien, bestaat de tweede fase uit het splitsen van de data die in de vorige fase is ingelezen. De data wordt automatisch gescheiden aan de hand van de komma's tussen de waarden. Telkens er een komma voorkomt, zal de tekst die er achter komt in een volgende kolom worden geplaatst.

#### 4.3.2.6 Verwerken van de meetdata

Nadat de data ingelezen en gesplitst zijn, moeten deze nog verwerkt worden. Het verwerken van de data kan in verschillende stappen opgesplitst worden:

- het bepalen van de eerste en laatste datum van de data,
- het aanmaken van datumlijsten:
  - uur,
  - dag,
  - maand,
  - jaar,
- het zoeken van dichtstbijzijnde waarde,
- het berekenen van de energiever verschillen.

##### ➤ **Het bepalen van de eerste en laatste datum van de data**

De eerste stap die dient te gebeuren, is het bepalen van de eerste en laatste datum van de data. Deze datums zijn nodig in de volgende stappen.

##### ➤ **Het aanmaken van datumlijsten**

Wanneer de eerste en laatste datum van de dag bekend zijn, kunnen de datumlijsten aangemaakt worden. De datumlijsten zijn lijsten met datums die met een vast tijdsinterval toenemen. Dit tijdsinterval is afhankelijk van de weergave (uur, dag, maand of jaar)

**Tabel 1 Tabel met tijdsintervallen**

Weergave	tijdsinterval	
Uur	1	uur
Dag	1	dag
Maand	1	maand
Jaar	1	jaar

In Tabel 1 kunnen de tijdsintervallen met de bijhorende weergave teruggevonden worden. In de applicatie is het zo dat voor elke weergave-eenheid 2 datums berekend en in de datalijst weggeschreven worden.

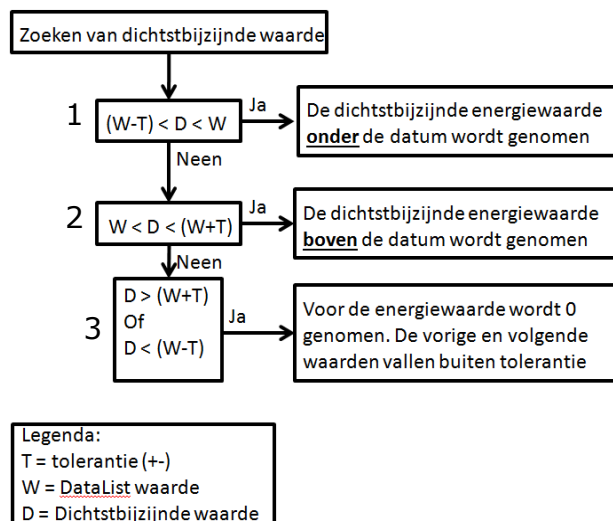
**Tabel 2 Voorbeelden van datalijsten**

Datalijst uur	Datalijst dag	Datalijst maand	Datalijst jaar
24/04/2014 6:00	24/04/2014 0:00	1/01/2014 0:00	1/01/2012 0:00
24/04/2014 6:59	24/04/2014 23:59	31/01/2014 23:59	31/12/2012 23:59
24/04/2014 7:00	25/04/2014 0:00	1/02/2014 0:00	1/01/2013 0:00
24/04/2014 7:59	25/04/2014 23:59	28/02/2014 23:59	31/12/2013 23:59
24/04/2014 8:00	26/04/2014 0:00	1/03/2014 0:00	1/01/2014 0:00
24/04/2014 8:59	26/04/2014 23:59	31/03/2014 23:59	31/12/2014 23:59

Stel dat de weergave per uur wordt gekozen (zie Tabel 2), dan zal er voor elk uur 2 waarden aangemaakt worden. Namelijk de waardes dd/mm/jjjj uu:00:00 (dd/mm/jjjj uu:mm:ss) en dd/mm/jjjj uu:59:59. Op deze manier komt er een lijst tot stand waarbij de eerste en de laatste uurwaarde worden bekomen. De andere weergaves werken identiek aan dit voorbeeld maar dan op dag-, maand- en jaarniveau.

### ➤ Het zoeken van dichtstbijzijnde waarde

De datalijsten zijn aangemaakt maar bevatten nog geen bijhorende energiedata. Om de dichtstbijzijnde energiedata te vinden, dient er een cyclus doorlopen te worden waarbij er naar de dichtstbijzijnde datum wordt gekeken. Deze cyclus zal verschillende mogelijkheden doorlopen tot er een waarde is gevonden.



**Figuur 20 Zoeken van de dichtstbijzijnde waarde**

De drie mogelijkheden (in Figuur 20) kunnen als volgt omschreven worden als een waarde:

- Tussen de DataList waarde en de DataList minus tolerantie waarde (1).
- Tussen de DataList waarde en de DataList plus tolerantie waarde (2).
- Buiten de DataList minus tolerantie waarde en de DataList plus tolerantie waarde (3).

Eerst wordt er gekeken naar het bereik dat overeenkomt met "dataList" minus de eerder ingegeven tolerantie. Indien dit geen resultaat oplevert, wordt er naar het bereik "dataList" plus de tolerantie gekeken. Indien er geen waarde in de tolerantiegrenzen ligt, dan zal een "0" als energiewaarde aangenomen worden.

**Tabel 3 Tabel dichtstbijzijnde energiewaarde**

DateList	DateOfLog	EnergyValue
24/04/2014 10:59	24/04/2014 10:56	4785,84
24/04/2014 11:00	24/04/2014 10:56	4785,84
24/04/2014 11:59	24/04/2014 11:56	32269,09
24/04/2014 12:00	24/04/2014 11:56	32269,09
24/04/2014 12:59	24/04/2014 12:56	49677,49
24/04/2014 13:00	24/04/2014 12:56	49677,49
24/04/2014 13:59	24/04/2014 13:56	74191,59
24/04/2014 14:00	24/04/2014 13:56	74191,59

De bekomen datum en de bijhorende energiewaarde worden in de volgende kolommen weggeschreven (zie Tabel 3). Zo wordt een lijst bekomen waarbij de eerste en laatste waarden van bijvoorbeeld elk uur worden bijgehouden. Echter kan men deze data nog niet weergeven aangezien de energiewaarden oplopend zijn. Dit brengt ons dan ook bij de laatste berekening die in onderstaande paragraaf wordt uitgelegd.



➤ **Het berekenen van de energiever verschillen**

In de vorige paragraaf werden de dichtstbijzijnde energiedata in een tabel gezocht en weggeschreven (zie Tabel 3). Echter bevat die tabel een begin- en eindwaarde voor dat uur, dag, maand of jaar. Deze berekening wordt uitgelegd aan de hand van de uurweergave. Voor de andere weergaven is het principe hetzelfde.

**Tabel 4 Tabel met berekening van energiever verschillen**

DateList	DateOfLog	EnergyValue		DateOfLog	EnergyDifferenceValue
24/04/2014 10:59	24/04/2014 10:56	4785,84		24/04/2014 10:56	0,00
24/04/2014 11:00	24/04/2014 10:56	<b>A</b> 4785,84	} <b>B-A</b> →	24/04/2014 11:56	27483,25
24/04/2014 11:59	24/04/2014 11:56	<b>B</b> 32269,09		24/04/2014 12:56	17408,40
24/04/2014 12:00	24/04/2014 11:56	32269,09	} →	24/04/2014 13:56	24514,09
24/04/2014 12:59	24/04/2014 12:56	49677,49			
24/04/2014 13:00	24/04/2014 12:56	49677,49	} →		
24/04/2014 13:59	24/04/2014 13:56	74191,59			
24/04/2014 14:00	24/04/2014 13:56	74191,59			

In Tabel 4 is weergegeven hoe de applicatie intern het verschil gaat berekenen. Dit gebeurt door de laatste waarde van een uur te verminderen met de beginwaarde van dat uur. De bekomen waarde is het verbruik of de productie van dat uur. Indien de begin- of eindwaarde een 0-waarde is, dan zal het verschil ook "0" genomen worden.

De bovenstaande bewerkingen worden uitgevoerd voor de data van uur, dag, maand en jaar. Dit elk in een andere *sheet* en andere tabel. Deze manier van werken geeft een voordeel in het visualiseren van de data en zal in het volgende subhoofdstuk "Filteren en weergeven van de data tussen 2 opgegeven tijdstippen" worden uitgelegd.

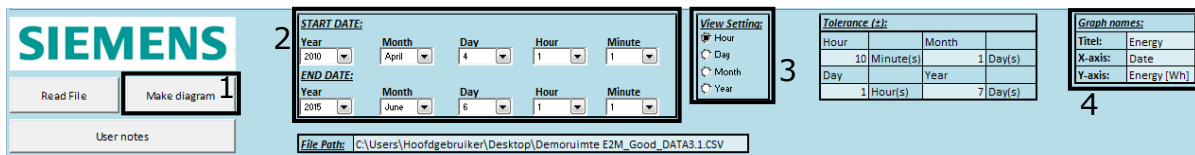
4.3.2.7 *Filteren en weergeven van de data tussen 2 opgegeven tijdstippen*

In dit hoofdstuk wordt besproken hoe de data wordt verwerkt na het drukken op de toets "Make diagram". Alle data staan klaar in de tabellen. De structuur van de data kan teruggevonden worden in Tabel 5.

**Tabel 5 Tabel met energiever verschillen**

DateOfLog	EnergyDifferenceValue
24/04/2014 10:56	0,00
24/04/2014 11:56	27483,25
24/04/2014 12:56	17408,40
24/04/2014 13:56	24514,09

Tabel 5 geeft een voorbeeld van de berekende tabel. Deze tabel wordt voor zowel uur, dag, maand als jaar gemaakt. Dit heeft als voordeel dat men snel tussen de verschillende weergaven en datumintervallen kan variëren. De weergavekeuze (2) en datumingave (1) kunnen in Figuur 21 teruggevonden worden.



**Figuur 21 Ingavepanel met weergavekeuze (2) en datumingave (1)**

In Figuur 21 kan het ingavepanel met bedieningstoets (1), datumingave (2), weergavekeuze (3) en grafiekbenamingen (4) teruggevonden worden.

Bij de datumingave (2) wordt de volledige begin- en einddatum ingegeven. Deze datums worden in de laatste filter gebruikt. Dit wordt later in deze paragraaf nog aangehaald.

Bij de weergavekeuze (3) kan de keuze gemaakt worden tussen uur-, dag-, maand- of jaarweergave.

Wanneer de bedieningstoets (1) bediend wordt, dan zal de applicatie de data filteren en in de grafiek weergeven. Ook de grafiekbenamingen worden bij het bedienen van de toets aangepast. De selectie van de weergave (uur, dag, maand en jaar) zal ervoor zorgen dat de data uit de juiste tabel gefilterd wordt aan de hand van de ingegeven datums. Deze gefilterde data komen in de grafiek terecht. Doordat in de vorige fase gekozen is voor het maken van 4 tabellen (uur, dag, maand en jaar), kan er nu eenvoudig tussen de verschillende weergaven worden omgeschakeld.

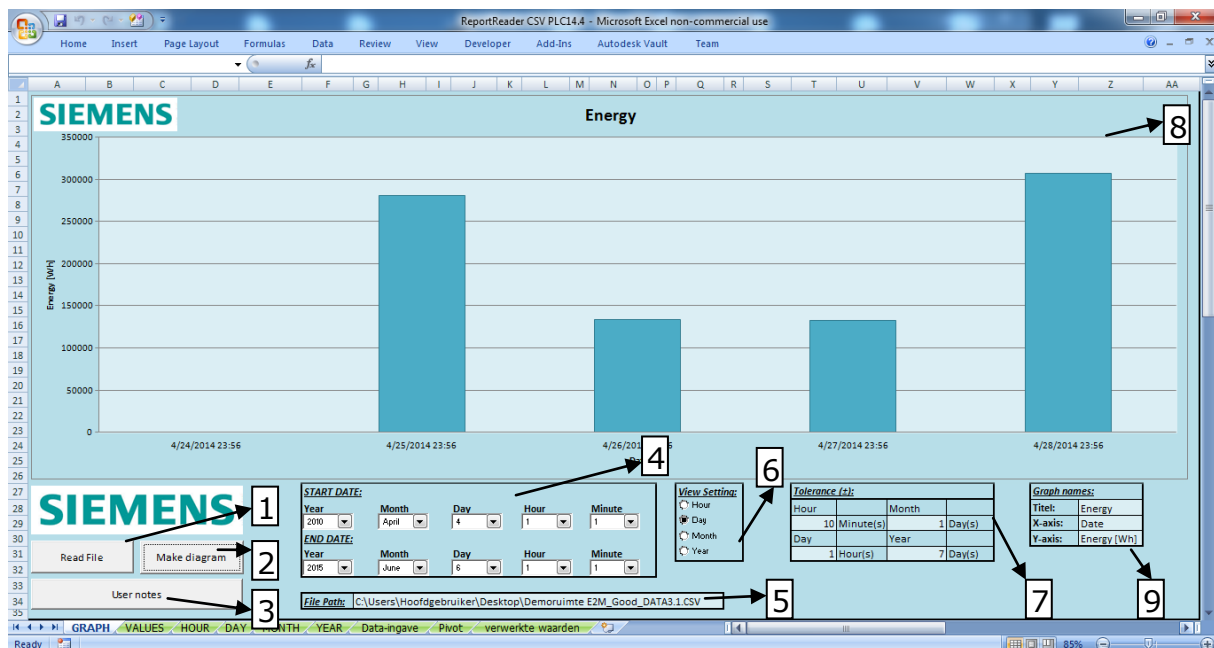
## 4.4 Besluit

Er moest een eenvoudige *low cost* applicatie om een overzichtelijke weergave van gelogde energiedata te bekomen, worden gemaakt. En dit met de toegankelijke software, Excel. De Excelapplicatie moet de energiedata grafische kunnen weergeven op uur, dag-, maand of jaarbasis. (zie Figuur 22).

In de applicatie is er de mogelijkheid om verschillende paramaters aan te passen zoals:

- de begin- en einddatum van de visualisatie,
- de tolerantie,
- de weergavemodus,
- de benaming van de titel en assen.

Verder is de Excelapplicatie voorzien van een eenvoudige bediening en helpfunctie. De eindversie van de Excelapplicatie kan men in Figuur 22 terugvinden.



**Figuur 22** Eindversie Excel-applicatie

In het visualisatiebeeld (Figuur 22) kunnen volgende onderdelen teruggevonden worden:

- "Read file", knop voor het starten van het lezen en calculeren. (1)
- "Make diagram", knop voor het maken/updaten van de grafiek. (2)
- "User notes", wanneer op deze knop gedrukt wordt, wordt de gebruiksinformatie weergegeven. (3)
- "Start date en End date", Ingave van start- en einddatum door middel van comboboxen. (4)
- "File path", ruimte waar de locatie (path) van de CSV-file ingegeven moet worden. (5)
- "View settings", hier gebeurt de selectie voor uur-, dag-, maand- of jaarweergave van de data in de grafiek. (6)
- "Tolerance", hier kan de tolerantie ingegeven worden waar de data aan moet voldoen. (7)
- "Graph", de grafiek waarin de gefilterde waarden worden weergegeven. (8)
- "Graph names", hier kan de titel en de as-benaming van de grafiek aangepast worden. (9)

Er is besloten om de applicatie op "<http://sourceforge.net/>" te plaatsen, als een *open source* applicatie. Zo kan het verder bestaan van deze applicatie verzekerd worden

*De geraadpleegde bronnen in "Hoofdstuk 4 "Energiedata-analyse " zijn [14] [33] [34] [35] [36] [37].*

## **Hoofdstuk 5 Integratie van ET200SP energy meter**

### **5.1 Situering**

De "energie-efficiëntiekring" (zie Figuur 2) van Siemens is, zoals reeds is aangehaald, onderverdeeld in drie takken. Deze drie takken zijn het identificeren, evalueren en het optimaliseren (of realiseren) van de verbruikte energie.

De vorige hoofdstukken "Energie data identificatie" en "Energiedata-analyse" bevinden zich respectievelijk in de takken "identificeren van het energieverbruik" en "evaluatie" van de energie-efficiëntiekring. In dit hoofdstuk zijn de toestellen verduidelijkt die de mogelijkheid hebben om energie te meten.

Na het theoretisch bespreken van de verschillende energiemeetapparatuur en dataverwerkingssoftwarepakketten, is vervolgens in het praktische deel van de opdracht een energiemeter geïntegreerd in de Siemens IA DT-demoruimte te Huizingen (België). Er is gekozen om de ET200SP energy meter te integreren in de demoruimte. Het integreren van deze energiemeter wordt in dit hoofdstuk besproken.

In het hoofdstuk "ET200SP met energy meter" volgt er eerst een korte beschrijving van de ET200SP energy meter, zodat er zich een beter beeld omtrent deze meter gevormd kan worden. Hierna wordt er overgegaan naar hoofdstuk "Plaatsing van de ET200SP energy meter", waarin de gebruikte hardware componenten worden besproken. Vervolgens wordt in hoofdstuk "Demoproject voor de ET200SP energy meter" de programmatie van het project voor de ET200SP energy meter besproken. En tot slot worden enkele aandachtspunten van de ET200SP energy meter aangehaald in hoofdstuk "Aandachtspunten ET200SP energy meter".

## 5.2 ET200SP met energy meter

Er wordt gestart met een korte beschrijving van de ET200-producten zodat er zich een beter beeld kan gevormd worden omtrent ET200 SP energy meter. Daarna wordt er overgegaan naar de bespreking van de ET200SP.

### 5.2.1 ET200 producten

Het Siemens SIMATIC heeft een breed gamma aan decentrale I/O systemen, dit zijn de zogenaamde ET200-systemen (zie Figuur 23).



**Figuur 23 ET200-producten [38, p. 2]**

Deze ET200-systemen beschikken over producten die zowel in als buiten schakelkasten tot toepassingen in EX-omstandigheden worden toegepast.

De ET200-systemen kunnen uitgebreid worden met digitale en analoge in-/uitgangen, intelligente modules met CPU-functionaliteit, veiligheid engineering, motorstarters, pneumatische systemen, frequentieregelaars en diverse technologie-modules. [38]

## 5.2.2 ET200SP

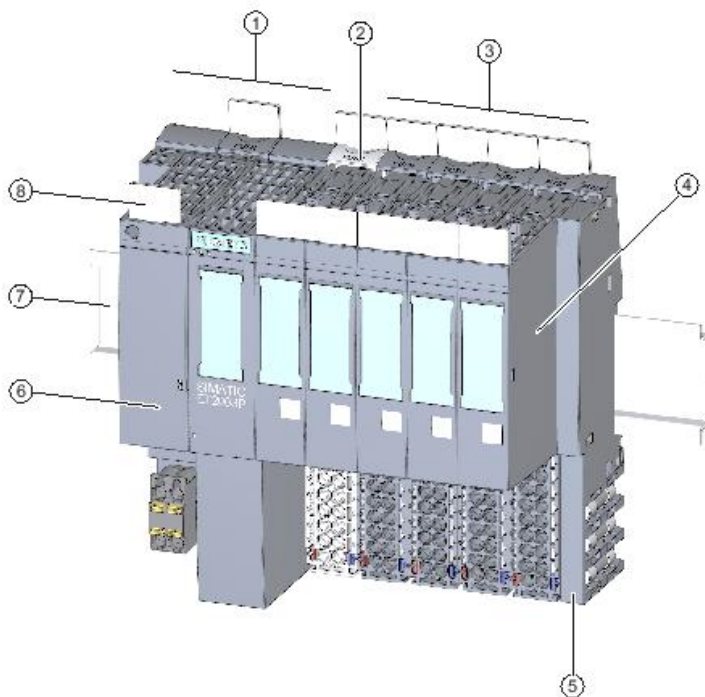
Na een globaal overzicht van het Siemens SIMATIC ET200 producten in hoofdstuk "ET200 producten", focust men zich op de ET200SP . Aangezien dit decentraal I/O-systeem energiemeters kan bevatten.



**Figuur 24 ET200SP [39]**

### 5.2.2.1 Structuur ET200SP

De ET200 SP is een decentraal I/O systeem met geïntegreerde PROFINET of PROFIBUS-verbinding. Deze ET200SP is uit verschillende modules opgebouwd (zie Figuur 25). In Tabel 6 volgt een korte beschrijving van de verschillende modules.



**Figuur 25 ET200SP modules [40]**

**Tabel 6 ET200SP modules [41]**

Modules	Omschrijving	Opmerking
1: Interface module	Hoofdmodule van het IO Station.	
2: Light Base Unit	Voor binnenkomende netspanning of galvanische scheiding.	Mogelijkheid tot vervanging van de modules zonder loskoppeling van bedrading
3: Dark Base Unit	Bevindt zich op hetzelfde potentiaal als de voorliggende. "light Base Unit".	Mogelijkheid tot vervanging van de modules zonder loskoppeling van de bedrading
4: I/O Module	-Digitale en analoge in- en uitgangsmodule.	Modules: DI, DQ, AI en AQ
	- Integratie mogelijk van fail-safe modules .	Modules: F-DI, F-DQ en F-PM-E
	-ASiBus	via AS-Interface module (incl. fail-safe)
	-AI Energy Meter	
5: Server Module	Beëindigt het station.	
6: Bus Adapter	Zorgt voor de connectie met vb. een PLC.	Communicatie: -Profinet -Profibus-DP
7: Montage rail	Montage op DIN-rail	
8: Labels	Referentie en indicatie van de module.	



### 5.2.3 Energy meter

De "AI energy meter" module (zie Figuur 26) is de module die het mogelijk maakt (elektrische) metingen uit te voeren.

Men kan met deze energy meter verschillende parameters meten, zoals vermogen, stromen, spanningen, frequentie,  $\cos(\varphi)$ , dit zowel monofasige als driefasige systemen. De uitgebreide specificaties kan men terugvinden in Bijlage F "Siemens ET200SP energy meter".



**Figuur 26 ET200SP energy meter [42]**

*De geraadpleegde bronnen in hoofdstuk ET200SP met energy meter" zijn [38] [39] [41] [40] [42].*

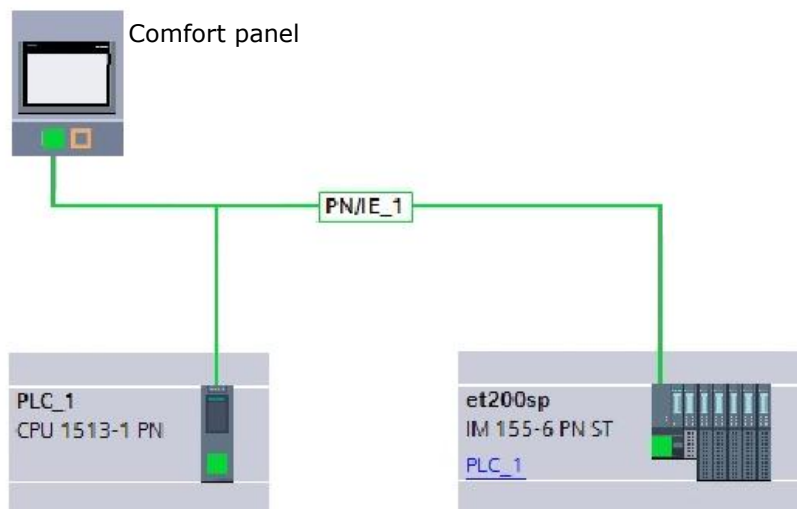
## 5.3 Plaatsing van de ET200SP energy meter

Op Figuur 27 ziet men een demowand van de Siemens IA DT-demozaal.



**Figuur 27 Demowand in Siemens IA DT-demozaal (te Huizingen)**

De ET200SP met energy meter is op deze demowand geïmplementeerd. De hoofdcomponenten zijn een ET200SP interface module met de bijhorende energy meter, een S7 1500 PLC en een *comfort panel*. Deze componenten zijn grafisch weergegeven op Figuur 28.

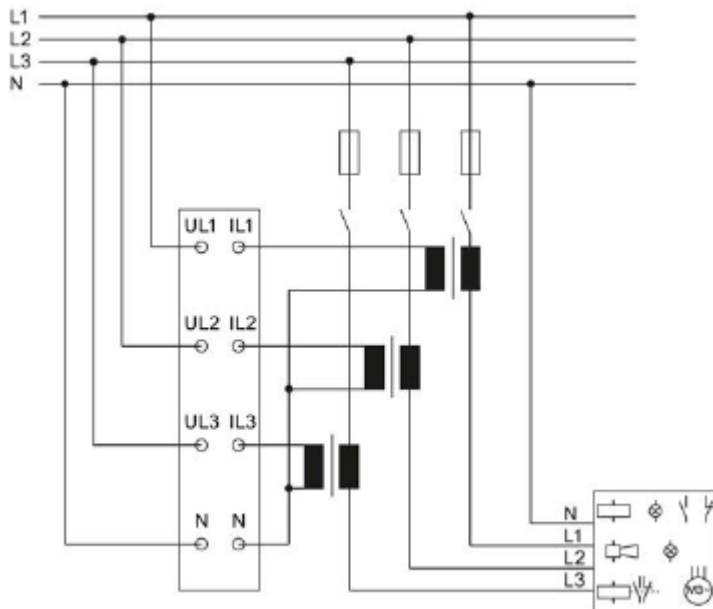


**Figuur 28 Grafische weergave ET200SP, 1500 PLC en panel**

Zoals men op Figuur 28 kan zien, verloopt de communicatie tussen de verschillende componenten via Profinet. Als te meten last is er gekozen voor het meten van de demowand, deze kan men op Figuur 27 zien.

Aangezien de maximale stroom die door de ET200SP energy meter mag vloeien 5A bedraagt, is er gebruik gemaakt van meetstroomtransformatoren (CT) (zie Figuur 29) en dit voor de drie fasen. Deze CT's transformeren grote primaire stromen naar beneden, waarna de secundaire zijde van de CT aan de ET200SP energy meter aangesloten wordt.

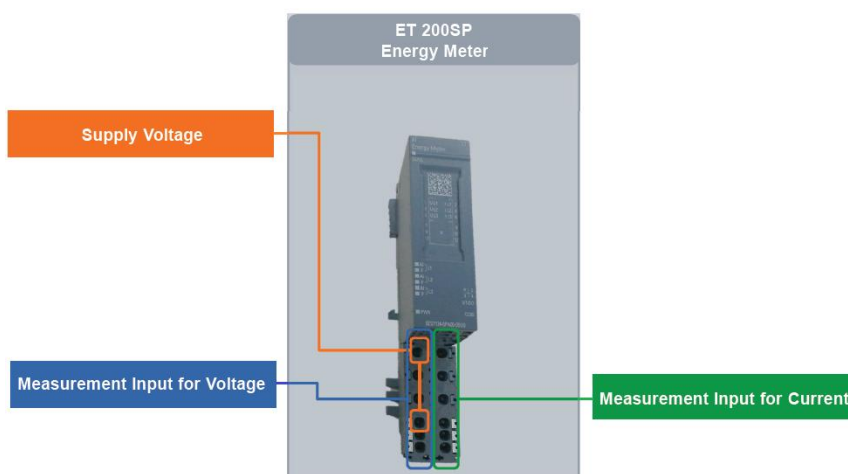
Er is gekozen voor een Siemens CT 50/5A (zie bijlage B "Siemens meetstroomtransformator"). Aangezien de CT's een primaire stroom hebben van 50A, is de primaire lijndraad 10 maal rond de primaire zijde van de CT gewikkeld. Dit heeft als gevolg dat men bij een primaire stroom van 5A een magnetische veld genereert dat overeenkomt met 50A (door de 10 windingen rond de CT). Op deze manier kan men op een eenvoudige manier 50A (nominale belasting) simuleren in de primaire van de CT met een werkelijke kleinere stroom (5A). Dit komt de nauwkeurigheid ten goede.



**Figuur 29** Kablage ET200SP energy meter [43]

De spanning van de gemeten demowand is 230V tussen lijndraad en nulleider en 380V tussen twee lijndraden. Waardoor de spanning rechtstreeks op de ET200SP energy meter kan aangesloten worden (zie Figuur 29), aangezien de maximale spanning 460V bedraagt.

Op onderstaande Figuur 30 en Figuur 31 zijn de pinaansluitingen van de ET200SP energy meter aangegeven.



**Figuur 30** Aansluiting op ET200SP energy meter voor spanningen en stromen

Terminal	Allocation	Terminal	Allocation	Notes
1	U L1	2	I L1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• U<sub>L<sub>n</sub></sub>: Voltage connections</li> <li>• I<sub>L<sub>n</sub></sub>: Current connections</li> </ul>
3	U L2	4	I L2	
5	U L3	6	I L3	
7	N	8	N	
9	N	10	N	
11	N	12	N	

**Figuur 31 Klem aansluitingen op Base Unit van ET200SP energy meter [40]**

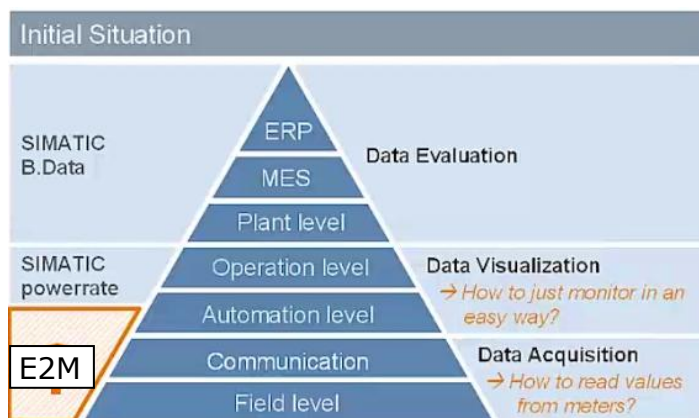
*De geraadpleegde bronnen in hoofdstuk "Plaatsing van de ET200SP energy meter" zijn [40] [43].*

## 5.4 Demoproject voor de ET200SP energy meter

In het vorige subhoofdstuk is de hardwareconfiguratie van de meetopstelling voltooid. Na hardwarematig integreren van de ET200SP energy meter wordt het project voltooid met het softwarematig integreren van een demoproject. Het maken van dergelijk project voor de demoruimte is één van de opdrachten van deze masterproef waardoor de gemeten waarden op een eenvoudige manier kunnen gevisualiseerd worden. Voor het volbrengen van deze opdracht kunnen we beroep doen op het "Application Example" Energy to monitoring (E2M) van Siemens. Aan dit voorbeeldproject is een dag/nacht teller toegevoegd.

### 5.4.1 Energy to monitoring (E2M)

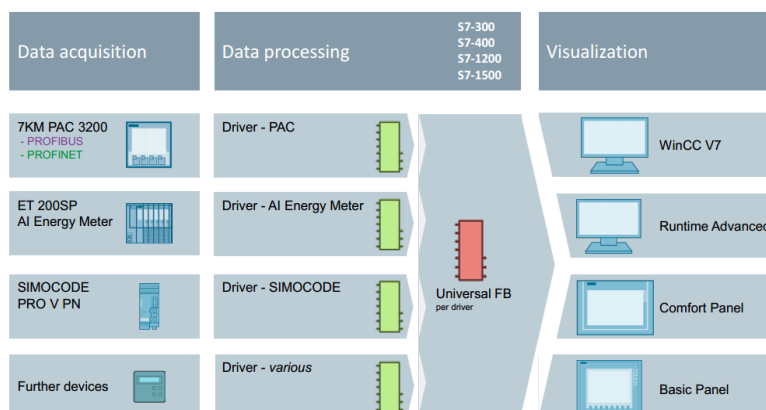
E2M is een "Application Example" ,ook wel "voorbeeldproject" genoemd, waarmee de data uitgelezen, verwerkt en weergegeven wordt.



**Figuur 32 De verschillende dataniveaus [14]**

Zoals te zien is op Figuur 32, kan men het E2M voorbeeldproject in de niveaus "Data Acquisition" en "Data Visualization" plaatsen.

Een groot voordeel van E2M is dat dit voorbeeldproject voor verschillende systemen toegepast kan worden. In Figuur 33 kan een overzicht de verschillende mogelijkheden worden teruggevonden.



**Figuur 33 Overzicht E2M [44]**

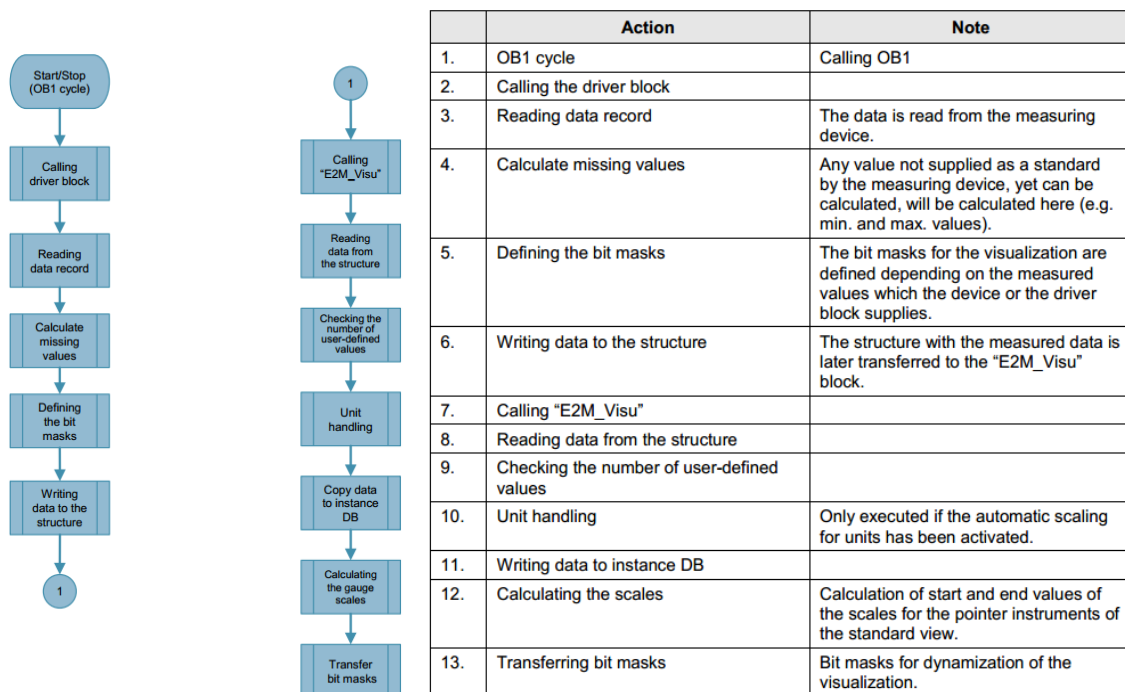
Zoals in Figuur 33 te zien is, kan elk type energiemeter toegepast worden voor het meten van de energie. Voor elk soort energiemeter is een andere driver blok die de data op dezelfde standaard manier naar buiten brengt. Indien men gebruikt wenst te maken van de vooraf gemaakte visualisatie beelden, dan dient 1 van de vier mogelijkheden uit Figuur 33 ("Visualization") te nemen, nl.:

- WinCC V7,
- Runtime advanced,
- Comfort panel,
- Basic panel.

Het E2M-project werkt in drie hoofdstappen:

- het inlezen van de data uit de ET200SP Energy meter,
- het verwerken van de data,
- het weergeven van de data op panels.

Deze drie stappen vormen de basis van energie data monitoring (zie Figuur 34).



**Figuur 34 Basiswerking E2M**

In Figuur 34 kan de basiswerking van E2M teruggevonden worden. Eerst zal de dataset (*datastructure*) uitgelezen worden uit de energiemeter. Vervolgens worden deze data in de *instance db* geplaatst en worden er nog additionele waarden zoals minimum en maximum voltage, stroom, enz berekend.

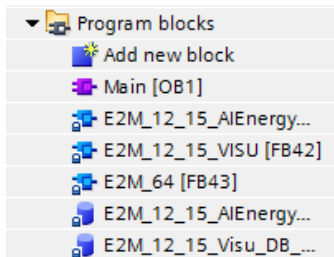
Eens deze fases afgerond zijn, wordt de data weggeschreven in de dataset van de "E2M\_Visu" db. Na het wegschrijven zal de geschikte visualisatiestructuur (afhankelijk van de visualisatiekeuze) worden opgeroepen. De data wordt uit de dataset gehaald en in een *instance db* weggeschreven. Hierna wordt de data in de visualisatie weergegeven.

Meer informatie over de werking van E2M kan gevonden worden op de Siemens support site (<http://support.automation.siemens.com/>) onder de zoekterm "E2M".

## 5.4.2 E2M-project

### 5.4.2.1 *Metten en verwerken van de data*

Het E2M-project bevat meerdere functieblokken die samenwerken voor het inlezen, verwerken en weergeven van de data. Figuur 35 biedt een overzicht van de nodige functieblokken.



**Figuur 35** Functieblokken van een standaard E2M project

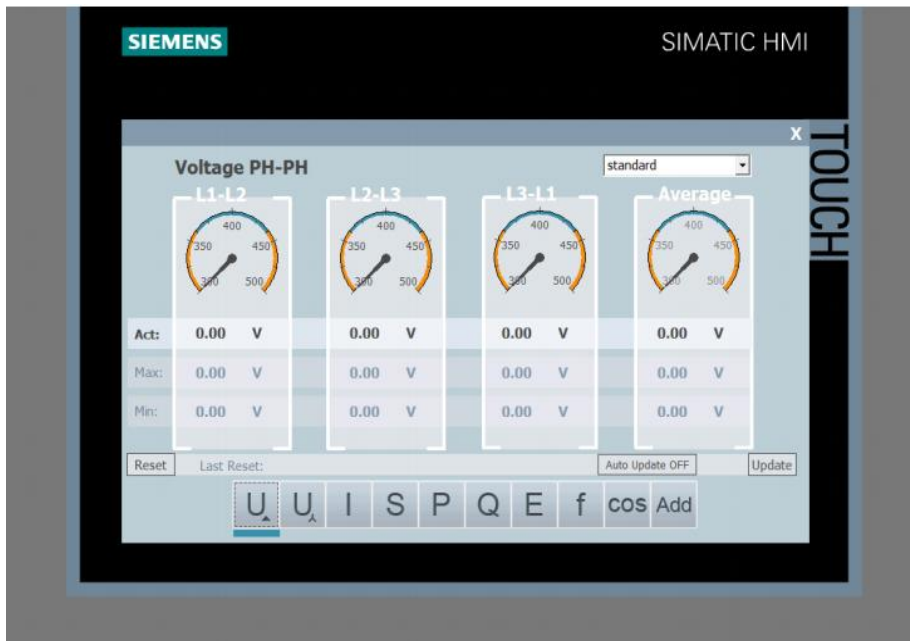
Figuur 35 geeft weer welke functieblokken worden gebruikt , nl.:

- E2M\_12\_15\_AIEnergyMeter
- E2M\_12\_15\_Visu
- E2M\_64

Meer informatie over de werking van E2M kan gevonden worden op de Siemens support site (<http://support.automation.siemens.com/WW/view/en/86299299>).

### 5.4.2.2 Visualiseren van E2M

Het visualiseren van de data gebeurt aan de hand van *templates*. De *template* van de visualisatie vindt men terug in Figuur 36.



**Figuur 36** visualisatie van E2M

De waarden die gevisualiseerd kunnen worden, zijn:

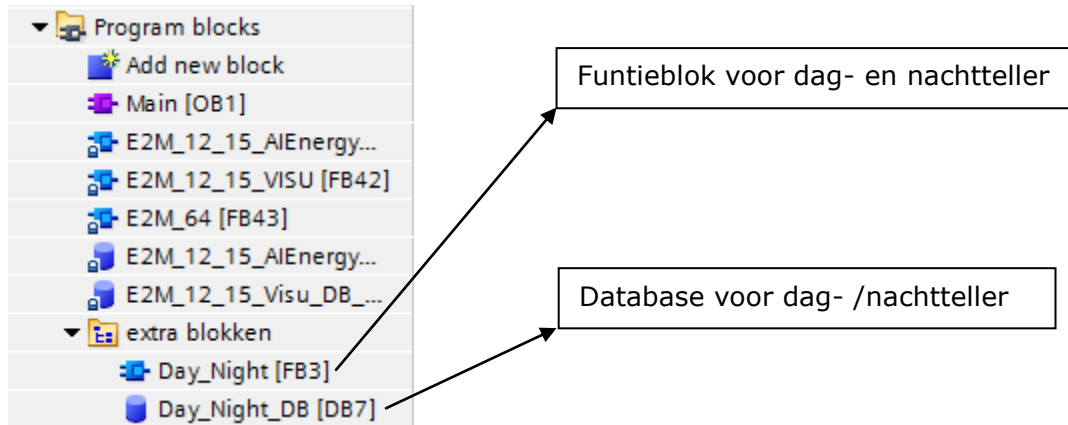
- spanning (lijn),
- spanning (fase),
- stroom,
- actief vermogen,
- schijnbaar vermogen,
- reactief vermogen,
- energie,
- frequentie,
- arbeidsfactor,
- waarden gedefinieerd door de gebruiker.

Meer informatie over de visualisatie van E2M kan gevonden worden op de Siemens support site (<http://support.automation.siemens.com/WW/view/en/86299299>).



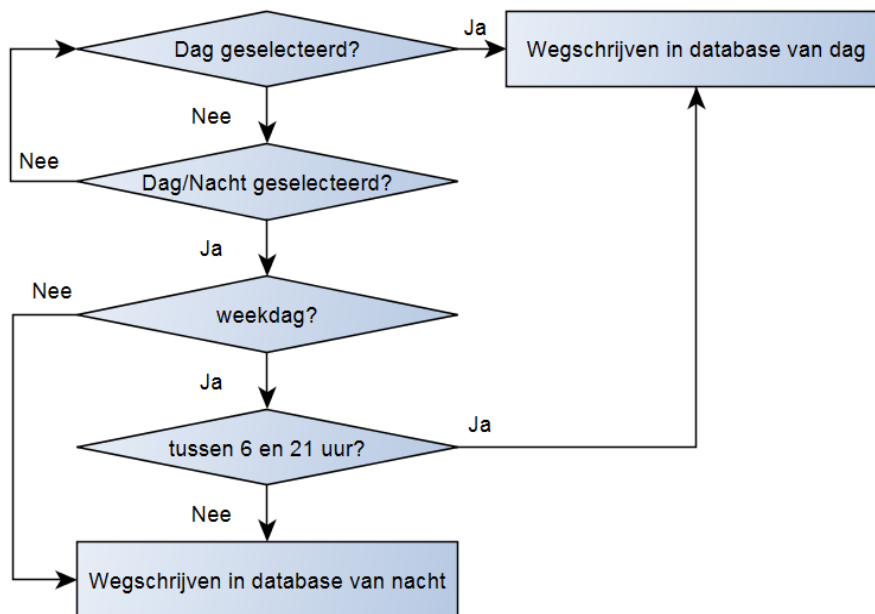
### 5.4.3 Integreeren van dag- en nachtteller in E2M project

Het standaardprogramma bevat alles om de energie te meten, verwerken en visualiseren. Echter is er nog geen dag- en nachtteller in E2M geïntegreerd. Deze zal geïntegreerd worden door het maken van extra functieblokken.



**Figuur 37** Functieblokken van een standaard E2M project met uitbreiding dag- en nachtteller

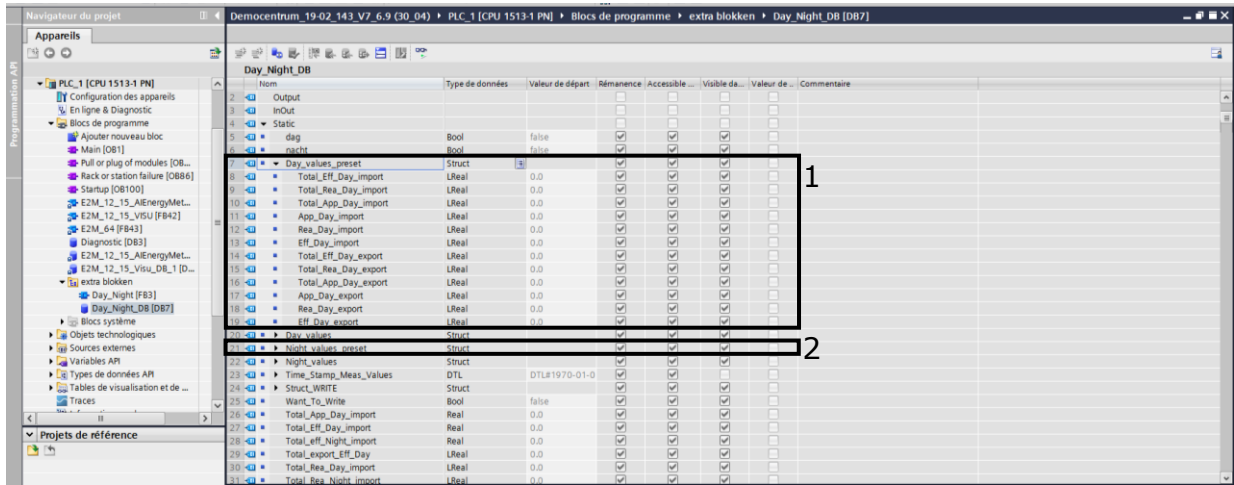
In Figuur 37 kunnen de extra functieblokken en database teruggevonden worden voor het integreren van de dag- en nachtteller. Voor deze functieblokken is er een stappenplan opgesteld (zie Figuur 38)



**Figuur 38** Structuur dag- en nachtteller

Figuur 38 geeft de structuur voor de dag- en nachtteller weer. Eerst wordt er gekeken als er een dagteller (enkelvoudig tarief) of dag- en nachtteller (tweevoudig tarief) ingesteld staat. Deze keuze moet bij het oproepen van de functieblok ingesteld worden. Indien er voor enkelvoudig tarief is gekozen, zullen alle waarden in de database (met dagwaarden) weggeschreven worden. Als er voor tweevoudig tarief is gekozen, dan zal er gekeken worden naar de dag en het uur. Indien het moment van loggen valt op een weekday tussen

6 en 21 uur, dan zullen alle waarden in de database (met dagwaarden) worden weggeschreven. In elk ander geval wordt de database met nachtwaarden gebruikt voor de opslag van de gegevens. Er is voorzien dat de energietellers gepreset kunnen worden.



**Figuur 39 Preset functie**

Voor de dagteller en de dag- en nacht teller kan er een *preset* worden uitgevoerd in de database van de dag- en nachtteller (Zie In Figuur 39). De presetwaarde kan bij de startwaarde ("Valeur de départ") worden ingegeven.

## 5.4.4 Visualisatie van de dag- en nachtteller

De visualisatie van de dag- en nachtteller wordt geïntegreerd in de visualisatie van E2M door het maken van een extra tabblad.

Energy			standard			
	Active		Reactive		Apparent	
TOTAL import	000000.00	000	000000.00	00000	000000.00	0000
TOTAL export	000000.00	000	000000.00	00000		
DAY import	000000.00	000	000000.00	00000	000000.00	0000
DAY export	000000.00	000	000000.00	00000		
NIGHT import	000000.00	000	000000.00	00000	000000.00	0000
NIGHT export	000000.00	000	000000.00	00000		

**Figuur 40 Visualisatie E2M**

In Figuur 40 kan de vormgeving van de dag- en nachtteller teruggevonden worden. Er is gekozen om zowel de totale energiewaarden als de energiewaarden voor dag en nacht weer te geven. Verder is er rekening gehouden met de import en export van energie (actief en reactief).

## 5.4.5 Loggen van de energiewaarden

De data worden gemeten en kunnen in een trendlijn worden weergegeven. Echter worden de data nergens gearchiveerd. Het archiveren van data kan ingesteld worden bij "Archives" (zie Figuur 41).

Archives de variables																																																																								
Item	Lieu d'archivage	Enregistrement	Chemin	Méthode d'archivage	Nombre de segments	Niveau de remplissage	Activer l'archivage au démarrage	Comportement au redémarrage	Commentaire																																																															
Demomante E2M	Fichier - CSV (ASCII)	10000	Storage Card SDI	Archive cyclique	10	90	<input checked="" type="checkbox"/>	Adjoindre à l'archive																																																																
Tag_Archive_CSV	Fichier - CSV (ASCII)	500	Storage Card SDI	Archive cyclique	10	90	<input checked="" type="checkbox"/>	Adjoindre à l'archive																																																																
Tag_Archive_RDB	Fichier RDB	500	Storage Card SDI	Archive cyclique	10	90	<input checked="" type="checkbox"/>	Adjoindre à l'archive																																																																
Tag_Archive_TXT	Fichier TXT (Unicode)	500	Storage Card SDI	Archive cyclique	10	90	<input checked="" type="checkbox"/>	Adjoindre à l'archive																																																																
Tag_Archive_TXT_1	Fichier RDB	500	Storage Card SDI	Archive cyclique	10	90	<input checked="" type="checkbox"/>	Adjoindre à l'archive																																																																
Tanklevels	Fichier - CSV (ASCII)	1000	Storage Card SDI	Archive cyclique	10	90	<input checked="" type="checkbox"/>	Adjoindre à l'archive																																																																
TEST_LHasset_1	Fichier - CSV (ASCII)	10	\\WORKSHOP\test	Déclencher l'événement	10	90	<input checked="" type="checkbox"/>	Adjoindre à l'archive																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">Variables d'archive</th> </tr> <tr> <th>Item</th> <th>Variable de proces</th> <th>Mode d'acquisition</th> <th>Cycle d'archivage</th> <th>Limite supérieure</th> <th>Limite inférieure</th> <th>Plage des limites d'archivage</th> <th>Commentaire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>011_0_value_dyn_1</td> <td>"011_0_value_dyn_1"</td> <td>Cyclique</td> <td>1 s</td> <td></td> <td></td> <td>A l'intérieur de la zone morte</td> <td></td> </tr> <tr> <td>011_0_value_dyn_2</td> <td>"011_0_value_dyn_2"</td> <td>Cyclique</td> <td>1 s</td> <td></td> <td></td> <td>A l'intérieur de la zone morte</td> <td></td> </tr> <tr> <td>011_0_value_dyn_3</td> <td>"011_0_value_dyn_3"</td> <td>Cyclique</td> <td>1 s</td> <td></td> <td></td> <td>A l'intérieur de la zone morte</td> <td></td> </tr> <tr> <td>011_0_value_dyn_4</td> <td>"011_0_value_dyn_4"</td> <td>Cyclique</td> <td>1 s</td> <td></td> <td></td> <td>A l'intérieur de la zone morte</td> <td></td> </tr> <tr> <td>011_0_value_dyn_5</td> <td>"011_0_value_dyn_5"</td> <td>Cyclique</td> <td>1 s</td> <td></td> <td></td> <td>A l'intérieur de la zone morte</td> <td></td> </tr> <tr> <td>012_2_Archive_dyn_1</td> <td>"012_2_Archive_dyn_1"</td> <td>Cyclique</td> <td>1 s</td> <td></td> <td></td> <td>A l'intérieur de la zone morte</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Variables d'archive							Item	Variable de proces	Mode d'acquisition	Cycle d'archivage	Limite supérieure	Limite inférieure	Plage des limites d'archivage	Commentaire	011_0_value_dyn_1	"011_0_value_dyn_1"	Cyclique	1 s			A l'intérieur de la zone morte		011_0_value_dyn_2	"011_0_value_dyn_2"	Cyclique	1 s			A l'intérieur de la zone morte		011_0_value_dyn_3	"011_0_value_dyn_3"	Cyclique	1 s			A l'intérieur de la zone morte		011_0_value_dyn_4	"011_0_value_dyn_4"	Cyclique	1 s			A l'intérieur de la zone morte		011_0_value_dyn_5	"011_0_value_dyn_5"	Cyclique	1 s			A l'intérieur de la zone morte		012_2_Archive_dyn_1	"012_2_Archive_dyn_1"	Cyclique	1 s			A l'intérieur de la zone morte	
Variables d'archive																																																																								
Item	Variable de proces	Mode d'acquisition	Cycle d'archivage	Limite supérieure	Limite inférieure	Plage des limites d'archivage	Commentaire																																																																	
011_0_value_dyn_1	"011_0_value_dyn_1"	Cyclique	1 s			A l'intérieur de la zone morte																																																																		
011_0_value_dyn_2	"011_0_value_dyn_2"	Cyclique	1 s			A l'intérieur de la zone morte																																																																		
011_0_value_dyn_3	"011_0_value_dyn_3"	Cyclique	1 s			A l'intérieur de la zone morte																																																																		
011_0_value_dyn_4	"011_0_value_dyn_4"	Cyclique	1 s			A l'intérieur de la zone morte																																																																		
011_0_value_dyn_5	"011_0_value_dyn_5"	Cyclique	1 s			A l'intérieur de la zone morte																																																																		
012_2_Archive_dyn_1	"012_2_Archive_dyn_1"	Cyclique	1 s			A l'intérieur de la zone morte																																																																		

**Figuur 41 Achiveren van data**

In Figuur 41 kan men het tabblad voor het archiveren van de data terugvinden. Eerst dienen de parameters voor de *file* ingesteld te worden ("Archives de variables"). Deze zijn:

- naam van de file,
- bestandstype,
- aantal logs,
- bestandslocatie (USB, gedeelde map, ...),
- methode van archiveren.

Tot slot dient de parameter ingesteld te worden. Deze bevat:

- de parameternaam,
- het parameteradres,
- de methode van loggen,
- de loggingsfrequentie.

## 5.5 Aandachtspunten ET200SP energy meter

Zoals de titel al aangeeft, zijn er enkele aandachtspunten waar men rekening mee moet houden indien men gebruik maakt van een ET200SP energy meter.

### ➤ Positie energy meter in rack:

De energy meter mag men niet op de eerste plaats in de *rack* van de ET200SP plaatsen, aangezien hier een "Light Base Unit" (zie Tabel 6 ET200SP modules ) is vereist. De energy meter moet op de voorziene 'base unit' worden gemonteerd (zie Tabel 7). Indien de ET200SP enkel energiemeters bevat kan je op de eerste plaats een dummy module voorzien met witte 'base unit'.

**Tabel 7 Base Units energy meter [43]**

Order Number	Product
<a href="#">6ES7193-6BP00-0BD0</a>	BaseUnit Type D0, BU20-P12+A0+0B

### ➤ Maximaal aantal energy meters per Interface module:

Er zit een beperking op het aantal energy meters per interfacemodule, zoals men in Tabel 8 kan zien.

**Tabel 8 Maximaal aantal energy meters per interfacemodule**

<u>Interface module (IM)</u>	Protocol	Max AI energy meters ST / IM	Order number
ET200SP IM 155-6 DP HF	DP	7	<a href="#">6ES7155-6BA00-0CN0</a>
ET200SP IM 155-6 PN ST	PN	8	<a href="#">6ES7155-6AU00-0BN0</a> <a href="#">6ES7155-6AA00-0BN0</a>
ET200SP IM 155-6 PN HF	PN	42	<a href="#">6ES7155-6AU00-0CN0</a>

### ➤ Toepassen van meetstroomtransformatoren:

Meetstroomtransformatoren (CT) worden in meetopstellingen toegepast wanneer het te meten stroombereik groter is dan het meetbereik van de te gebruiken meetapparatuur (energy meter).

De stroomtransformatoren (CT) zullen de grote primaire stroom naar een kleinere secundaire stroom transformeren. Kortweg, een CT transformeert eerst de stroom omlaag alvorens er gemeten wordt. De maximale stroom die continu door de energy meter mag vloeien, bedraagt 5A.

➤ **Maximale afstand tussen energie meter en CT:**

De afstand tussen de stroomtransformator en het meettoestel (energy meter) dat aangesloten is op de secundaire kring van de CT, heeft een beperkte lengte omdat de secundaire zijde van een CT maar een beperkte last mag aangesloten worden. Wanneer er een grote afstand tussen CT en meettoestel is, moet de verbindingdraad ook langer zijn. Dit heeft als gevolg dat de interne weerstand van de kabel vergroot, dus ook de secundaire belasting van de CT.

Zie hoofdstuk "Lastberekeningsapplicatie voor (1-fasig) stroomtransformatoren (CT)" voor het berekenen van de maximale secundaire kabellengte.

➤ **Geen gelijkspanningen en -stromen meten:**

Het is echter enkel mogelijk om een wisselsignaal te meten, dus gelijkspanningen en -stromen kunnen via de energy meter niet worden gemeten.

➤ **Toegestane draaddoorsneden:**

Onderstaande tabel heeft de draaddoorsneden weer die aangesloten kunnen worden op de klemmen van de energiemeter.

**Tabel 9 Toegestane draaddoorsneden [40] [45, p. 43]**

Bedrading regels voor ...		Interface module (supply voltage)	BaseUnits (Push-In klemmen)
Toegestane kabeldiameters voor vaste kabels		0.2 tot 2.5 mm <sup>2</sup>	
Toegestane kabeldiameters voor flexibele kabels	Zonder ader huls	0.2 tot 2.5 mm <sup>2</sup>	
	Met ader huls (met plastic omhulsel)	0.25 mm tot 1.5 mm <sup>2</sup>	0.14 mm tot 1.5 mm <sup>2</sup>
	Met dubbele ader huls	0.5 mm tot 1 mm <sup>2</sup>	0.5 tot 0.75 mm <sup>2</sup>
Ontstrijplingslengte van de draad		8 tot 10 mm	

➤ **Energy meter module verwijderen onder spanning:**

Wanneer men de ET200SP energy meter uit het *rack* van de interfacemodule (ET200SP) verwijdert op het moment dat gekoppelde te meten verbruiker nog onder spanning staat, bestaat de kans dat deze energy meter defect geraakt.

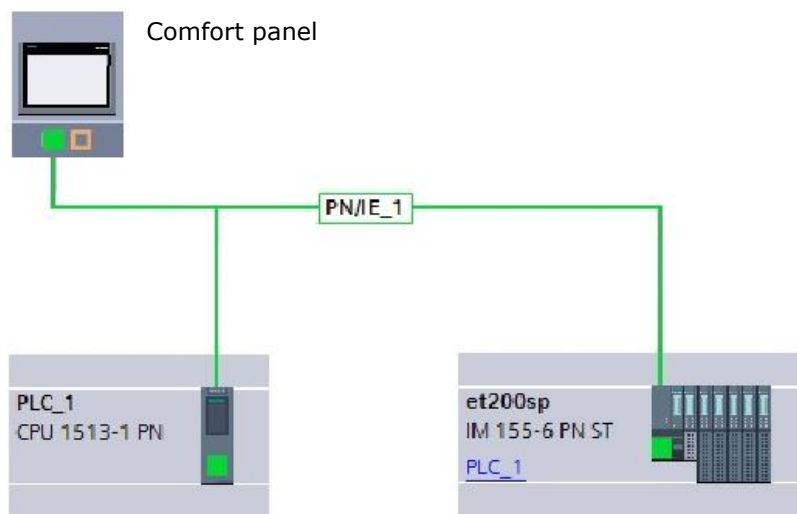
Men moet ervoor zorgen dat er geen stroom door de energy meter vloeit, op het moment dat men de ET200SP energy meter uit het *rack* verwijdert. Bij het verwijderen van de ET200SP energy meter uit het *rack* zal de secundaire van de meetstroomtransformator onderbroken worden.

*De geraadpleegde bronnen in hoofdstuk "5.5 Aandachtspunten ET200SP energy meter" zijn [40] [43] [45].*

## 5.6 Besluit

Na het theoretisch bespreken van de verschillende energiemetapparatuur en dataverwerkingssoftwarepakketten, is vervolgens in het praktische deel van de opdracht een energiemeter in de Siemens IA DT-demoruimte te Huizingen (België) geïntegreerd. Voor het integreren van een energiemeter in de demoruimte is er gekozen voor een ET200SP energy meter.

De gebruikte hoofdcomponenten zijn een ET200SP interface module met de bijhorende energy meter, een 1500 PLC en een *comfort panel*. Deze componenten zijn grafisch op Figuur 42 weergegeven.



**Figuur 42 Grafische weergave ET200SP, 1500 PLC en panel**

De communicatie tussen de verschillende componenten verloopt via Profinet. Als te meten last is er gekozen voor het meten van de demowand, deze kan men op Figuur 27 zien.

Het project voor de ET200SP energy meter is afgerond en geïntegreerd in de 1500 PLC in de Siemens demoruimte. Dit project omvat de basis voor de programmatie en visualisatie voor het verwerken en weergeven van de energie (E2M) en de uitbreiding voor de dag- en nacht teller.

In hoofdstuk "Aandachtspunten ET200SP energy meter" worden enkele aandachtspunten omtrent de implementatie van een ET200SP energy meter verduidelijkt.

Deze aandachtspunten zijn:

- positie energy meter in *rack*,
- maximaal aantal energy meters per Interface module,
- toepassen van meetstroomtransformatoren,
- maximale afstand tussen energie meter en CT,
- geen gelijkspanningen en –stromen meten,
- toegestane draaddoorsneden,
- energy meter module verwijderen onder spanning
- dataverlies van energy meter.

*De geraadpleegde bronnen in Hoofdstuk 5 "Integratie van ET200SP energy meter" zijn [38] [39] [41] [40] [42]. [43] [45].*





# **Hoofdstuk 6 Nauwkeurigheidsonderzoek op meetstroomtransformator**

## **6.1 Situering**

Tot slot moet de nauwkeurigheid van een meetstroomtransformator (CT) worden onderzocht. Het doel van dit onderzoek is het nagaan of er een nauwkeurigheidsdegradatie optreedt wanneer de secundaire kring van de CT overbelast wordt. En vervolgens nagaan of er een nauwkeurigheidsdegradatie optreedt nadat deze CT secundair overbelast is geweest.

Om het nauwkeurigheidsonderzoek op meetstroomtransformator (CT) binnen de thesis te kaderen, moet er even geschetst worden waar de CT's precies worden toegepast.

Meetstroomtransformatoren (CT) worden in meetopstellingen toegepast, dit wanneer het te meten stroombereik groter is dan het meetbereik van de te gebruiken meetapparatuur. De stroomtransformatoren zal de grote primaire stroom naar een kleinere secundaire stroom transformeren. Kortweg, een CT transformeert eerst de stroom omlaag voordat er gemeten wordt.

De link kan nu worden gelegd met hoofdstuk "Energie data identificatie". Indien er energie gemeten wordt op plaatsen waar de stroom groter is dan het meetbereik van de energiemeter, zal er een CT toegepast moeten worden. Voor een correcte energiemeting mag de nauwkeurigheidsafwijking van de CT niet van de nauwkeurigheidsclassificering afwijken.

Bij aankoop van een CT ligt de nauwkeurigheidsafwijking van de CT binnen opgestelde nauwkeurigheidsclassificering. Het is echter de vraag of de nauwkeurigheid van de CT nog steeds binnen de vooropgestelde nauwkeurigheidsclassificering tijdens en na een secundair overbelasting ligt. Een mogelijke oorzaak van een secundaire overbelasting is wanneer de afstand tussen de CT en het secundaire aangesloten meetapparatuur te groot is.

In Bijlage D "Elektromagnetisme en transformatoren" wordt er naar de basis teruggegrepen. Deze basis omvat de theorie van magnetisme en de werking van een transformator. Het is belangrijk om te beschikken over de kennis van de hierboven opgesomde onderwerpen vooraleer er besluiten getrokken kunnen worden omtrent eventuele nauwkeurigheidsdegradaties.

In Bijlage D wordt er gestart met het hoofdstuk "Basis van elektromagnetisme" waar de basis van magnetisme wordt verduidelijkt. Daarna wordt in hoofdstuk "Energieomzetting in transformatoren" de werking van een transformator toegelicht.

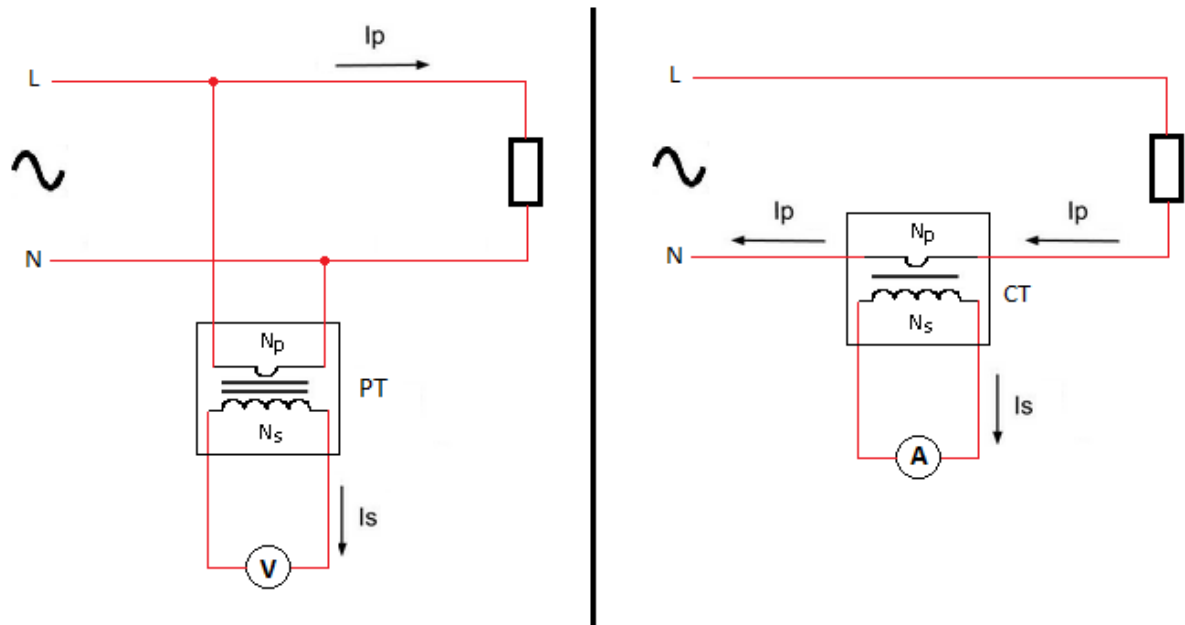
Vooraleer de meetopstelling en meetresultaten van het nauwkeurigheidsonderzoek op meetstroomtransformator worden besproken, wordt er gestart in hoofdstuk "Meettransformatoren" met de principewerking van een meetstroomtransformator uit te leggen.

Hierna wordt er overgegaan tot het uiteindelijke onderzoek. Dit onderzoek wordt besproken in het hoofdstuk "Nauwkeurigheidsonderzoek naar CT tijdens en na overbelasting van secundaire kring". Tot slot wordt er in hoofdstuk "Lastberekenningsapplicatie voor (1-fasig) stroomtransformatoren (CT)" de werking van de lastberekenningsapplicatie verduidelijkt. Met deze lastberekenningsapplicatie kan de maximale secundaire last of de maximale verbindingsdraadlengte van een stroomtransformator (CT) eenvoudig worden berekend.

## 6.2 Meettransformatoren

Meettransformatoren zijn transformatoren die speciaal gefabriceerd zijn om hoge spanningen of stromen te transformeren met een hoge nauwkeurigheid.

Er zijn twee hoofdgroepen van meettransformatoren. Deze hoofdgroepen zijn de spannings- (PT) en stroommeettransformatoren (CT) (zie Figuur 43).



**Figuur 43 Links: Meetspanningstransformator, rechts: stroommeettransformator**

Bij het meten van elektrisch stromen zijn er buiten de meetstroomtransformatoren ook nog andere methodes om deze stroom te meten. Deze methodes zijn onder andere een meetweerstand of "hall effect sensor". Deze methode wordt niet verder uitgediept. In deze thesis beperkt men zich enkel tot de meetstroomtransformatoren

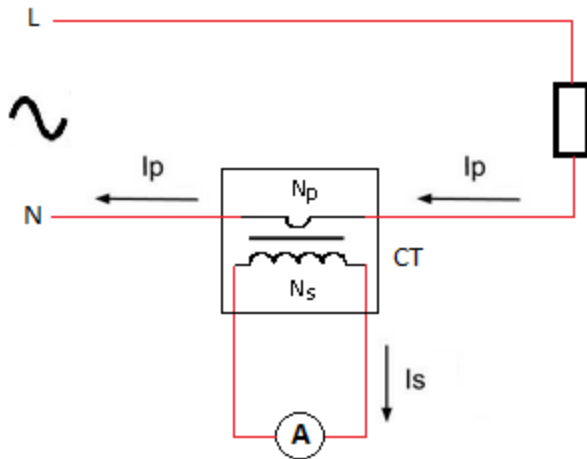
### 6.2.1 Meetstroomtransformator

Tot hier toe is de algemene werking van een transformator besproken. Er is echter nog niet gesproken over de werking van een meetstroomtransformator (CT).

Zoals reeds is aangehaald worden meetstroomtransformator (CT) in meetopstellingen toegepast, wanneer het te meten stroombereik groter is dan het meetbereik van de te gebruiken meetapparatuur. De stroomtransformatoren (CT) zullen de grote primaire stroom naar een kleinere secundaire stroom transformeren. Kortweg, men transformeert eerst de stroom omlaag voordat men gaat meten.

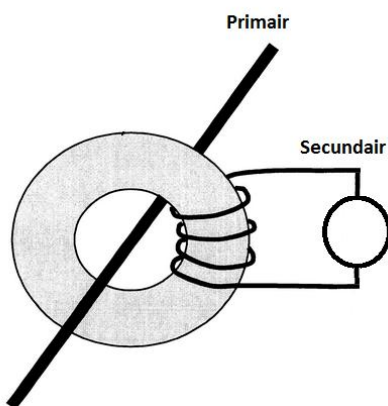
### 6.2.1.1 Werkingsprincipe meetstroomtransformator

Een CT bestaat ook uit een primaire en secundaire wikkeling, waar deze wikkelingen op een gemeenschappelijke kern zijn gewikkeld. Op Figuur 44 ziet men een schematische weergave van een installatie waar een CT is toegepast.



**Figuur 44 Schematische weergave van een installatie met CT**

De primaire kring van de CT is rechtstreeks op de kring aangesloten waar de (wissel) stroom dient gemeten te worden. De primaire kring van de CT is in serie met de te meten kring geschakeld. Dus door de primaire wikkeling ( $N_p$ ) stroomt de te meten stroom. In veel gevallen bestaat de primaire wikkeling uit één geleider ( $N_p=1$ ). Deze primaire wikkeling loopt door de kern van de CT (zie Figuur 45). Men kan de primaire geleider of wikkeling ook meerdere malen rond de kern van de CT wikkelen indien men een grote stroom wil simuleren.



**Figuur 45 Simplistische voorstelling CT [46]**

De secundaire wikkeling ( $N_s$ ) bestaat uit een groot aantal windingen rond de kern. Door de secundaire windingen stroomt de getransformeerde primaire stroom, deze secundaire stroom vloeit ook door de secundair aangesloten meetapparatuur. Indien men de secundaire zijde van de CT correct heeft aangesloten, zal de totale belasting of "impedantie" klein zijn. Men kan stellen dat de secundaire zijde nagenoeg kortgesloten is.

Het doel van een CT is de stroom naar beneden te transformeren. De transformatieverhouding wordt bepaald door de wikkilverhouding  $N_p/N_s$ . Indien de primaire stroom ( $I_p$ ) en de wikkilverhouding gekend zijn, kan de secundaire stroom worden berekend:

$$N_s * I_s = N_p * I_p \quad \text{of} \quad \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

(Onder subhoofdstuk "Amplitude fout" wordt de transformatieverhoudingsfactor verder verduidelijkt.)

Zoals reeds is aangegeven, zal de secundaire kring nagenoeg kortgesloten zijn. Hoe kleiner de secundaire belasting, hoe nauwkeuriger de omzetting van de primaire naar secundaire stroom kan gebeuren. Dus indien de secundaire belasting klein wordt gehouden, zal de secundaire spanning ook beperkt blijven:

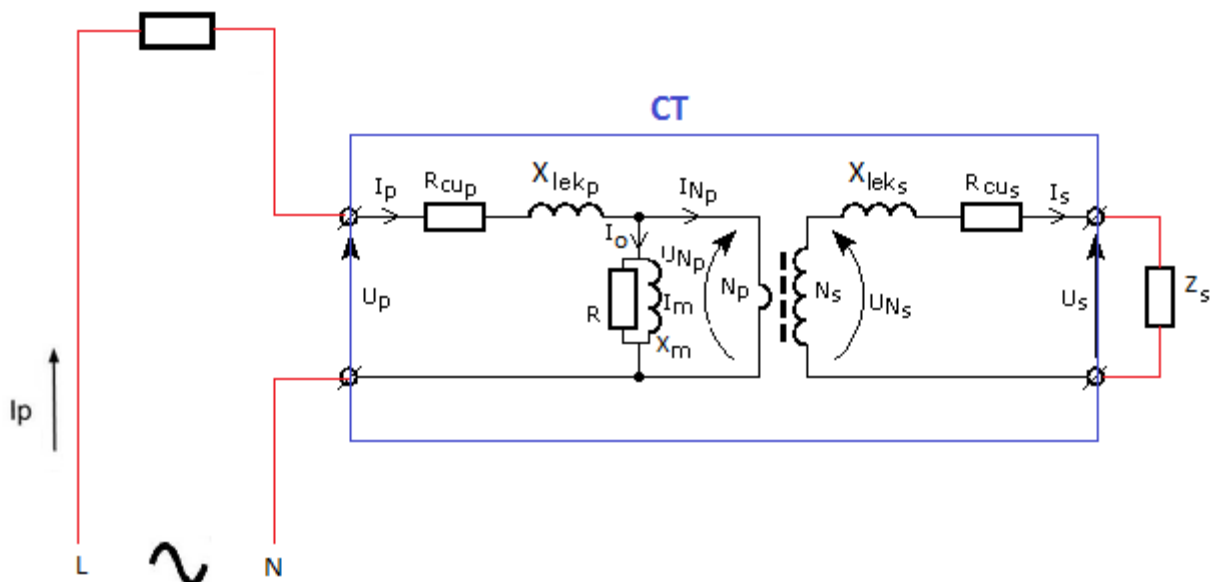
$$U_s = R_s * I_s$$

Als men naar de primaire en secundaire spanning kijkt, ziet men dat de spanning over de secundaire winding groter is t.o.v. de spanning over de primaire winding:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{U_p}{U_s}$$

Aangezien de primaire zijde van de CT in serie staat met de belasting in de primaire kring, dient de spanningsval over de primaire wikkeling zo klein mogelijk te zijn. De secundaire spanning zo klein mogelijk houden is mogelijk door een zo klein mogelijke secundaire belasting en een grote wikkelvingsverhouding (dus secundair veel windingen t.o.v. primair).

Als men op de CT inzoomt, ziet men het vereenvoudigd schema van een (niet ideale) CT (deze is gelijkaardig aan dat van een (niet ideale) spanningstransformator) zoals men in Figuur 46 kan zien.



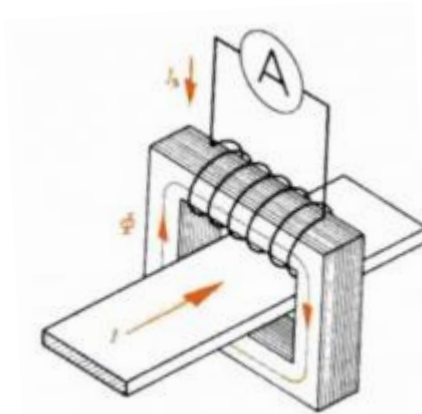
**Figuur 46 Vereenvoudigd schema van een stroomtransformator [47]**

Alles binnen de blauwe kader op Figuur 46 heeft betrekking op de CT.  $N_p$  en  $N_s$  geven de ideale transformator weer.  $X_m$  geeft de magnetische inductie weer, deze stroom zorgt voor de magnetisatie van de kern. Parallel met deze  $X_m$ , ziet men  $R$  die ijzerverliezen

vertegenwoordigd.  $R_{cu_p}$  en  $R_{cu_s}$  vertegenwoordigen de koperverliezen en  $X_{lek_p}$  en  $X_{lek_s}$  vertegenwoordigen de lekfluxen.

De gehele secundaire last is voorgesteld met  $R_s$ . Ideaal zou zijn wanneer de secundaire kring van de CT perfect kortgesloten is, dus een zo klein mogelijke secundaire last. Deze perfecte kortsluiting is in de praktijk echter niet het geval aangezien de verschillende secundair aangesloten componenten voor een weerstandsverhoging zorgen. Deze componenten zijn de kabels die van en naar het meetapparaat gaan, het meetapparaat zelf en eventueel slechte connecties die voor een weerstandsverhoging kunnen zorgen. In het geval dat de afstand tussen de CT en het meettoestel groot is, zullen de verbindingkabels langer worden. Hierdoor neemt de totale secundaire last toe. Dit heeft een negatieve invloed op de gehele werking van de CT (zie hoofdstuk "Nauwkeurigheidsonderzoek naar CT tijdens en na overbelasting van secundaire kring")

Aan de hand van simplistische voorstelling van een CT zoals men kan zien op Figuur 47 kan de werking van de CT worden verklaard.



**Figuur 47 Simplistische voorstelling CT [48]**

De primaire stroom door de kern zorgt voor een flux in de kern. Deze flux zorgt voor een inductiespanning over de primaire- en secundaire winding. Door de secundaire inductiespanning zal er een stroom secundair door de gesloten secundaire kring vloeien.

De secundaire stroom zal klein zijn t.o.v. de primaire stroom:  $I_s = I_p * \frac{N_p}{N_s}$

Door de vele secundair windingen is er maar een kleine secundaire stroom nodig om een grote tegenwerkende flux (secundair) op te wekken.

De secundaire spanning zal groot zijn t.o.v. de primaire spanning:  $U_s = U_p * \frac{N_s}{N_p}$

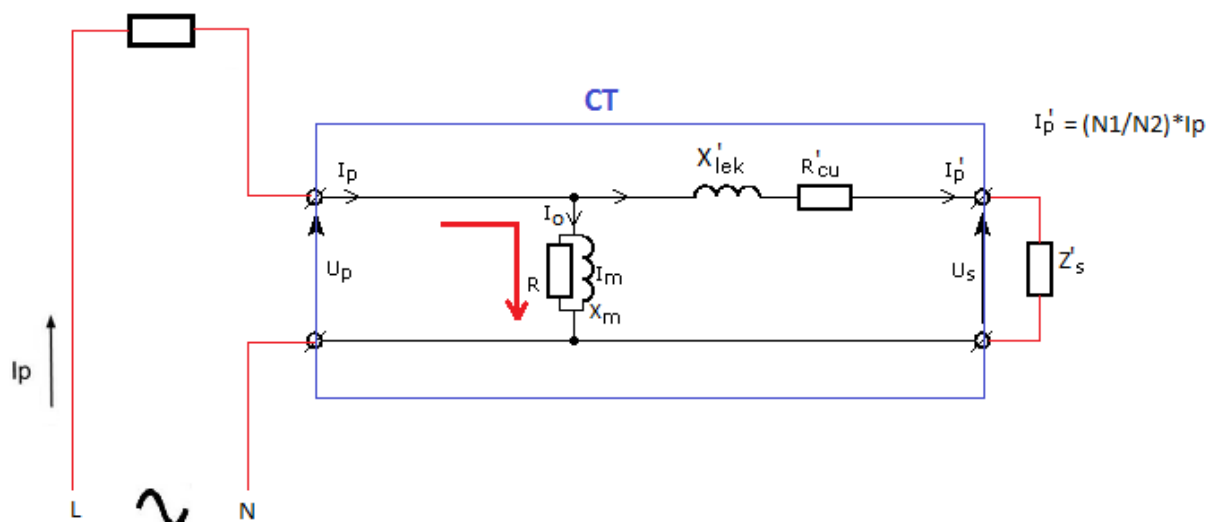
### 6.2.1.2 Verhoging secundaire belasting

Indien er geen perfecte kortsluiting secundair heerst (een secundaire last), zal de spanning over deze belasting toenemen ( $U=R \cdot I$ ), waardoor de spanning over de secundaire windingen ook zal toenemen.

De spanning over de secundaire winding mag niet hoger worden dan een bepaalde voltage, deze maximale secundaire spanning wordt bepaald door:  $U_{CT-sec} = \frac{S_{CT}}{I_s}$ . Indien de spanning over de secundaire winding groter wordt dan de toegelaten waarden heeft dit negatieve gevolgen voor de goede werking van een CT.

Door een te grote secundaire spanning zal de CT de lineaire koppeling tussen de spanning ( $U$ ) en fluxdichtheid ( $B$ ) verliezen (zie hysterslus) waardoor het magnetisch materiaal zijn permeabiliteit ( $\mu$ ) degradeert. Het wegvallen van de magnetische permeabiliteit heeft als gevolg dat de fluxlijnen, opgewekt door de secundaire winding, niet meer allemaal rondom het kernmateriaal gaan sluiten. Hierdoor ontstaan er veel lekfluxen. Kortweg, niet alle fluxlijnen die door de secundaire spoel zijn opgewekt, sluiten zich rond het kernmateriaal.

Doordat niet alle secundaire fluxlijnen door het kernmateriaal vloeien, zal er een kleinere tegenwerkende flux in de secundaire winding worden opgewekt. Hierdoor wordt de primaire flux minder tegengewerkt door de secundaire flux. Dit heeft als gevolg dat de (primaire) magnetisatiestroom (en de ijzerverliezen) zullen toenemen, omdat de secundaire flux de primaire flux niet meer kan tegenwerken (zie dikke rode pijl op Figuur 48, de stroom  $I_0$ ). Het degraderen van de permeabiliteit van het kernmateriaal heeft niet enkel gevolgen voor een groter aantal lekfluxen opgewekt door de secundaire spoel, maar ook een groter aantal lekfluxen die door de primaire spoel worden opgewekt.



**Figuur 48 Vereenvoudigd schema van een stroomtransformator met grote secundaire last [47]**

Het fenomeen dat de magnetisatiestroom (en de ijzerverliezen) zal toenemen, heeft te maken met het feit dat bij CT's de primaire stroom niet wordt bijgeregeld (indien de secundaire belasting van grote zou wijzigen, zoals bij een spanningstransformator). Bij een CT is de primaire stroom afhankelijk van de primaire last en onafhankelijk van de secundaire last. Dus als de secundaire kring niet in staat is om een tegenwerkende flux te

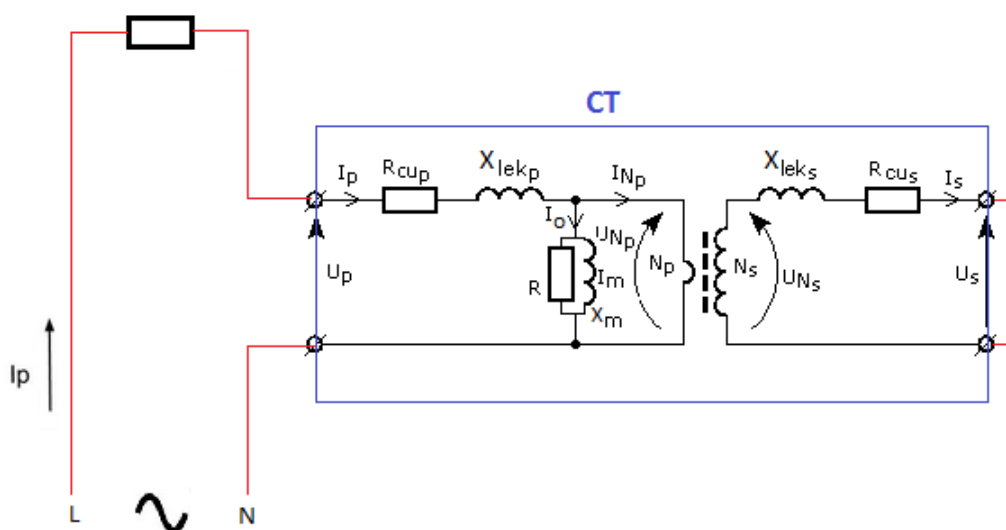
genereren die groot genoeg is om de primaire flux tegen te werken, zal er een grotere resulterende flux ( $\phi_{\text{prim}} - \phi_{\text{sec}}$ , ook wel nullastflux bij spanningstransformatoren) in de kern vloeien. De primaire stroom die nodig is om deze resulterende flux (of nullastflux) te genereren, noemt men de "magnetisatiestroom". Doordat er een grotere flux in de kern vloeit, zullen de ijzerverliezen ook groter zijn.

Een gevolg van de hogere flux in het kernmateriaal is dat er een grotere primaire- en secundaire inductiespanning wordt opgewekt over de primaire- en secundaire windingen.

$$E_p = 4.44 * N_p * \phi_{0m}$$

$$E_s = 4.44 * N_s * \phi_{0m}$$

Kortom, indien de secundaire belasting (en vervolgens secundaire spanning) stijgt, heeft dit invloed op heel de werking van de CT.



**Figuur 49** Benaderend, vereenvoudigd stroomtransformatorschema met open secundaire kring [47]

Indien men de secundaire kring bij een CT zou openen wanneer er primair stroom vloeit, zoals men kan zien op Figuur 49, zal de secundaire wikkeling geen tegenwerkende flux kunnen opbouwen. Een deel van de stroom die door de primaire winding vloeit, wordt gebruikt om de kern te magnetiseren, en een groot deel wordt lekflux. Dus kortweg, de volledige primaire stroom wordt als magnetisatiestroom gebruikt ( $I_0$ , dikke rode pijl op Figuur 49) en lekfluxen.

Doordat er geen secundaire tegenwerkende flux wordt gegenereerd door de secundaire windingen, heerst er een grote flux, die opgewekt is door de primaire windingen. Een deel van de grote primaire flux wordt lekflux en andere deel van de primaire flux zal een grote inductiespanning over de primaire- en secundaire wikkelingen genereren.

Door de grote lekfluxen die bij een te grote secundaire last of open secundaire kring ontstaan, is de koppeling tussen de primaire en secundaire kring helemaal weg waardoor het equivalent schema van op Figuur 49 niet meer correct is. Het gedeelte van de ideale transformator ( $N_p$  en  $N_s$ ) op Figuur 49 geldt niet meer. Dus het equivalent schema van een CT op Figuur 49 is bij een open secundaire kring slechts een benadering, en niet meer correct.



Indien er een te grote flux in de kern van de CT heerst, zal het kernmateriaal in verzadiging treden. De secundaire inductiespanning en inductiestroom zullen niet meer lineair toenemen. Dit fenomeen kan men waarnemen op de magnetisatiecurve of hysteresislus.

Indien de secundaire belasting groter wordt dan toegelaten, of in het ergste geval een open secundaire kring (wanneer een primaire stroom door de CT vloeit), kunnen volgende nadelige gevolgen veroorzaakt worden:

- Ten eerste wordt door ijzerverliezen het kernmateriaal opgewarmd, met gevaar voor verbranding van de isolatie als gevolg.
- Ten tweede ontstaan er hoge inductiespanning in de secundaire kring, met gevaar voor doorslag van de isolatie en elektrocutie als gevolg.
- Ten derde kan door verzadiging van het kernmateriaal een remanent magnetisme in de kern ontstaan, met als gevolg dat er fouten in de metingen kunnen ontstaan.

Men kan besluiten dat een CT secundair een zo klein mogelijke belasting moet zijn, idealiter een perfecte kortsluiting. Hierdoor zal de magnetisatiestroom-, de inductiespanning primair en secundair- en de ijzerverliezen minimaal zijn waardoor er een perfecte koppeling tussen de primaire en secundaire stroom heerst.

### 6.2.1.3 Fouten

Het groter worden van de magnetisatiestroom heeft twee belangrijke consequenties:

- Ten eerste wordt de secundaire stroom kleiner in vergelijking met de primaire stroom, ook de "amplitude fout" of "ratio error" genoemd.
- Ten tweede wordt de faseverschuiving tussen de primaire en secundaire stroom groter, ook de "hoekfout" of "phase angle error" genoemd.

Deze faseverschuivingsfout is vooral belangrijk indien men aan de secundaire zijde van de CT vermogenmetingen en/of faseverschuivingsmetingen (zoals  $\cos \phi$ ) uitvoert. Indien men puur een stroommeting uitvoert, heeft de faseverschuivingsfout een mindergrote invloed op de meetresultaten.

Indien de magnetisatiestroom te groot wordt (dus flux of fluxdichtheid in de kern te groot), zodat de kern meer richting verzadiging wordt gestuurd, heeft dit echter nog een negatief effect. Dit negatief effect is dat de sinusvormige secundaire stroom en primaire- en secundaire spanning worden vervormd.

#### ➤ **Amplitude fout:**

Zoals reeds is aangehaald, is het doel van een CT de primaire stroom naar benden te transformeren. Bij CT's spreken men over enkele transformatieverhoudingsfactoren.

De eerste transformatieverhoudingsfactor is de transformatieverhoudingsfactor die men kan aflezen op de kenplaatgegevens van de CT, ook wel de "nominale transformatieverhoudingsfactor" genoemd.

Deze nominale transformatieverhouding is de primaire stroom t.o.v. de secundaire stroom in nominale omstandigheden. Deze transformatieverhoudingsfactor heeft een niet-veranderlijke waarde, puur theoretisch:

$$Kc = \frac{I_{p\_nom}}{I_{s\_nom}}$$

De tweede transformatieverhoudingsfactor is de "werkelijke transformatieverhoudingsfactor". Deze werkelijke transformatieverhoudingsfactor is de RMS-waarde van de primaire stroom t.o.v. de RMS-waarde van de secundaire stroom. Deze transformatieverhoudingsfactor is geen constante waarde. Deze verhouding is sterk afhankelijk van de grootte van de primaire stroom (dus ligt de primaire stroom sterk onder of boven de nominale primaire stroom), de secundaire belasting, de frequentie en de golfvorm:

$$Kr = \frac{I_p}{I_s}$$

De laatste transformatieverhoudingsfactor is de "correctieverhoudingsfactor". Met deze factor wordt de nominale transformatieverhoudingsfactor vermenigvuldigd om de transformatieverhouding te verkrijgen die er effectief in de CT heerst, rekening houdend met verschillende factoren:

$$\text{Correctieverhoudingsfactor: } RCF = \frac{Kr}{Kc}$$

$$\text{Effectief aanwezige transformatieverhoudingsfactor: } K_{effe} = Kc * RCF$$

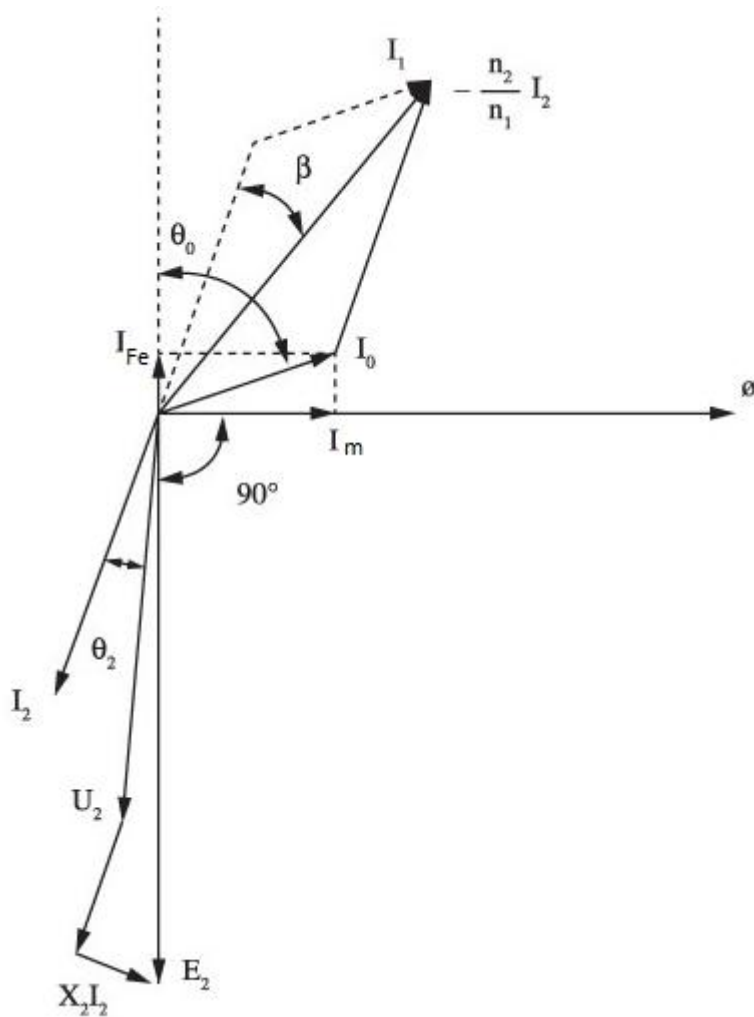
De amplitude fout (of ratio error) kan met onderstaande formule worden berekend:

$$\varepsilon = \frac{Kr * I_s - |I_p|}{|I_p|} * 100$$

[49]

➤ **Hoekfout:**

Bij vermogen- en fase hoekmetingen is de hoekfout een belangrijke factor om rekening mee te houden. Aan de hand van het vectordiagram van een CT kan men de hoekfout verduidelijken (zie Figuur 50).



**Figuur 50 Vector diagram van een CT [49]**

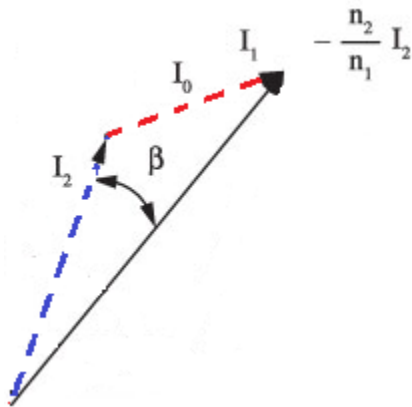
Enkel het deel dat betrekking heeft op de hoekfout wordt besproken:

Op het vectordiagram worden de ijzerverliezen voorgesteld door de vector  $I_{Fe}$  (zie Figuur 50). Deze verliezen zijn puur resistent, dus in fase met de (primaire) spanning. De magnetisatiestroom is afgebeeld met  $I_m$ , deze stroom ijlt  $90^\circ$  na op de spanning, dit komt doordat de magnetisatie puur inductief is (puur reactief vermogen). De vector  $\phi$  geeft de flux in de kern weer. De nullaststroom  $I_0$  bij spanningstransformatoren, of ook wel "bekrachtigingsstroom" genoemd, is de vectoriële som van de ijzerverliezen  $I_{Fe}$  en de magnetisatiestroom  $I_m$ . De bekrachtigingsstroom  $I_0$  ligt onder een hoek  $\theta_0$  verschoven van de primaire spanning. Als de magnetisatiestroom  $I_m$  overheersend is t.o.v. de ijzerverliezenstroom  $I_{Fe}$  zal de bekrachtigingsstroom  $I_0$  overheersend inductief zijn. (De bekrachtigingsstroom is in principe gelijk aan de magnetisatiestroom, maar gecorrigeerd met de ijzerstroomverliezen.)

De primaire stroom  $I_1$  is de vectoriële som van secundaire stroom  $I_2$  en de bekrachtigingsstroom  $I_0$ .

Op het equivalent schema op Figuur 46 kan men dit duidelijk waarnemen.

Bij een ideale CT ligt de primaire stroom  $I_2$  gelijk (maar tegengesteld) met de secundaire stroom  $I_2^*(N_2/N_1)$  (rekening houdend met de overzetverhoudingsfactor). Maar door de amplitude fout zal de secundaire een deel van zijn stroom moeten "afgeven" aan allerlei verliezen (waaronder een grote bekrachtigingsstroom  $I_0$ ). Buiten de amplitude fout heerst er ook de hoekfout  $\beta$ , waar dat bekrachtigingsstroom  $I_0$  ook een grote rol speelt. Door dieper op het vectordiagram in te zoomen, kan men de hoekfout verklaren (zie Figuur 51).



**Figuur 51 Hoek fout, primaire-, secundaire- en nullast vectoren [49]**

De primaire en secundaire stroom liggen t.o.v. elkaar verschoven, met een grootte van de verschuivingshoek  $\beta$ . Bij een ideale CT liggen deze  $I_1$  en  $I_2$  mooi in fase met elkaar, maar door de bekrachtigingsstroom  $I_0$  is dit niet het geval. Dus hoe kleiner de bekrachtigingsstroom  $I_0$  hoe kleiner de hoekfout en amplitude fout zal zijn. Een zo klein mogelijk bekrachtigingsstroom  $I_0$  is van uiterste belang om zo klein mogelijke afwijking te veroorzaken, primaire t.o.v. secundaire stromen. Een grote bekrachtigingsstroom  $I_0$  is een rechtstreeks gevolg van de secundaire belasting, dus men dient de secundaire belasting zo klein mogelijk te houden om de nauwkeurigheid van de CT te waarborgen.

De hoekfout kan (of phase angle error) met onderstaande formules worden berekend:

$$\text{tg}(\beta) = \frac{\vec{I}_0 \cdot \sin [90^\circ - (\alpha + \beta + \delta)]}{Kc \cdot \vec{I}_p \cdot \cos (\beta)}$$

[49]

Of met een vereenvoudigde formule, aangezien de hoekfout  $\beta$  meestal klein is:

$$\beta = \frac{\vec{I}_0}{\vec{I}_p} \cdot \cos (\alpha + \beta)$$

[49]

Met  $\alpha$  als hoek tussen de bekrachtigingsstroom  $I_0$  en de magnetische flux ( $\phi$ ), en  $\delta$  de faseverschuiving tussen de primaire stroom ( $I_2$ ) en inductiespanning ( $E_2$ ).

[49]

## 6.2.2 Normering

De norm IEC 60044-1 beschrijft de meettransformatoren. Deze norm beschrijft de meetstroomtransformatoren (CT) en de beschermingsstroomtransformatoren.

Elke CT heeft een nauwkeurigheidsklasse (0.1, 0.2, 0.2S, 0.5, 0.5S, 1, 3, 5). Voor deze nauwkeurigheidsklasse zijn limieten gedefinieerd omtrent de amplitude- en hoekfout (zie Tabel 10, Tabel 11 en Tabel 12) bij frequenties van 15 Hz tot 100 Hz.

**Tabel 10 Limieten voor amplitude- en hoekfout voor CT, klasse 0.1, 0.2 en 1 [50]**

Accuracy class	± Percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below				± Phase displacement at percentage of rated current shown below							
					Minutes				Centiradians			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0.1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0.2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0.5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1.0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

De limieten van de amplitude- en hoekfout voor CT met klasse 0.1, 0.2, 0.5 en 1 worden in Tabel 10 weergegeven. De maximale fout die mag optreden bij deze CT's mag niet hoger zijn dan weergegeven in de Tabel 10 (uitgedrukt in %). De fouten zijn gedefinieerd bij primaire stromen van 5%, 20%, 100% en 120% van de primaire stroom en bij een secundaire belasting van 25% tot 100% van de nominale secundaire belasting.

**Tabel 11 Limieten voor amplitude- en hoekfout voor CT, klasse 0.2S en 0.5S [50]**

Accuracy class	± Percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below					± Phase displacement at percentage of rated current shown below									
						Minutes					Centiradians				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0.2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0.5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

De limieten van de amplitude- en hoekfout voor CT met klasse 0.2S en 0.5S worden in Tabel 11 weergegeven. De fouten zijn gedefinieerd bij primaire stromen van 1%, 5%, 20%, 100% en 120% van de primaire stroom en bij een secundaire belasting van 25% tot 100% van de nominale secundaire belasting.

**Tabel 12 Limieten voor amplitude- en hoekfout voor CT, klasse 3 en 5 [50]**

Class	$\pm$ Percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below	
	50	120
3	3	3
5	5	5

De limieten van de amplitude- en hoekfout voor CT met klasse 3 en 5 worden in Tabel 12 weergegeven. De fouten zijn gedefinieerd bij primaire stromen van 50% en 120% van de primaire stroom en bij een secundaire belasting van 50% tot 100% van de nominale secundaire belasting.

[50]

Meetstroomtransformatoren beschikken ook over een "FS-factor". Deze FS-factor (Instrument Security Factor) geeft aan hoeveel keer groter de nominale primaire stroom mag zijn zodat de foutstroom 10% zal bedragen.

*De geraadpleegde bronnen in hoofdstuk "6.2 Meettransformatoren" zijn [49] [51] [47] [48] [46] [50].*

## 6.3 Nauwkeurigheidsonderzoek naar CT tijdens en na overbelasting van secundaire kring

Het doel van het onderzoek omtrent de meetstroomtransformator (CT) is het nagaan of er een nauwkeurigheidsdegradatie bij een CT optreedt, indien de secundaire kring van de CT te zwaar is belast. En vervolgens nagaan of er een nauwkeurigheidsdegradatie optreedt nadat deze CT secundair overbelast is geweest.

Er werd gebruik gemaakt van een Siemens meetstroomtransformator om de nauwkeurigheidstesten op uit te voeren. De belangrijkste eigenschappen van deze Siemens CT kan men in Tabel 13 terugvinden, de datasheet vindt men terug in Bijlage G "Siemens meetstroomtransformator".

**Tabel 13 Eigenschappen Siemens CT**

Eigenschappen meetstroomtransformator	
Merk:	Siemens 4NC5112-2BC20
Nom. prim. stroom:	50A
Nom. sec. stroom:	5A
Vermogen:	2,5VA
Klasse:	3
FS factor:	5

Door het nauwkeurigheidsonderzoek met een CT van nauwkeurigheidsklasse 3 uit te voeren, was het mogelijk om de afwijkingen op te meten met de ter beschikking gestelde meetapparatuur.

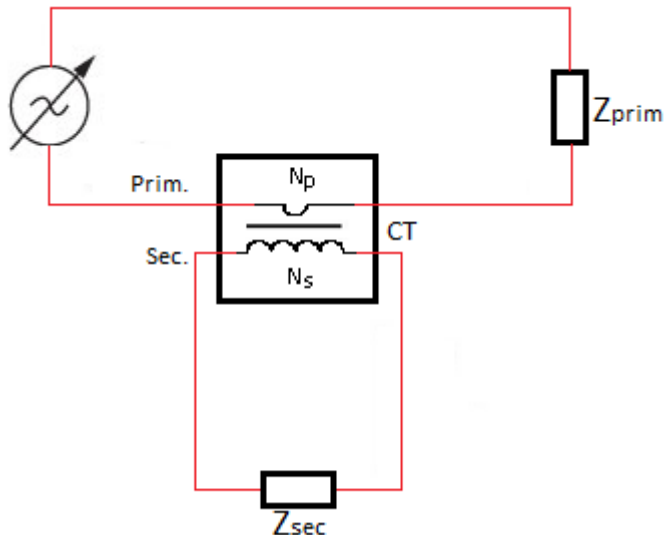
### 6.3.1 Meetopstelling

De metingen op de CT werden uitgevoerd in het elektriciteitslabo van de Katholieke hogeschool Limburg (KHLim) te Diepenbeek België.

Alvorens de meetresultaten worden besproken (zie volgende hoofdstuk "Meetresultaten"), wordt de meetopstelling verduidelijkt. Beginnend met het verduidelijken van de gebruikte componenten, gevolgd met een toelichting van de gebruikte meetapparatuur.

### 6.3.1.1 Meetopstelling zonder meetapparatuur

Figuur 52 geeft een schematische weergave van de meet- of labo-opstelling zonder meetapparatuur, verder in dit hoofdstuk wordt de meetopstelling besproken met meetapparatuur.



**Figuur 52 Labo opstelling zonder meetapparatuur**

De meetstroomtransformator (CT) is het centraal punt in de opstelling. De omringende componenten zijn enkel nodig om de CT in werking te laten treden. De gebruikte componenten worden nog eens opgelijst:

- 1-fasige reotor (regelbare spanningsbron),
- Siemens meetstroomtransformator 50A/1A, 2.5VA, klasse 3 (CT),
- Ohmse weerstanden (Z<sub>sec</sub> en Z<sub>prim</sub>),
- oscilloscoop met bijhorende stroomtangen,
- spanning- en stroommeters,
- power analyzer (Voltech).

In de onderstaande hoofdstukken "Primaire CT kring" en "Secundaire CT kring" bespreekt men afzonderlijk de primaire- en secundaire kring van de CT.

#### ➤ **Primaire CT kring:**

Aangezien het in het labo niet mogelijk was om een primaire stroom van 50A te generen, is de primaire lijndraad 10 keer rond de primaire zijde van de CT gewikkeld. Dit heeft als gevolg dat men bij een primaire stroom van 5A een magnetische veld genereert dat overeenkomt met 50A. Zo kan men op een eenvoudige manier 50A simuleren in de primaire van de CT met een werkelijke kleinere stroom (5A).

Aangezien men met een spanningsbron werkt, moeten er primair nog een extra belasting bijgeplaatst worden om een stroom van 5A te verkrijgen. Dit doet men door weerstanden primair in serie met de CT te plaatsen. Deze weerstanden zijn op Figuur 52 weergegeven als "Z<sub>prim</sub>". De grootte van deze "Z<sub>prim</sub>-weerstand" kan eenvoudigweg met de wet van Ohm worden bepaald:



$$R = \frac{U}{I} = \frac{220V}{5A} = 44 \Omega$$

Hieruit kan men besluiten dat bij een spanning van 220V en een belasting van 44  $\Omega$ , een maximale stroom zal vloeien van 5A (primaire). Aangezien men de CT voor 120% zal belasten, zal de primaire belasting weerstanden ( $Z_{prim}$ ) kleiner gekozen worden (36  $\Omega$ ).

➤ **Secundaire CT kring:**

Zoals reeds toegelicht, is het voor de CT ideaal dat de secundaire kring van de CT perfect kortgesloten is. Dit zal in de praktijk echter niet het geval zijn. De maximale secundaire belasting van de CT wordt weergegeven in Figuur 52 als "Zsec" en wordt berekend in onderstaande subhoofdstuk (Maximale secundair belasting). De nominale secundaire stroom staat vermeld op de kenplaatgegevens van de CT (deze bedraagt 5A).

- **Maximale secundair belasting:**

De nominale secundaire belasting is op de CT in VA aangegeven, deze bedraagt voor de gekozen CT 2,5VA. Het is belangrijk dat de secundair zijde van de CT niet zwaarder wordt belast dan 2.5VA. De maximale secundaire belasting kan berekend worden aan de hand de wet van Joule:

$$P_{TI} \text{ (of } S_{TI}) = R_{sec-belasting} * I_{TI-sec}^2$$

**Tabel 14 Maximale secundaire belasting**

S (TI)	2,5 VA
I <sup>2</sup> (TI_sec)	5 <sup>2</sup> A
R_sec	0,1 Ohm

Via de wet van Joule wordt de maximale toegelaten secundaire belasting ( $R_{sec-belasting}$ ) berekend, deze bedraagt 0.1 Ohm.

- **Maximale secundair spanning:**

Als gevolg van een niet perfecte secundaire kortsluiting zal er inductiespanning over de secundaire wikkeling van de CT opgewekt worden. De maximale spanning over de secundaire winding kan volgens onderstaande formule worden bepaald:

$$S_{TI} = U_{TI-sec} * I_{TI-sec}$$

**Tabel 15 Maximale secundaire spanning**

S (TI)	2,5 VA
I (TI_sec)	5 A
U (TI_sec)	0,5 V

Uit de formule van het vermogen ( $S_{TI}$ ) haalt men de maximale toegelaten spanning over de secundaire winding van de CT, deze spanning bedraagt 0.5V.

- **Besluit:**

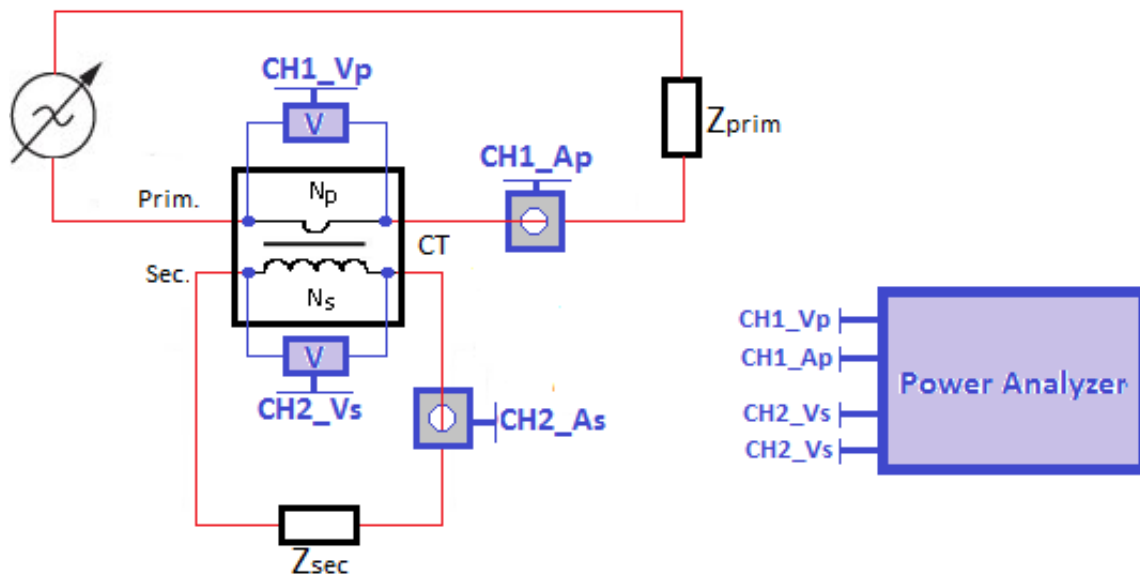
Tabel 16 geeft een overzicht van de maximale waarden aan de secundaire zijde van de CT (Siemens stroomtransformator 50A/1A, 2.5VA), op het moment dat er primair een nominale stroom van 50A loopt:

**Tabel 16 Overzicht maximale secundaire waarden**

S max_sec	2,5 VA
I max_sec	5 A
U max_sec	0,5 V
Z max_sec	0,1 ohm

### 6.3.1.2 Meetopstelling met meetapparatuur

Nadat dat de meet- of labo-opstelling zonder meetapparatuur is besproken (zie "Meetopstelling zonder meetapparatuur"), kan er overgegaan worden met het verduidelijken van de gebruikte meetapparatuur. Figuur 53 geeft een schematische weergave van de meet- of labo-opstelling met meetapparatuur.



**Figuur 53 Labo opstelling met meetapparatuur**

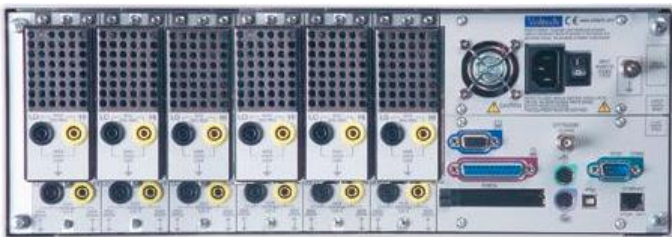
Het meettoestel dat gebruikt is om een vergelijking te kunnen maken tussen de primaire en secundaire zijde van CT, is een "power analyzer" van het merk Voltech (PM6000).

Met deze power analyzer is het mogelijk om al de vereiste waarden op te meten. Op de schematische meetopstelling in Figuur 53 is de Voltech power analyzer als een spanning- en stroommeting voorgesteld, dit voor zowel de primaire als de secundaire zijde van de CT. Op Figuur 54 ziet men een afbeelding van de Voltech power analyzer.



**Figuur 54 Voltech power analyzer PM6000 [52]**

Met deze Voltech power analyzer kan men tot zes fasemetingen op hetzelfde moment uitvoeren, aangezien er per fase een spannings- en stroommeting voorzien is. De zes verschillende meetpunten van de Voltech power analyzer kan men op Figuur 55 zien. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van twee van de zes meetpunten van de power analyzer.



**Figuur 55 Achterzijde Voltech power analyzer [53]**

### 6.3.2 Meetplan

Om na te gaan of er een nauwkeurigheidsdegradatie optreedt tijdens en na een secundaire overbelasting van de CT, is het meetproces in twee stappen verlopen.

In de eerste stap zijn de metingen op de CT (zie Figuur 53) met een te grote secundaire belasting, stap voor stap uitgevoerd. Startend met een lichte overbelasting en oplopend tot zeer zware overbelasting.

Na het overbelasten van de CT is er overgegaan naar de tweede stap. In deze tweede stap zijn er stap voor stap metingen uitgevoerd met belastingen onder de maximale secundaire lastwaarde. Dus in een situatie waar de CT in normale omstandigheden zal functioneren.

Dus samengevat zijn er eerst metingen uitgevoerd wanneer de CT secundair overbelast werd, waarna er metingen zijn uitgevoerd met normale toegelaten secundaire belastingen.

Bij elke verschillende lastwaarde zijn er metingen uitgevoerd met verschillende primaire stromen (van 25% tot 120% van de toegelaten primaire stroom).

## 6.3.3 Meetresultaten

### 6.3.3.1 Afwijkingen op meetresultaten

Bij de meetresultaten moet er op enkele afwijkingen worden gewezen:

De primair stroom die effectief zal vloeien, is een factor 10 kleiner dan aangeven is op de kenplaatgegevens van de CT, maar vanuit het oogpunt van de CT stroomt er primair 50A. Dit komt doordat de primaire geleider 10 keer rond de secundaire geleider is gewonden ( $N_p=10$ ).

Door de primaire geleider 10 keer rond de primaire kern te winden, creëert men een spoel. In deze spoel ontstaan ook verliezen zoals lekflux en is er tevens een magnetisatiestroom nodig om deze spoel te magnetiseren. Men kan dus concluderen dat de primaire 5A met 10 windingen ( $N_p=10$ ) niet perfect overeenkomt met een magnetische veld waarvan er maar 1 winding ( $N_p=1$ ) is en er effectief 50A door de primaire geleider stroomt. Men gaat met de hierboven beschreven afwijking geen extra rekening houden bij het analyseren van de meetresultaten.

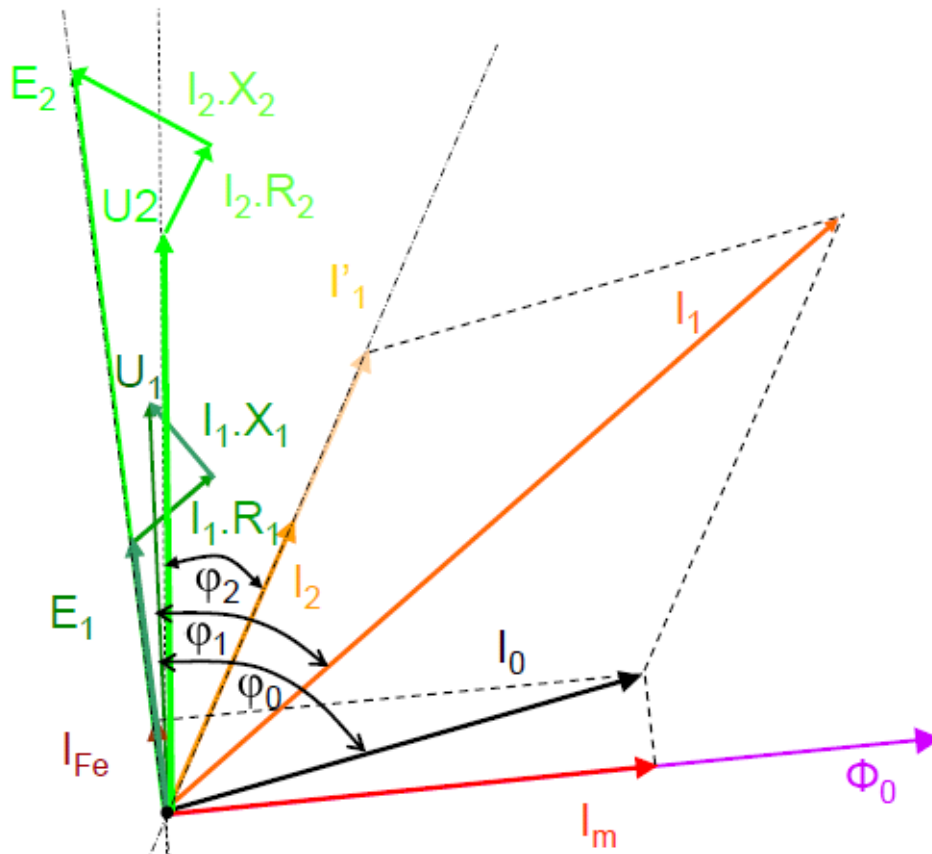
De spanning over de primaire winding bij  $N_p=10$  ligt ook een stuk hoger dan bij een  $N_p=1$ .

Door het meten van de secundaire stroom met de Voltech power analyzer wordt er ook een fout gemaakt, aangezien de stroommeting bij de Voltech power analyzer ook van een meetstroomtransformator gebruik gemaakt wordt. Deze meetstroomtransformator heeft echter eveneens een kleine interne weerstand. Hierdoor wordt de secundaire belasting verhoogd. Deze extra weerstandverhoging van de secundaire kring, door de meetstroomtransformator van de Voltech power analyzer, wordt verwaarloosd.

Voor het onderzoek is er gebruik gemaakt is van een CT met nauwkeurigheidsklasse 3, waardoor de hoekfouten niet vergeleken kunnen worden met tolerantiewaarden die gedefinieerd zijn in de norm IEC 60044-1, aangezien voor CT's met nauwkeurigheidsklasse 3 geen tolerantiewaarden omtrent de hoek fout in de norm zijn gedefinieerd.

Voor het bepalen van de hoekfout kan er gebruik gemaakt worden van een oscilloscoop. Indien men de sinus van de primaire en secundaire stroom op de scope uitzet, kan de faseverschuiving tussen de twee stromen bepaald worden. Na metingen met een oscilloscoop uit te voeren, is gebleken dat de faseverschuiving moeilijk en onnauwkeurig afgelezen kan worden (zie enkele in de Bijlage H, hoofdstuk "H1 Hoek fout bepaling via oscilloscoop").

Een andere methode om de hoekfout te bepalen, is via de powerfactor (PF), gemeten aan primaire en secundaire kant. Voor het bepalen van de PF is er van de Voltech power analyzer gebruik gemaakt. Deze methode via de PF kan men verklaren aan de hand van het vectordiagram. Een vecto diagram van een transformator is in Figuur 56 afgebeeld.



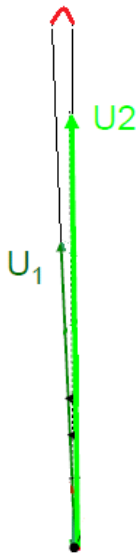
**Figuur 56 Vectordiagram van een niet ideale transformator [54]**

Indien de stromen en spanningen perfect sinusoidaal zijn, is de PF gelijk aan de  $\cos(\varphi)$ . Dus de faseverschuiving tussen de spanning en de stroom. De primaire PF komt overeen met  $\varphi_1$  op het vectordiagram in Figuur 56 en de secundaire PF komt overeen met  $\varphi_2$ .

Indien men de PF van de primaire kring ( $\varphi_1$ ) aftrekt van de PF in de secundaire kring  $\varphi_2$ , bekomt men de hoekfout. Dus de hoek tussen de primaire stroom ( $I_1$ ) en de secundaire stroom ( $I_2$ ).

Idealiter is er geen hoekfout, dus zal de secundaire stroom van de CT perfect in fase zijn met de primaire stroom.

Het bekomen van de hoekfout via de PF-methode is niet volledig correct, aangezien de koper verliezen en lekfluxen er voor zorgen dat de primaire- en secundaire spanning niet in fase liggen met elkaar. De faseverschuiving tussen de primaire- en secundaire spanning is in Figuur 57 aangeduid met een rode boog.



**Figuur 57 Faseverschuiving tussen primaire- en secundaire spanning [54]**

De methode om de hoekfout te bepalen via de PF is enkel geldig wanneer stromen en spanningen perfect sinusoïdaal zijn. Dus wanneer de CT overbelast wordt aan zijn secundaire kring zal het kernmateriaal van de CT in verzadiging gaan. Dit heeft als gevolg dat de stromen en spanningen sterk gaan vervormen waardoor de hoekfout niet meer via de PF-methode kan opgemeten worden wanneer de CT secundair overbelast is (zie enkele voorbeelden in Bijlage H, hoofdstuk "H2 Niet sinusoïdale spanningen en stromen").

### 6.3.3.2 Meetresultaten tijdens secundaire overbelasting

In Bijlage H, hoofdstuk "H3 Meetresultaten tijdens secundaire overbelasting") worden de meetresultaten weergegeven wanneer de CT secundair overbelast werd. De metingen zijn gedaan met verschillende belasting waarden:

200% (0.2 Ohm), 300% (0.3 Ohm), 4000% (0.4 Ohm), 800% (0.8 Ohm), 1200% (1.2 Ohm), 1600% (1.6 Ohm), 2000% (2 Ohm), 2400% (2.4 Ohm), 5000% (5 Ohm), 10000% (10 Ohm) en 20000% (20 Ohm) van de maximale secundaire belasting (0.1 Ohm). De metingen vanaf 5000% (5 Ohm) van de maximale secundaire belasting zijn enkel bij een primaire stroom van 5A uitgevoerd. Deze 5A zorgt voor een magnetisch veld van 50A door  $N_p=10$  te nemen.

In Tabel "Meetresultaten (Tijdens secundaire overbelasting), Open Sec. kring" (zie Bijlage H3 worden de meetresultaten weergegeven waarbij de secundaire kring volledig geopend was. Met deze opstelling was de secundaire stroom gelijk aan 0A, omdat er enkel stroom in een gesloten kring kan vloeien.

### 6.3.3.3 Meetresultaten na secundaire overbelasting

In Bijlage H, hoofdstuk "H4 Meetresultaten na secundaire overbelasting" worden de meetresultaten weergegeven die opgemeten zijn op het moment dat de CT op een normale manier wordt belast, maar nadat de secundaire zijde van de CT sterk overbelast is geweest.

In Tabel "Meetresultaten (Na secundaire overbelasting), 50% van Zsec\_nom" (zie Bijlage H4) worden de meetresultaten weergegeven waarbij de secundaire belasting 50% (0.05 Ohm) van de maximale secundaire belasting (0.1 Ohm) bedraagt. De metingen zijn enkele keren herhaald, telkens met een andere primaire stroom.

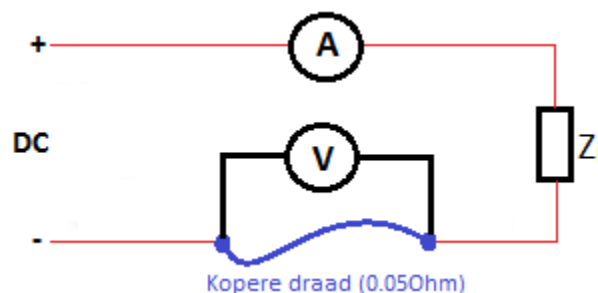
Het creëren van een belasting van 0.05 Ohm is gerealiseerd door gebruik te maken van een koperen draad. De lengte van de draad werd berekend via de wet van Pouillet :

$$R_{wire} = \frac{\rho_{wire} * l_{wire}}{A_{wire}}$$

**Tabel 17 Kabel lengte berekening, via de wet van Pouillet**

Belasting	0,05 Ohm
Soortelijke weerstand	1,75E-08 Ohm/m
Oppervlakte	2,5 mm <sup>2</sup>
Lengte	7,14 m

De controle van de correctheid van de weerstand van 0.05 Ohm is gerealiseerd via een meetopstelling. (zie Figuur 58)



**Figuur 58 Meetopstelling voor kabelweerstand te bepalen**

Indien er een DC-bron op de draad (0.05 Ohm) wordt aangesloten, kan men door de spanning over de draad en de stroom door de draad te meten de Ohmse weerstand van de draad berekenen via de wet van Ohm.

In Tabel "Meetresultaten (Na secundaire overbelasting), 100% van Zsec\_nom" (zie Bijlage H4)

worden de meetresultaten weergegeven waarbij de secundaire belasting 100% (0.1 Ohm) van de maximale secundaire belasting (0.1 Ohm) bedraagt. De metingen zijn vijf keer herhaald, telkens met een andere primaire stroom.

Enkele velden in Tabel "Meetresultaten (Na secundaire overbelasting), 50% van Zsec\_nom" en Tabel "Meetresultaten (Na secundaire overbelasting), 100% van Zsec\_nom" (zie Bijlage H4) zijn niet ingevuld, dit heeft als reden dat de Voltech power analyzer deze waarden niet

heeft kunnen opmeten. Vermoedelijk omdat het meetbereik te klein was voor de Voltech power analyzer.

### 6.3.4 Analyse meetresultaten

Via Excel zijn de meetresultaten geanalyseerd.

#### 6.3.4.1 Amplitude fout

##### ➤ **Analyse tijdens secundaire overbelasting:**

In subhoofdstukken "Constance stroom, variërende secundaire belasting" en "Transformatieverhoudingsfactor" worden de meetresultaten geanalyseerd wanneer de secundair kring van de CT overbelast is.

- **Constance stroom, variërende secundaire belasting:**

In Figuur 59 en Figuur 60 zijn de primaire en secundaire stroom uitgezet bij een primaire stroom van 3A (met  $N_p=10$ , dus 60% van  $I_{CT-prim}$ ) en variërende secundaire belasting (tussen 200% en 2400% van  $Z_{sec-nom}$ ). Figuur 59 geeft de amplitude fout grafisch weer en Figuur 60 procentueel.

In Figuur 61 en Figuur 62 zijn de primaire en secundaire stroom uitgezet bij een primaire stroom van 5A (met  $N_p=10$ , dus 100% van  $I_{CT-prim}$ ) en variërende secundaire belasting (tussen 16000% en 20000% van  $Z_{sec-nom}$ ). Figuur 61 geeft een grafische voorstelling van de amplitude fout weer en Figuur 62 een procentuele weergave.

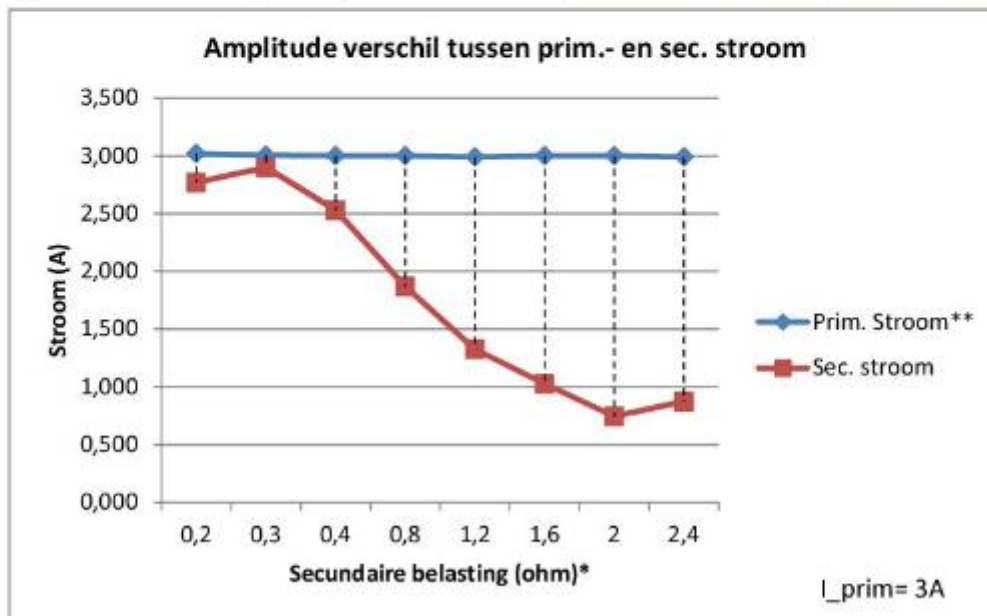
Uit de analyse kan men afleiden dat de amplitude fout steeds vergroot naarmate de secundaire belasting vergroot. Volgens de norm IEC 60044-1 moet de amplitude fout van een CT met een nauwkeurigheidsklasse 3 onder de 3% liggen, bij primaire stromen van 50% en 120% en bij een secundaire belasting van 50% tot 100% van de nominale secundaire belasting.

Als men deze nauwkeurigheidstolerantie van 3% naar grotere secundaire belastingen doortrekt, dan kan men uit Figuur 60 en Figuur 62 besluiten dat de amplitude fout bij een toenemende secundaire overbelasting (van 200% tot 20000% van  $Z_{sec-nom}$ ) (bij een nominale primaire stroom) sterk afwijkt van de normering (max. 3% amplitude fout). De amplitude fout neemt geleidelijk aan toe van 3.53% tot 97.67%.



Analyse meetresultaten: Constante stroom, variërende secundaire belasting

I_prim** = 3A		Stroom_A(rms)	
Sec. weerstand (Zsec*) ohm		Prim. Stroom**	Sec. stroom
200 % van Zsec_nom.	0,2	3,020	2,769
300 % van Zsec_nom.	0,3	3,004	2,898
400 % van Zsec_nom.	0,4	3,000	2,528
800 % van Zsec_nom.	0,8	3,000	1,869
1200 % van Zsec_nom.	1,2	2,990	1,327
1600 % van Zsec_nom.	1,6	3,000	1,028
2000 % van Zsec_nom.	2	3,000	0,744
2400 % van Zsec_nom.	2,4	2,990	0,874



\*Zonder sec. wikkelingsweerstand.

\*\* Nprim = 10

**Figuur 59** Analyse meetresultaten (tijdens sec. overbelasting): Constante stroom (3A), variërende secundaire belasting

Analyse meetresultaten: Amplitude fout bij constante stroom en variërende secundaire belasting

200 % van Zsec_nom.* (0,2ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
60 % van In_prim	3A	0,251	8,30%

300 % van Zsec_nom.* (0,3ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
60 % van In_prim	3A	0,106	3,53%

400 % van Zsec_nom.* (0,4ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
60 % van In_prim	3A	0,472	15,74%

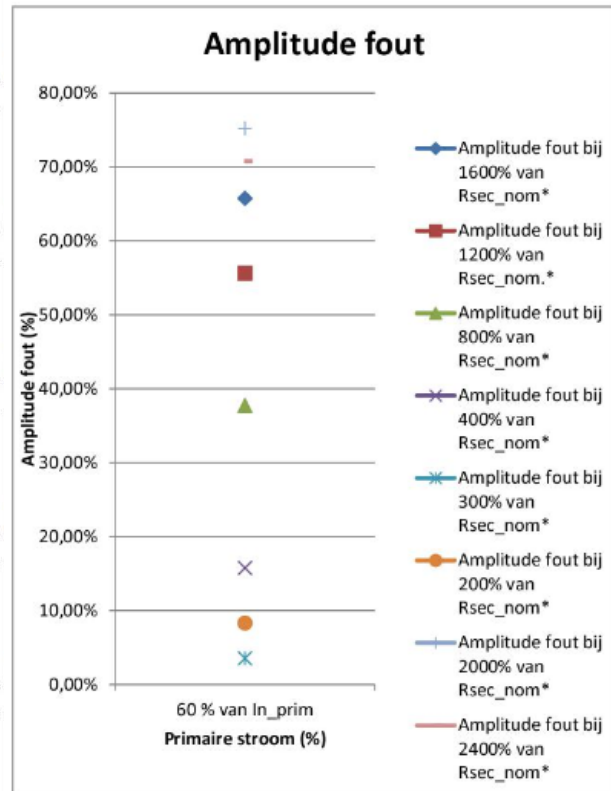
800 % van Zsec_nom.* (0,8ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
60 % van In_prim	3A	1,131	37,71%

1200 % van Zsec_nom.* (1,2ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
60 % van In_prim	3A	1,663	55,62%

1600 % van Zsec_nom.* (1,6ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
60 % van In_prim	3A	1,972	65,74%

2000 % van Zsec_nom.* (2ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
60 % van In_prim	3A	2,256	75,20%

2400 % van Zsec_nom.* (2,4ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
60 % van In_prim	3A	2,116	70,77%

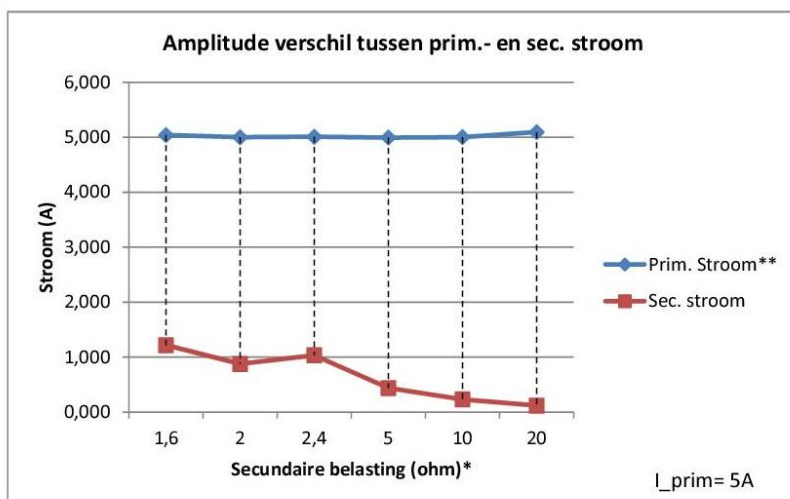


\*Zonder sec. wikkelingsweerstand. \*\* Nprim = 10

**Figuur 60 Analyse meetresultaten (tijdens sec. overbelasting): Constante stroom (3A), variërende secundaire belasting**

Analyse meetresultaten: Constante stroom, variërende secundaire belasting

I_prim** = 5A		Stroom_A(rms)	
Sec. weerstand (Zsec*) ohm		Prim. Stroom**	Sec. stroom
1600 % van Zsec_nom.	1,6	5,040	1,217
2000 % van Zsec_nom.	2	5,000	0,876
2400 % van Zsec_nom.	2,4	5,008	1,034
5000 % van Zsec_nom.	5	4,994	0,438
10000 % van Zsec_nom.	10	5,001	0,230
20000 % van Zsec_nom.	20	5,092	0,119



\*Zonder sec. wikkelingsweerstand.

\*\* Nprim = 10

**Figuur 61 Analyse meetresultaten (tijdens sec. overbelasting): Constante stroom (5A), variërende secundaire belasting**

Analyse meetresultaten: Amplitude fout bij constante stroom en variërende secundaire belasting

1600 % van Zsec_nom.* (1,6ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
100 % van I_n_prim	5A	3,823	75,86%

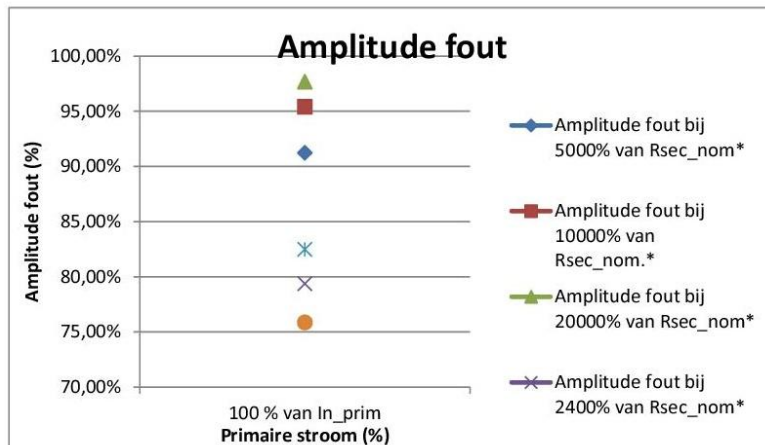
2000 % van Zsec_nom.* (2ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
100 % van I_n_prim	5A	4,124	82,48%

2400 % van Zsec_nom.* (2,4ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
100 % van I_n_prim	5A	3,974	79,35%

5000 % van Zsec_nom.* (5ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
100 % van I_n_prim	5A	4,556	91,23%

10000 % van Zsec_nom.* (10ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
100 % van I_n_prim	5A	4,771	95,39%

20000 % van Zsec_nom.* (20ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
100 % van I_n_prim	5A	4,973	97,67%



\*zonder sec wikkelingsweerstand

\*\* Nprim = 10

**Figuur 62 Analyse meetresultaten (tijdens sec. overbelasting): Constante stroom (5A), variërende secundaire belasting**

- **Transformatieverhoudingsfactor:**

In Figuur 63 is de theoretische transformatieverhoudingsfactor (Kc) uitgezet t.o.v. de werkelijk heersende transformatieverhoudingsfactor (Kr). De werkelijke transformatieverhoudingsfactor (Kr) wijkt steeds feller af van de theoretische (Kc) bij een toenemende secundaire belasting.

Transformatieverhoudingsfactor			
Gegevens CT			
Prim. Stroom	50	A	Kr: Werkelijke tran. verhoudingsfactor Kc: Theoretische tran. verhoudingsfactor
Extra Prim. windingen	10	windingen	
Sec. Stroom	5	A	

1600 % van Zsec_nom.* (1,6ohm)			
Bij ... van I_prim**		Kr	Kc
%	A		
100 % van In_prim	5A	4,142	1

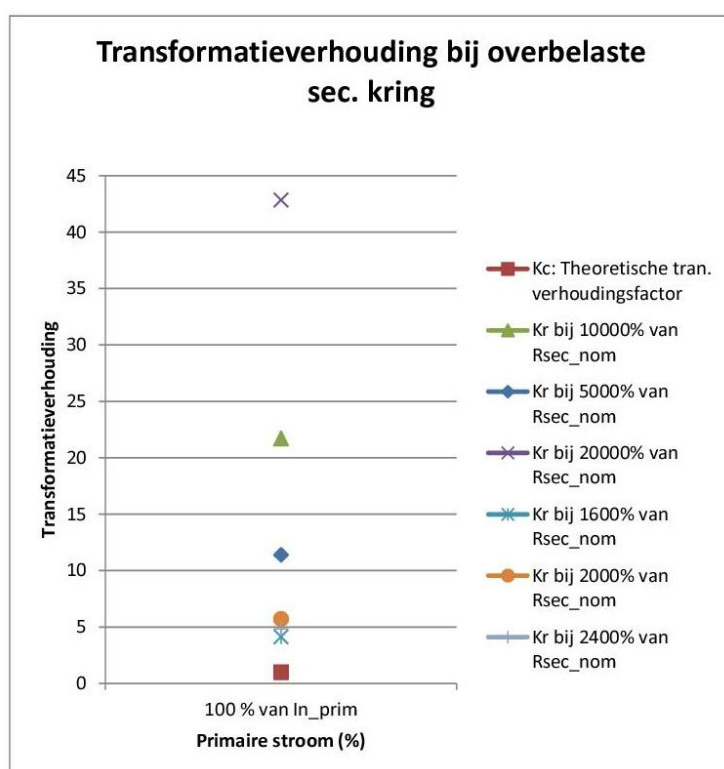
2000 % van Zsec_nom.* (2ohm)			
Bij ... van I_prim**		Kr	Kc
%	A		
100 % van In_prim	5A	5,708	1

2400 % van Zsec_nom.* (2,4ohm)			
Bij ... van I_prim**		Kr	Kc
%	A		
100 % van In_prim	5A	4,844	1

5000 % van Zsec_nom.* (5ohm)			
Bij ... van I_prim**		Kr	Kc
%	A		
100 % van In_prim	5A	11,396	1

10000 % van Zsec_nom.* (10ohm)			
Bij ... van I_prim**		Kr	Kc
%	A		
100 % van In_prim	5A	21,714	1

20000 % van Zsec_nom.* (20ohm)			
Bij ... van I_prim**		Kr	Kc
%	A		
100 % van In_prim	5A	42,834	1



**Figuur 63 Transformatieverhoudingsfactor tijdens secundaire overbelasting**

### ➤ **Analyse na secundaire overbelasting:**

In subhoofdstukken "Constante secundaire belasting, variërende stroom", "Constante stroom, variërende secundaire belasting", "Amplitude fout bij 50% en 100% van secundaire belasting" en "Transformatieverhoudingsfactor" worden de meetresultaten geanalyseerd nadat de secundaire kring van de CT overbelast is geweest en terug in het nominaal secundair werkingsgebied wordt belast.

- **Constante secundaire belasting, variërende stroom:**

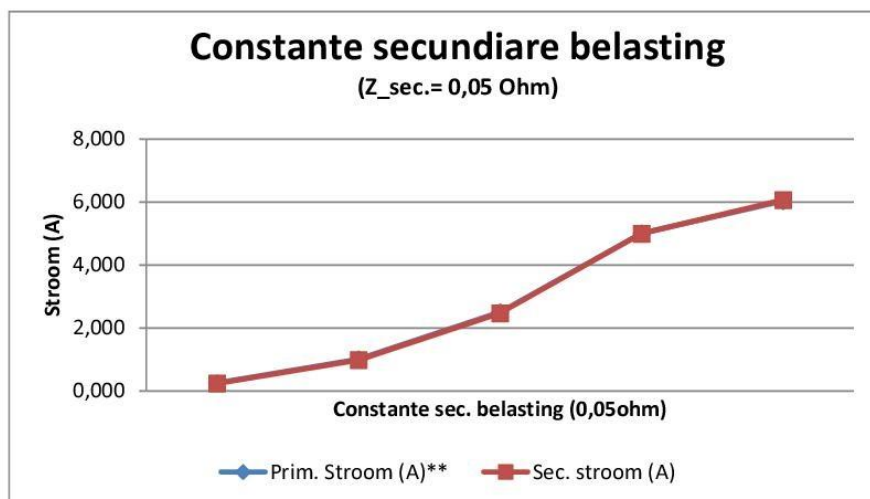
In Figuur 64 zijn de primaire en secundaire stroom uitgezet bij een variërende (primaire) stroom (tussen 0.25A en 6A, dus tussen 5% en 120% van  $I_{CT-prim}$ , met  $N_p=10$ ) en constante secundaire belasting (van 0.05ohm en 0.1ohm, dus 50% en 100% van  $Z_{sec-nom}$ ). In Figuur 64 wordt de amplitude fout grafisch en procentueel weergegeven.

Uit de analyse in Figuur 64 kan men afleiden dat de amplitudefout verkleint naarmate de stroom vergroot (binnen het nominaal werkingsgebied). Hieruit volgt dat de CT het nauwkeurigste is op het moment dat deze belast is met een nominale stroom en binnen het nominaal secundair belast werkingsgebied.

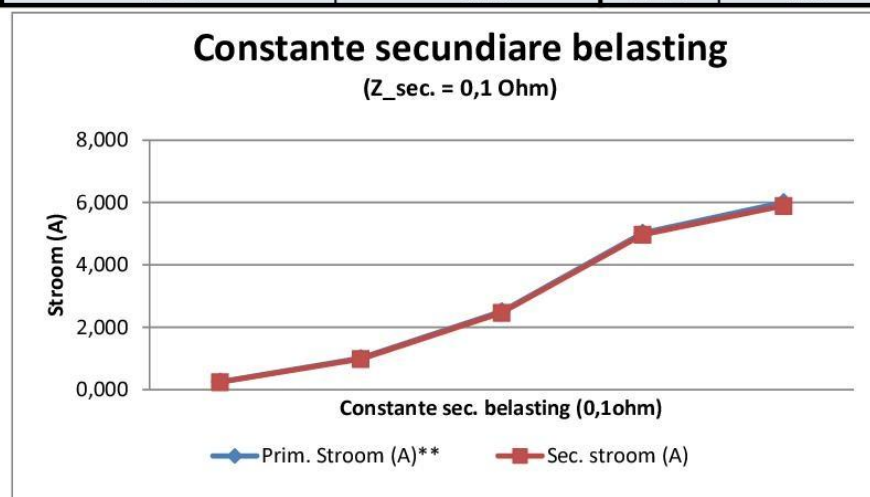
De amplitude fout blijft onder de 3% (buiten bij 0.25A). Volgens de norm IEC 60044-1 moet de amplitude fout van een CT met een nauwkeurigheidsklasse 3 onder de 3% liggen. Hieruit kan men besluiten dat CT binnen zijn nauwkeurigheidsklasse (amplitude) blijft functioneren nadat deze CT sterk overbelast is geweest.

Analyse meetresultaten: Constante secundaire belasting, variërende stroom

Z <sub>sec</sub> * = 0,05 Ohm		Amplitude fout	
Prim. Stroom (A)**	Sec. stroom (A)	A	%
0,248	0,235	0,013	5,31
1,006	0,984	0,022	2,23
2,500	2,470	0,030	1,20
5,006	4,994	0,013	0,25
6,030	6,065	-0,035	-0,59



Z <sub>sec</sub> * = 0,1 Ohm		Amplitude fout	
Prim. Stroom (A)**	Sec. stroom (A)	A	%
0,250	0,241	0,009	3,51
1,009	0,985	0,024	2,33
2,509	2,469	0,040	1,59
5,021	4,969	0,052	1,04
6,004	5,897	0,106	1,77



\*Zonder sec. wikkelingsweerstand.

\*\* N<sub>prim</sub> = 10

**Figuur 64 Analyse meetresultaten (na sec. overbelasting): Constante secundaire belasting, variërende stroom**

- **Constante stroom, variërende secundaire belasting:**

In Figuur 65, Figuur 66 en Figuur 67 zijn de primaire en secundaire stromen uitgezet. Dit met een variërende secundaire belasting (tussen 0.05ohm en 0.1ohm, dus tussen 50% en 100% van  $Z_{sec-nom}$ ) en constante (prim.) stromen (bij 0.25A, 1A, 2.5A, 5A en 6A, dus tussen 5% en 120% van  $I_{CT-prim}$ , met  $N_p=10$ ). Deze amplitude fouten zijn met dezelfde data als in het vorige subhoofdstuk "Constante secundaire belasting, variërende stroom", maar anders weergegeven.

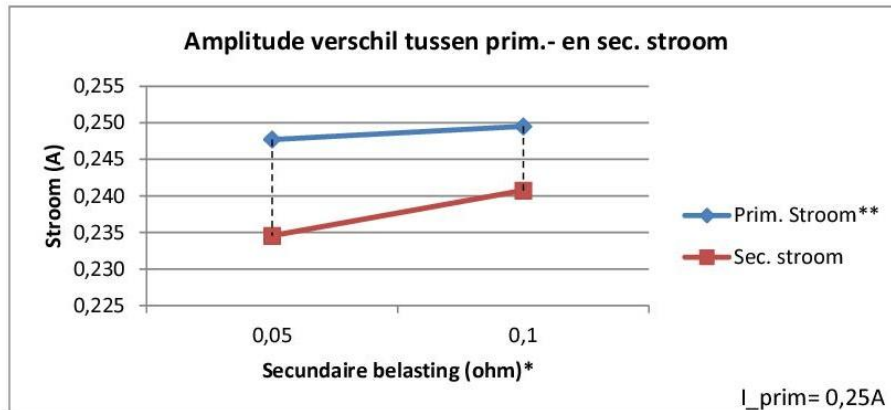
In het subhoofdstuk "Amplitude fout bij 50% en 100% van secundaire belasting" worden in Figuur 68 de amplitude fouten nogmaals weergegeven. Op Figuur 68 kan men duidelijk zien dat de amplitude fout vanaf 20% van de nominale primaire stroom ( $I_{CT-prim}$ ) onder de genormeerde 3% blijft. Dit geldt zowel voor een secundaire belasting van 50% (0.05ohm) van de nominale secundaire last als voor 100% (0.1 Ohm) voor de secundaire nominale last ( $Z_{sec-nom}$ ).



Analyse meetresultaten: Constante stroom, variërende secundaire belasting

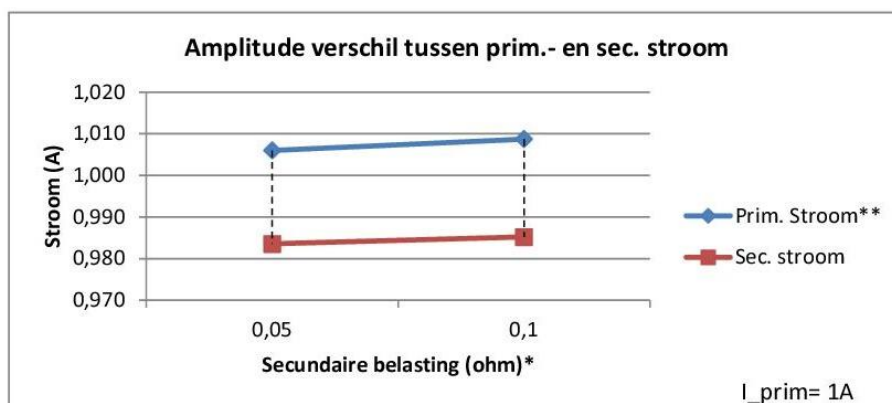
		$I_{\text{prim}}^{**} = 0,25\text{A}$ 5 % van $I_{\text{n\_prim}}$	
Sec. belasting ( $R_{\text{sec}}^*$ ) ohm		Prim. Stroom**	Sec. stroom
50 % van $Z_{\text{sec\_nom}}$ .	0,05	0,248	0,235
100 % van $Z_{\text{sec\_nom}}$ .	0,1	0,250	0,241

Sec. belasting	Amplitude fout	
	A	%
50 % van $Z_{\text{sec\_nom}}$ .	0,013	5,31%
100 % van $Z_{\text{sec\_nom}}$ .	0,009	3,51%



		$I_{\text{prim}}^{**} = 1\text{A}$ 20 % van $I_{\text{n\_prim}}$	
Sec. belasting ( $Z_{\text{sec}}^*$ ) ohm		Prim. Stroom**	Sec. stroom
50 % van $Z_{\text{sec\_nom}}$ .	0,05	1,006	0,984
100 % van $Z_{\text{sec\_nom}}$ .	0,1	1,009	0,985

Sec. belasting	Amplitude fout	
	A	%
50 % van $Z_{\text{sec\_nom}}$ .	0,022	2,23%
100 % van $Z_{\text{sec\_nom}}$ .	0,024	2,33%



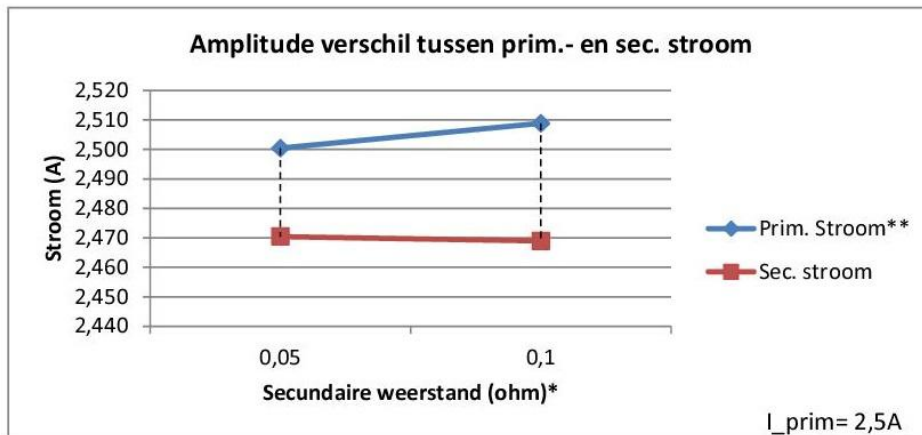
\*Zonder sec. wikkelingsweerstand.

\*\*  $N_{\text{prim}} = 10$

**Figuur 65 Analyse meetresultaten (na sec. overbelasting): Constante stroom, variërende secundaire belasting (0.25 en 1A)**

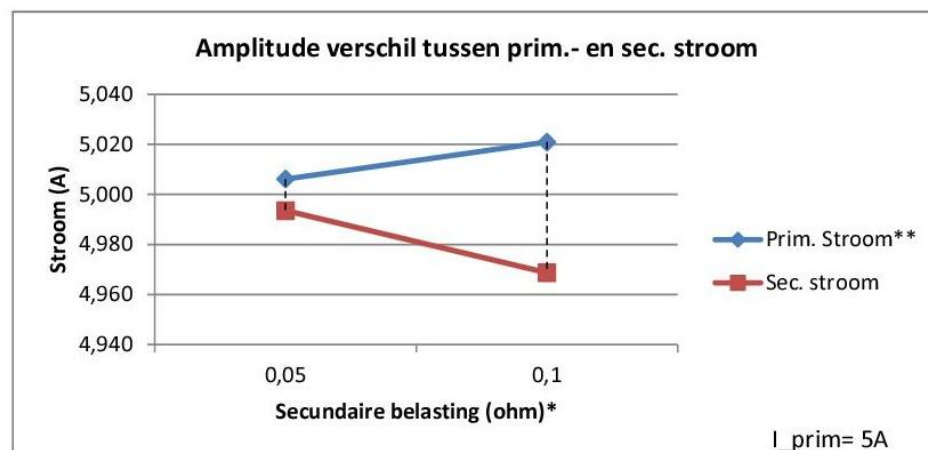
I <sub>prim</sub> ** = 2,5A		50 % van I <sub>n_prim</sub>	
Sec. belasting (Zsec*) ohm		Prim. Stroom**	Sec. stroom
50 % van Zsec <sub>nom.</sub>	0,05	2,500	2,470
100 % van Zsec <sub>nom.</sub>	0,1	2,509	2,469

Sec. belasting	Amplitude fout	
	A	%
50 % van Zsec <sub>nom.</sub>	0,030	1,20%
100 % van Zsec <sub>nom.</sub>	0,040	1,59%



I <sub>prim</sub> ** = 5A		100 % van I <sub>n_prim</sub>	
Sec. belasting (Zsec*) ohm		Prim. Stroom**	Sec. stroom
50 % van Zsec <sub>nom.</sub>	0,05	5,006	4,994
100 % van Zsec <sub>nom.</sub>	0,1	5,021	4,969

Sec. belasting	Amplitude fout	
	A	%
50 % van Zsec <sub>nom.</sub>	0,013	0,25%
100 % van Zsec <sub>nom.</sub>	0,052	1,04%



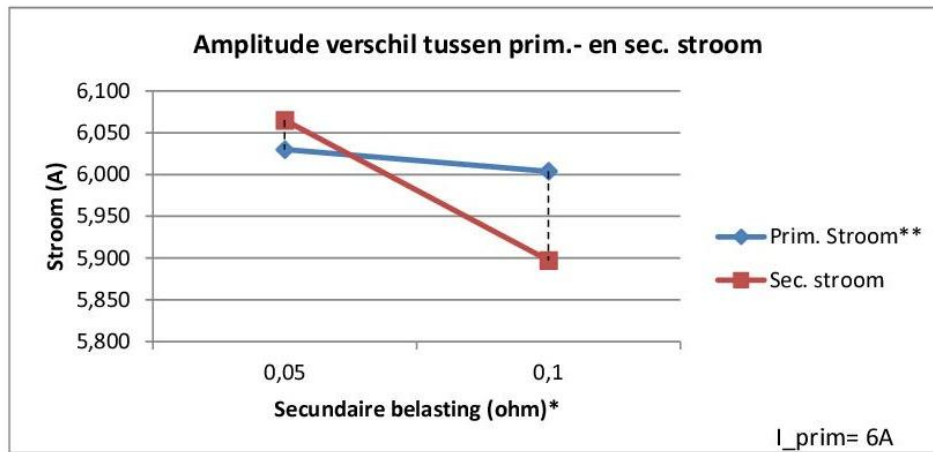
\*Zonder sec. wikkellingsweerstand.

\*\* N<sub>prim</sub> = 10

**Figuur 66 Analyse meetresultaten (na sec. overbelasting): Constante stroom, variërende secundaire belasting (2.5A en 5A)**

I_prim** = 6A		120 % van I_n_prim	
Sec. belasting (Zsec*) ohm		Prim. Stroom**	Sec. stroom
50 % van Zsec_nom.	0,05	6,030	6,065
100 % van Zsec_nom.	0,1	6,004	5,897

Sec. belasting	Amplitude fout	
	A	%
50 % van Zsec_nom.	-0,035	-0,59%
100 % van Zsec_nom.	0,106	1,77%



\*Zonder sec. wikkelingsweerstand.

\*\* Nprim = 10

**Figuur 67 Analyse meetresultaten (na sec. overbelasting): Constante stroom, variërende secundaire belasting (6A)**

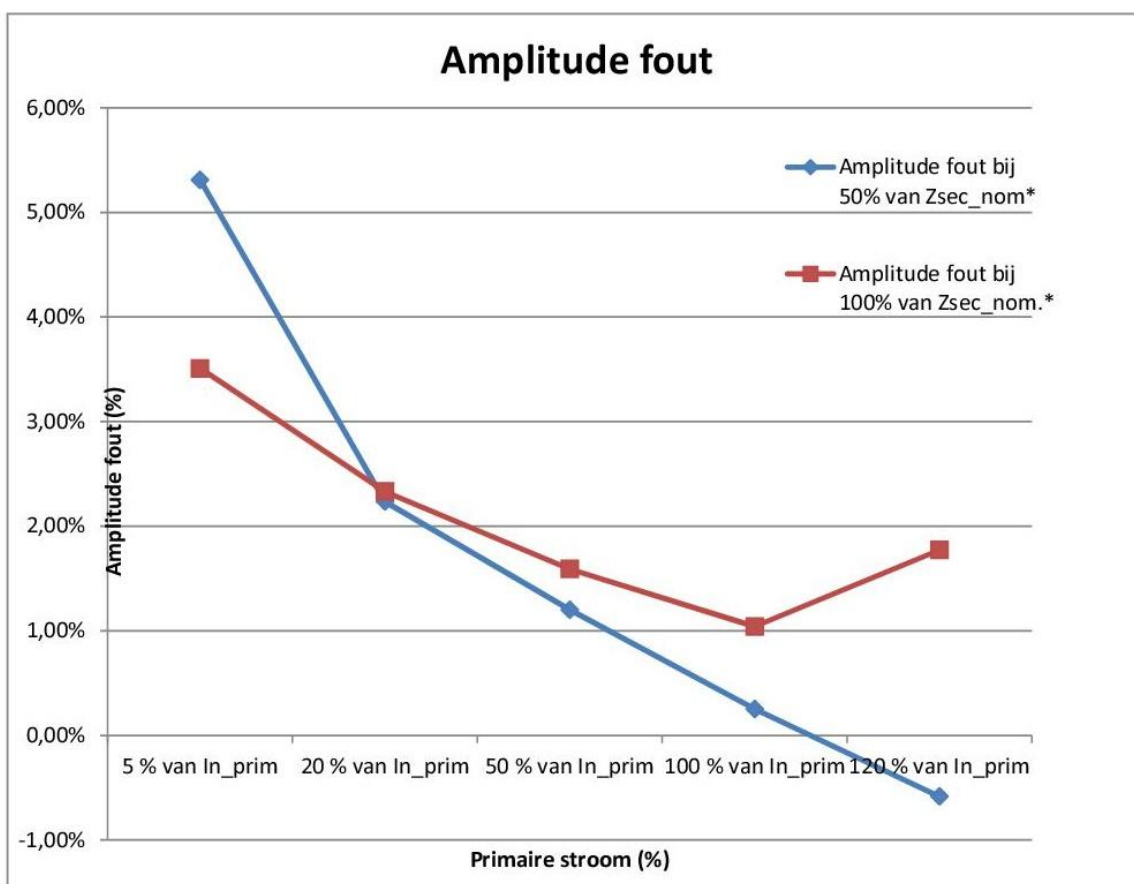
- **Amplitude fout bij 50% en 100% van secundaire belasting:**

Analyse meetresultaten: Amplitude fout bij 50% en 100% van secundaire belasting

50 % van Zsec_nom.* (0,05ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
5 % van In_prim	0,25A	0,013	5,31%
20 % van In_prim	1A	0,022	2,23%
50 % van In_prim	2,5A	0,030	1,20%
100 % van In_prim	5A	0,013	0,25%
120 % van In_prim	6A	-0,035	-0,59%

100 % van Zsec_nom.* (0,1ohm)			
Bij ... van I_prim**		Amplitude fout	
%	A	A	%
5 % van In_prim	0,25A	0,009	3,51%
20 % van In_prim	1A	0,024	2,33%
50 % van In_prim	2,5A	0,040	1,59%
100 % van In_prim	5A	0,052	1,04%
120 % van In_prim	6A	0,106	1,77%

\*\* Nprim = 10



**Figuur 68** Analyse meetresultaten (na sec. overbelasting): Amplitude fout bij 50% en 100% van secundaire belasting

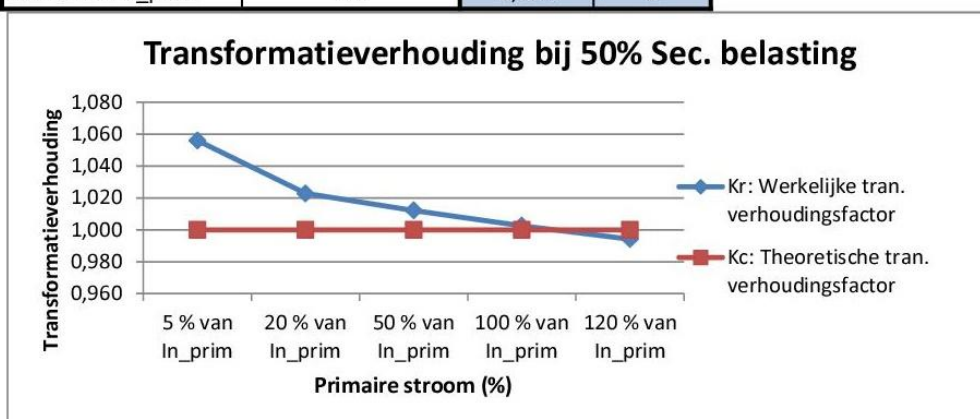
- **Transformatieverhoudingsfactor:**

De werkelijke transformatieverhoudingsfactor (Kr) wijkt bijna niet af t.o.v. de theoretische (Kc).

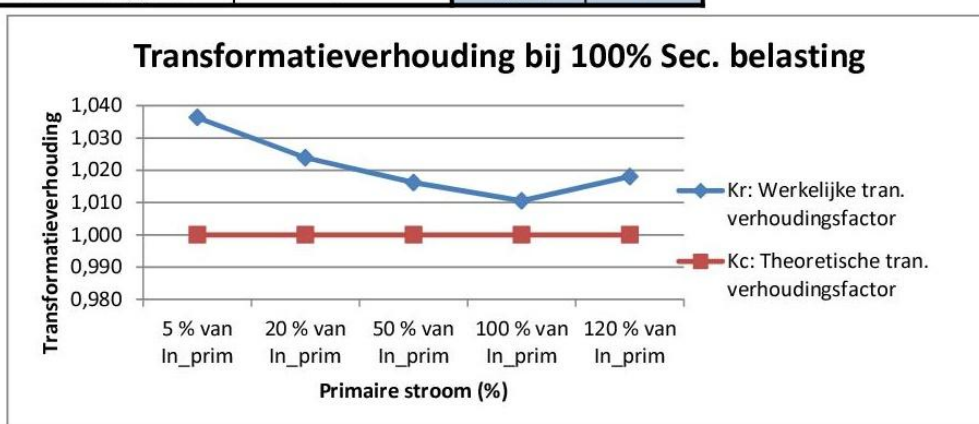
Gegevens CT		
Prim. Stroom	50	A
Extra Prim. windingen	10	windingen
Sec. Stroom	5	A

Kr: Werkelijke tran. verhoudingsfactor  
Kc: Theoretische tran. verhoudingsfactor

50 % van Zsec_nom.* (0,05ohm)			
Bij ... van I_prim**		Kr	Kc
%	A		
5 % van I_n_prim	0,25A	1,056	1
20 % van I_n_prim	1A	1,023	1
50 % van I_n_prim	2,5A	1,012	1
100 % van I_n_prim	5A	1,003	1
120 % van I_n_prim	6A	0,994	1



100 % van Zsec_nom.* (0,1ohm)			
Bij ... van I_prim**		Kr	Kc
%	A		
5 % van I_n_prim	0,25A	1,036	1
20 % van I_n_prim	1A	1,024	1
50 % van I_n_prim	2,5A	1,016	1
100 % van I_n_prim	5A	1,011	1
120 % van I_n_prim	6A	1,018	1



**Figuur 69 Transformatieverhoudingsfactor na secundaire overbelasting**

### 6.3.4.2 Hoekfout

Voor het onderzoek is er gebruik gemaakt van een CT met nauwkeurigheidsklasse 3, waardoor de hoekfouten niet vergeleken kunnen worden met tolerantiewaarden die in de norm IEC 60044-1 zijn gedefinieerd. Dit omdat voor CT's met nauwkeurigheidsklasse 3 geen tolerantiewaarden omtrent de hoekfout in de norm zijn gedefinieerd.

Voor het opmeten van de hoekfout is er gebruik gemaakt van de gemeten powerfactor (PF) via de Voltech power analyzer. Zie ook hoofdstuk "Afwijkingen op meetresultaten" omtrent de meetafwijkingen en beperkingen bij het bepalen van de hoekfout.

Analyse meetresultaten: Hoekfout						
$I_{prim}^{**} = 5A$		100 % van $I_{n_{prim}}$				
Sec. belasting ( $Z_{sec}^*$ ) ohm		Primair		Secundair		Hoekfout
		PF	hoek (°)	PF	hoek (°)	graden (°) minuten (')
50 % van $Z_{sec_{nom}}$	0,05	0,994	6,536	0,877	28,671	22,134 1328,045

$I_{prim}^{**} = 5A$		100 % van $I_{n_{prim}}$				
Sec. belasting ( $Z_{sec}^*$ ) ohm		Primair		Secundair		Hoekfout
		PF	hoek (°)	PF	hoek (°)	graden (°) minuten (')
100 % van $Z_{sec_{nom}}$	0,1	0,994	6,227	0,807	36,197	29,970 1798,203

\*\*  $N_{prim} = 10$

**Figuur 70 Analyse meetresultaten: Hoekfout**

Bepalen van de hoek tussen spanning en stroom via de PF:

$PF = \cos(\varphi)$  (wanneer spanning en stroom perfect sinusvormig zijn)

$$\varphi = \text{bgtg}(PF) * \frac{\pi}{180} \quad (\text{in } ^\circ)$$

$$\text{Hoekfout} = \varphi_1 - \varphi_2$$

De bekomen hoekfouten in Figuur 70 is zeer groot (1328' en 1798') t.o.v. CT's met een nauwkeurigheidsklasse waar de maximale hoekfout wel gedefinieerd is (zie hoofdstuk "Normering").

Harmonischen op het labovoedingsnet zouden de oorzaak kunnen zijn, aangezien niet lineaire belastingen voor harmonische vervormingen zorgen. Dit zijn onder andere spaarlampen, elektronische voorschakelballasten, frequentieregelaars, ... . Deze vervuilers zorgen voor een niet perfecte sinusvormige voeding waardoor er meetfouten optreden tijdens het meten van de PF. De PF wordt extra verslechterd door de THD (total harmonic distortion).

Stel dat de  $\cos(\varphi) = 1$  ( $PF = 1$ ), indien er een THD van 8% op het voedingsnet in het labo aanwezig is, dan zorgt de THD van 8 % voor een PF verslechtering van 0.03775.

$$PF = \frac{\cos(\varphi)}{\sqrt{1 + THD}}$$

**Tabel 18 PF verslechtering door THD**

THD	8%
cos(fi)	1
PF	0,96225
1-PF	0,03775

Er kan eveneens geen analyse gemaakt worden op de hoekfout wanneer de CT secundair overbelast is, aangezien de stromen en spanningen dan niet meer sinusvormig zijn, waardoor er geen verband meer is tussen de power factor en  $\cos(\varphi)$  ( $PF \neq \cos(\varphi)$ ).

*De geraadpleegde bronnen in hoofdstuk "6.3 Nauwkeurigheidsonderzoek naar CT tijdens en na overbelasting van secundaire kring" zijn [54] [52] [53].*



## 6.4 Lastberekeningsapplicatie voor (1-fasig) stroomtransformatoren (CT)

Om eenvoudig de maximale secundaire last of de maximale lengte van de secundaire verbindingsdraad te berekenen van een stroomtransformator (CT), kan men gebruik maken van de Excelapplicatie. Op Figuur 71 en Figuur 72 wordt de lay-out van deze applicatie weergegeven:

Last- en Kabel/draadlengte berekening aan secundaire (1fasige) stroomtransformator (CT) zijde					
Eigenschappen	Vul in			Comment	
<b>Eigenschappen stroomtransformator (CT)</b>					
Vermogen CT (S)	2,5	VA		Zie kenplaat CT	
Kenplaat gegeven sec. stroom CT	5	A		Zie kenplaat CT	
Kenplaat gegeven prim. stroom CT	50	A		Zie kenplaat CT	
Primaire stroom CT	50	A		Effectieve prim. Stroom	
Primaire windingen	1				
<b>Eigenschappen secundaire last</b>					
Gegevens (energie) meter	0,6	VA	5	A	Zie datasheet (energie)meter. Vermogen(S) verbruik per fase bij een opgegeven sec. stroom
Sec. draad doorsnede	2,5		mm <sup>2</sup>		
Soortelijke weerstand sec. draad	Koper		ohm/m	Kabel materiaal eig.	
<b>Max. Toegelaten secundaire last</b>					
Max. sec. spanning	0,50	V			Max. spanning over sec. CT
<b>Zonder (energie) meter</b>					
Max. tot. sec. draad weerstand	0,100	Ohm			Zonder (energie)meter
Max. lengte sec. draad	14,29	m			Zonder (energie)meter
<b>Met (energie) meter</b>					
Max. tot. sec. draad weerstand	0,076	Ohm			Met (energie)meter
Max. lengte sec. draad	10,86	m			Met (energie)meter
Max. afstand tussen meter en CT	5,43	m			Met (energie)meter/ Max. kabel lengte

**Figuur 71 Excelapplicatie: Last- en Kabel/draadlengte berekening aan secundaire (1fasige) stroomtransformator (CT) zijde**

Last- en Kabel/draadlengte berekening aan secundaire (1fasige) stroomtransformator (CT) zijde					
Eigenschappen	Vul in			Comment	
<b>Eigenschappen stroomtransformator (CT)</b>					
Vermogen CT (S)	2,5	VA		Zie kenplaat CT	
Kenplaat gegeven sec. stroom CT	5	A		Zie kenplaat CT	
Kenplaat gegeven prim. stroom CT	50	A		Zie kenplaat CT	
Primaire stroom CT	40	A		Effectieve prim. Stroom	
Primaire windingen	1				
<b>Eigenschappen secundaire last</b>					
Gegevens sec. meter	0,6	VA	5	A	Zie datasheet (energie)meter. Vermogen(S) verbruik per fase bij een opgegeven sec. stroom
Sec. draad doorsnede	2,5		mm <sup>2</sup>		
Soortelijke weerstand sec. draad	Koper		ohm/m	Kabel materiaal eig.	
<b>Maximale Toegelaten secundaire last</b>					
Maximale tot. sec. draad weerstand	0,126	Ohm			Met (energie)meter
Max. lengte sec. draad	18,04	m			Met (energie)meter
Max. afstand tussen meter en CT	9,02	m			Met (energie)meter/ Max. sec. kabel lengte

**Figuur 72 Excelapplicatie: Last- en Kabel/draadlengte berekening aan secundaire (1fasige) stroomtransformator (CT) zijde**



Er zijn twee versies van de lastberekeningsapplicatie. De applicatie op Figuur 71 is de meest uitgebreide. Deze applicatie heeft als extra dat de maximale spanning over de secundaire windingen wordt berekend, en dat de totale secundaire last wordt berekend zonder secundaire aangesloten (energie)meter. Deze extra gegevens zijn handig indien men testen op een CT wilt uitvoeren.

In Figuur 72 worden enkel de noodzakelijke gegevens berekend, dus enkel de relevante gegevens die nodig zijn om een CT te integreren in een installatie. De berekeningen die in de applicatie worden uitgevoerd, zijn de maximale secundaire verbindingsdraadweerstand, maximale lengte van de secundaire verbindingsdraad en de maximale afstand tussen de CT en (energie)meter.

Als voorbeeld zijn in Figuur 71 en Figuur 72 de in te vullen cellen reeds met realistisch gegevens ingevuld. Zoals men kan zien in de applicatie op Figuur 72, moeten de kenplaatgegevens van de te gebruiken CT ingevuld worden, alsook de verwachte maximale stroom die er primair zal vloeien. Deze gegevens zijn noodzakelijk voor een correcte berekening te maken, aangezien de effectieve primaire stroom door de CT in veel gevallen lager ligt dan nominale primaire stroom van de CT. Men kan ook het aantal primaire windingen opgeven.

Om de maximale secundaire draadlengte en weerstand te kunnen berekenen, heeft men ook de verbruiksgegevens van de secundaire (energie)meter, de doorsnede en het materiaal van de gebruikte secundaire verbindingsdraad nodig.

Met al deze gegevens wordt rekening gehouden bij het berekenen van de maximale secundaire verbindingsdraadweerstand, de maximale lengte van de secundaire verbindingsdraad en de maximale afstand tussen de CT en (energie) meter (zie Figuur 72).

Indien in de applicatie de cel "effectief primaire stroom"(zie verder:  $I_{CT-prim-eff}$ ) niet is ingevuld of indien er een negatieve waarde in deze cel is ingevuld, wordt er automatisch voor  $I_{CT-prim-eff}$  "1" genomen. Dit geldt ook voor de cel "extra primaire winding(en)" ( $W_{prim}$ ).

In de berekeningen wordt er geen rekening gehouden met de temperatuurafhankelijkheid van de secundaire verbindingsdraad. Indien er een verbindingsdraad wordt gekozen met een kleine draaddoorsnede zal deze draad opwarmen d.m.v. het Joule-effect. Door de temperatuurstijging zal er een weerstandstijging van de secundaire verbindingsdraad optreden. Het is echter zo dat elke geleider, waar stroom doorvloeit, invloed van het Joule-effect ondervindt. Maar de opwarming door het Joule-effect is groter bij kleine draaddoorsneden.

De berekeningen die in de lastberekeningsapplicatie worden gedaan, worden in volgende hoofdstukken besproken. Hieronder vindt men enkele basisformules die in de applicatie worden toegepast:

$$P_{CT} = R_{sec-load} * I_{CT-sec}^2$$

$$S_{CT} = U_{CT-sec} * I_{CT-sec}$$

$$R_{wire} = \frac{\rho_{wire} * l_{sec-wire}}{A_{wire}}$$

In de berekeningen wordt verondersteld dat zowel de draadweerstand als de interne weerstand van de (energie)meter puur resistief is ( $Z=R$ ). Aangezien de draaddoorsnede (aan de secundaire kant van de CT) niet te groot is, mag de inductieve component van de draad verwaarloosd worden t.o.v. van overheersende resistieve component. De interne weerstand van de (energie)meter kan ook hoofdzakelijk resistief verondersteld worden, aangezien de (elektronische) stroommeting intern uit een kleine weerstand bestaat.

In de berekeningen zal er gebruik gemaakt worden van het actief vermogen (P) i.p.v. het schijnbaar vermogen (S), omdat het niet mogelijk is om schijnbare vermogens met elkaar te vergelijken of op te tellen. Dit komt omdat schijnbare vermogens vectorieel opgeteld moet worden, dus rekening houdend met de faseverschuiving. Maar aangezien de reactieve (Q) componenten verwaarloosbaar klein zijn t.o.v. de actieve componenten, kan men stellen dat het actieve vermogen gelijk is aan het schijnbare vermogen. Voor de correctheid wordt er in de berekeningen het actiefvermogen (P) gebruikt i.p.v. het schijnbare vermogen (S).

### 6.4.1 Maximale secundaire last berekening

De berekening voor de maximale secundaire last ( $R_{sec-load}$ ) wordt verkregen door te straten met het effectief vermogen van de secundaire last ( $P_{sec-load-eff}$ ) gelijk te stellen aan het vermogen van de stroomtransformator ( $P_{CT}$ ), omdat het vermogen dat overeenkomt met de totale secundaire last, niet hoger mag zijn dan het vermogen van de CT.

$$P_{CT} = P_{sec-load-eff}$$



Bij het effectief vermogen van de secundaire last ( $P_{sec-load-eff}$ ) wordt er rekening gehouden met de stroom die er secundair effectief zal vloeien, en niet met de stroom die aangegeven is op het kenplaatje van de CT.

$$P_{CT} = R_{sec-load} * I_{CT-sec-eff}^2 \quad (\text{of } S_{CT})$$



$$R_{sec-load} = \frac{P_{CT}}{I_{CT-sec-eff}^2}$$



$I_{CT-sec-eff}$  herrekenen naar primaire zijde. Rekening houdend met de overzetverhouding ( $\frac{I_{CT-sec}}{I_{CT-prim}}$  of  $\frac{N1}{N2}$ , met  $N1=1$ ) en eventuele extra primaire windingen ( $W_{prim}$ ). De amplitude fout wordt verwaarloosd.

$$R_{sec-load} = \frac{P_{CT}}{\left[ \left( \frac{I_{CT-sec} * W_{prim}}{I_{CT-prim}} \right) * I_{CT-prim-eff} \right]^2}$$

$$R_{sec-load} = \frac{P_{CT}}{\left[ \left( \frac{I_{CT-sec} * W_{prim}}{I_{CT-prim}} \right) * I_{CT-prim-eff} \right]^2}$$

Met bovenstaande formule bekomt men de maximale (totale) last ( $R_{sec-load}$ ) waarmee de CT secundaire mag belast worden zodat de stroomtransformator (CT) niet boven zijn nominale werkingsgebied zal functioneren. Rekening houdend met de stroom die effectief door de primaire winding(en) van de CT zullen vloeien.

## 6.4.2 Maximale secundaire draadweerstand berekening

Het vermogen dat overeenkomt met de totale secundaire last, mag niet hoger worden dan het vermogen van de ( $P_{CT}$ ). Indien een (energie)meter secundair is aangesloten, bestaat de secundaire last uit de (energie)meter zelf en de verbindingsdraad. De (energie)meter en verbindingsdraad kan men uitdrukken in vermogen, deze zijn respectievelijk  $P_{sec-wire}$  en  $P_{sec-meter}$ .

Er zijn twee manieren om de maximale secundaire draadweerstand ( $R_{sec-wire}$ ) te berekenen. Op een eerste manier kan  $R_{sec-wire}$  berekend worden via de "vermogensmethode" en op een tweede manier via de "weerstandsmethode". Beide methodes worden besproken. Er wordt echter maar één methode in de lastberekeningsapplicatie toegepast.

### 6.4.2.1 Vermogensmethode

De berekening naar de maximale secundaire draadweerstand ( $R_{sec-wire}$ ) via de "vermogensmethode" wordt verkregen door te starten met het vermogen van de stroomtransformator ( $P_{CT}$ ) gelijk te stellen aan de som van het vermogen van secundaire verbindingsdraad ( $P_{sec-wire}$ ) en het vermogen van de (energie)meter ( $P_{sec-meter-eff}$ ).

$$P_{CT} = P_{sec-wire} + P_{sec-meter-eff}$$

$$P_{CT} = (R_{sec-wire} * I_{CT-sec-eff}^2) + P_{sec-meter-eff}$$

$$R_{sec-wire} = \frac{P_{CT} - P_{sec-meter-eff}}{I_{CT-sec-eff}^2}$$

De *datasheet* van de gebruikte secundaire (energie) meter geeft enkel het verbruik vermogen van de (energie)meter ( $P_{sec-meter}$ ) bij een bepaalde stroom ( $I_{sec-meter}$ ). De (energie)metergegevens vindt men terug in de *datasheet* van de gekoppelde (energie)meter. Aangezien het verbruiksvermogen van de (energie)meter afhankelijk is van de stroom die er door vloeit, zal er gerekend moeten worden met  $P_{sec-meter-eff}$  i.p.v.  $P_{sec-meter}$ . De omvorming gebeurt via volgende vergelijking:

$$\frac{P_{sec-meter}}{I_{sec-meter}} = \frac{P_{sec-meter-eff}}{I_{sec-meter-eff}}$$

$$R_{sec-wire} = \frac{P_{CT} - \left[ \frac{S_{sec-meter}}{I_{sec-meter}} * I_{CT-sec-eff} \right]}{I_{CT-sec-eff}^2}$$



$$R_{sec-wire} = \frac{P_{CT} - \left[ \frac{S_{sec-meter}}{I_{sec-meter}} * \left[ \left( \frac{I_{CT-sec} * W_{prim}}{I_{CT-prim}} \right) * I_{CT-prim-eff} \right] \right]}{\left[ \left( \frac{I_{CT-sec} * W_{prim}}{I_{CT-prim}} \right) * I_{CT-prim-eff} \right]^2}$$

$$R_{sec-wire} = \frac{P_{CT} - \left[ \frac{S_{sec-meter}}{I_{sec-meter}} * \left[ \left( \frac{I_{CT-sec} * W_{prim}}{I_{CT-prim}} \right) * I_{CT-prim-eff} \right] \right]}{\left[ \left( \frac{I_{CT-sec} * W_{prim}}{I_{CT-prim}} \right) * I_{CT-prim-eff} \right]^2}$$

Met bovenstaande formule bekomt men de maximale secundaire (totale) draadweerstand ( $R_{sec-wire}$ ) die de secundaire verbindingdraad mag hebben zodat de stroomtransformator (CT) niet boven zijn nominale werkingsgebied zal functioneren. Rekening houdend met de stroom die effectief door de primaire winding(en) van de CT zullen vloeien, en met het effectief vermogen van de secundaire (energie)meter ( $P_{sec-meter-eff}$ ).

#### 6.4.2.2 Weerstandsmethode

De berekening naar de maximale secundaire draadweerstand ( $R_{sec-wire}$ ) via de "weerstandsmethode" wordt verkregen door te straten zoals de vermogensmethode. Dit is door het vermogen van de stroomtransformator ( $P_{CT}$ ) gelijk te stellen aan de som van het vermogen van de secundaire verbindingdraad ( $P_{sec-wire}$ ) en het vermogen van de (energie)meter ( $P_{sec-meter}$ ).

Vervolgens worden de vermogens naar de weerstandswaarden herrekend.

$$P_{CT} = P_{sec-wire} + P_{sec-meter}$$



Door gebruik te maken van de wet van Joule kan het vermogen omgezet worden in weerstandswaarden. Aangezien het verbruikvermogen van de componenten afhankelijk is van de stroom die er doorvloeit, zal er gerekend worden met de effectieve secundaire stroom ( $I_{CT-sec-eff}$ ).

$$(R_{sec-load} * I_{CT-sec-eff}^2) = (R_{sec-wire} * I_{CT-sec-eff}^2) + (R_{sec-meter} * I_{CT-sec-eff}^2)$$



De stromen ( $I_{CT-sec-eff}^2$ ) kunnen weggedeeld worden, waardoor er nog maar enkel weerstandswaarden overblijven.

$$R_{sec-load} = R_{sec-wire} + R_{sec-meter}$$

↓  $R_{sec-wire}$  en  $R_{sec-meter}$  onbekende gegevens, wordt via de wet van Joule de waarden omgezet in vermogens en stromen.

$$\frac{P_{CT}}{I_{CT-sec-eff}^2} = R_{sec-wire} + \frac{P_{sec-meter}}{I_{sec-meter}^2}$$

↓ Herrekenen naar maximale secundaire verbindingsdraadweerstand ( $R_{sec-wire}$ ).

$$R_{sec-wire} = \frac{P_{CT}}{I_{CT-sec-eff}^2} - \frac{P_{sec-meter}}{I_{sec-meter}^2}$$

↓ In de *datasheet* van de gebruikte secundaire (energie)meter wordt het verbruiksvermogen van de (energie)meter ( $P_{sec-meter}$ ) bij een bepaalde stroom ( $I_{sec-meter}$ ) gegeven.

$$R_{sec-wire} = \frac{P_{CT}}{\left[ \left( \frac{I_{CT-sec} * W_{prim}}{I_{CT-prim}} \right) * I_{CT-prim-eff} \right]^2} - \frac{P_{sec-meter}}{I_{sec-meter}^2}$$

$$R_{sec-wire} = \frac{P_{CT}}{\left[ \left( \frac{I_{CT-sec} * W_{prim}}{I_{CT-prim}} \right) * I_{CT-prim-eff} \right]^2} - \frac{P_{sec-meter}}{I_{sec-meter}^2}$$

Met bovenstaande formule bekomt men de maximale secundaire (totale) draadweerstand ( $R_{sec-wire}$ ) die de secundaire verbindingsdraad mag hebben zodat de stroomtransformator (CT) niet boven zijn nominale werkingsgebied zal functioneren. Rekening houdend met de stroom die effectief door de primaire winding(en) van de CT zullen vloeien.

### 6.4.2.3 Conclusie max. secundaire draadweerstandberekening methode

Indien men de twee methodes naast elkaar legt (zie Figuur 73), merkt men op dat de er een klein weerstandsverschil tussen de twee methodes optreedt.

Prim. stroom (%)	Rsec_wire met Vermogen methode (Ohm)	Rsec_wire met Weerstand methode (Ohm)	Vershil (%)
100% van I_prim_nom	0,076	0,076	0,00%
80% van I_prim_nom	0,126	0,132	4,55%
60% van I_prim_nom	0,238	0,254	6,30%
40% van I_prim_nom	0,565	0,601	5,99%
20% van I_prim_nom	2,380	2,476	3,88%
10% van I_prim_nom	9,76	9,976	2,17%

**Figuur 73 Verschil tussen vermogen- en weerstand methode**

Er wordt echter maar één methode in de lastberekeningsapplicatie toegepast. De gekozen methode is de "vermogenmethode", omdat deze steeds de kleinste weerstandswaarde bekomt t.o.v. de "weerstandmethode". Een kleinere weerstand betekent ook een kleinere secundaire verbindingdraadlengte, aangezien deze recht evenredig zijn met elkaar (zie wet van Pouillet).

Door de methode met de kleinste weerstandswaarde te kiezen, is er een veiligheid in gebouwd zodat de secundaire verbindingdraad zeker niet te groot zal gekozen worden.

### 6.4.3 Maximale secundaire draadlengteberekening

Nadat er een formule is opgesteld voor de maximale secundaire (totale) draadweerstand ( $R_{sec-wire}$ ) te berekenen (via vermogen methode), is het mogelijk om via de wet van Pouillet een formule op te stellen die de maximale draadlengte ( $l_{sec-wire}$ ) berekent, indien de soortelijke weerstand en doorsnede van de gebruikte secundaire verbindingdraad zijn gekend.

$$\begin{aligned}
 P_{CT} &= P_{sec-wire} + P_{sec-meter-eff} \\
 \downarrow \\
 P_{CT} &= (R_{sec-wire} * I_{CT-sec-eff}^2) + P_{sec-meter-eff} \\
 \downarrow & \quad \text{De wet van Pouillet toepassen.} \\
 P_{CT} &= \left[ \left( \frac{\rho_{sec-wire} * l_{sec-wire}}{A_{sec-wire}} \right) * I_{CT-sec-eff}^2 \right] + P_{sec-meter-eff} \\
 \downarrow \\
 l_{sec-wire} &= (P_{CT} - P_{sec-meter-eff}) * \frac{A_{sec-wire}}{\rho_{sec-wire} * I_{CT-sec-eff}^2} \\
 \downarrow \\
 l_{sec-wire} &= \left[ P_{CT} - \left[ \frac{P_{sec-meter}}{I_{sec-meter}} * \left[ \left( \frac{I_{CT-sec} * W_{prim}}{I_{CT-prim}} \right) * I_{CT-prim-eff} \right] \right] \right] * \frac{A_{sec-wire}}{\rho_{sec-wire} * \left[ \left( \frac{I_{CT-sec} * W_{prim}}{I_{CT-prim}} \right) * I_{CT-prim-eff} \right]^2}
 \end{aligned}$$

$$l_{sec-wire} = \left[ P_{CT} - \left[ \frac{P_{sec-meter}}{I_{sec-meter}} * \left[ \left( \frac{I_{CT-sec} * W_{prim}}{I_{CT-prim}} \right) * I_{CT-prim-eff} \right] \right] \right] * \frac{A_{sec-wire}}{\rho_{sec-wire} * \left[ \left( \frac{I_{CT-sec} * W_{prim}}{I_{CT-prim}} \right) * I_{CT-prim-eff} \right]^2}$$

Met bovenstaande formule bekomt men de maximale secundaire (totale) draadlengte ( $l_{sec-wire}$ ) die de secundaire verbindingdraad mag hebben zodat de stroomtransformator (CT) niet boven zijn nominale werkingsgebied zal functioneren. Rekening houdend met de stroom die effectief door de primaire winding(en) van de CT zullen vloeien en met het effectief vermogen van de secundaire (energie)meter ( $P_{sec-meter-eff}$ ).

#### 6.4.4 Maximale spanning over secundaire windingen

De maximale spanning over de secundaire windingen kan met onderstaande formule worden berekend:

$$P_{CT} = U_{sec-eff} * I_{CT-sec-eff}$$

$$\downarrow$$

$$U_{sec-eff} = \frac{P_{CT}}{I_{CT-sec-eff}}$$

$$U_{sec-eff} = \frac{P_{CT}}{I_{CT-sec-eff}}$$

## 6.4.5 Toegepaste symbolen in de vergelijkingen uit lastberekeningsapplicatie

Hieronder zijn de gebruikte symbolen opgelijst die in de vergelijkingen zijn toegepast:

$P_{CT}$  (of  $S_{CT}$ ): Vermogen CT (VA)

$P_{sec-load}$  (of  $S_{sec-load}$ ): Vermogen sec. last (VA)

$P_{sec-wire}$  (of  $S_{sec-wire}$ ): Vermogen sec. verbindingsdraad (VA)

$R_{sec-load}$ : Maximale secundaire (totale) last ( $\Omega$ )

$R_{sec-wire}$ : Maximale secundaire (totale) draadweerstand ( $\Omega$ )

$R_{sec-meter}$ : weerstand interne (energie) meter

$I_{CT-sec-eff}$ : Effectieve stroom die secundaire zal vloeien (A)

$I_{CT-prim-eff}$ : Effectieve Stroom die primair zal vloeien (A)

$I_{CT-sec}$ : Secundaire stroom op kenplaat CT (A)

$I_{CT-prim}$ : Secundaire stroom op kenplaat CT (A)

$U_{sec}$ : Spanning over secundaire windingen van CT (V)

$W_{prim}$ : Extra primaire winding(en)

$N1$ : Primaire winding, ( $N1=1$ )

$N2$ : Secundaire windingen ( $N2 = \left(\frac{I_{CT-prim}}{I_{CT-sec}}\right) * N1$ )

$\rho_{sec-wire}$ : Soortelijke weerstand van secundaire verbindingsdraad ( $\Omega$  m)

$A_{sec-wire}$ : Draaddoorsnede van secundaire verbindingsdraad ( $\text{mm}^2$ )

$l_{sec-wire}$ : Lengte secundaire verbindingsdraad (m)

Gegevens secundaire aangesloten (energie) meter:

$P_{sec-meter}$  (of  $S_{sec-meter}$ ): Vermogen verbruik sec. aangesloten (energie) meter (VA), dit met een stroom  $I_{sec-meter}$  (zie *datasheet* (energie)meter).

$P_{sec-meter-eff}$  (of  $S_{sec-meter-eff}$ ): Vermogen verbruik sec. aangesloten (energie)meter (VA), rekening houdend met de effectieve sec. stroom ( $I_{sec-meter-eff}$ )



## 6.5 Besluit

De nauwkeurigheid van een meetstroomtransformator (CT) moest onderzocht worden. Tijdens het onderzoek op de CT is er nagegaan of er een nauwkeurigheidsdegradatie optreedt wanneer de secundaire kring van de CT overbelast werd. En vervolgens nagaan of er een nauwkeurigheidsdegradatie optreedt nadat deze CT secundair overbelast is geweest.

In het hoofdstuk "Analyse meetresultaten" zijn al reeds besluiten a.d.h.v. de meetresultaten getrokken. In deze conclusie worden de analyses en besluiten nog eens kort overlopen.

De amplitude fout tijdens de secundaire overbelasting liggen ver buiten de toegelaten amplitude fout volgens de norm IEC 60044-1 (zie Figuur 59 en Figuur 61). Tijdens het onderzoek is er een CT met nauwkeurigheidsklasse 3 toegepast. Hierdoor mag de amplitudefout niet meer dan 3% bedragen (zie hoofdstuk "Normering").

Er zijn geen meetgegevens van de hoekfout tijdens de secundaire overbelasting aangezien de bepaling van de hoekfout via PF-methode enkel mogelijk is wanneer de spanningen en de stromen mooi sinusvormig zijn. De stromen en spanningen zijn echter niet sinusvormige tijdens een secundaire overbelasting waardoor er geen conclusie kan getrokken worden uit de hoekfout tijdens deze secundaire overbelasting.

Nadat de CT sterk secundair overbelast is geweest en nadien terug binnen zijn nominale secundaire belasting is toegepast, bevindt de amplitude fout van de CT zich terug binnen de nauwkeurigheidstolerantie van 3% (volgens de norm IEC 60044-1), zie Figuur 68. De amplitude fout treedt echter buiten de tolerantie van 3% wanneer er een te kleine primaire stroom vloeit ( $\pm 5\%$  van  $I_{CT-prim}$ ). Dus men kiest een CT met een nominale primaire stroom die zo kort mogelijk bij de stroomwaarde ligt die er effectief primair zal doorvloeien.

Voor het onderzoek is er gebruik gemaakt van een CT met nauwkeurigheidsklasse 3, waardoor de hoekfouten niet vergeleken kunnen worden met tolerantiewaarden die in de norm IEC 60044-1 gedefinieerd zijn. Dit omdat voor CT's met nauwkeurigheidsklasse 3 geen tolerantiewaarden omtrent de hoekfout in de norm zijn vastgelegd.

Een CT met nauwkeurigheidsklasse 3 wordt niet aangeraden wanneer men deze wilt toepassen voor metingen die gebruikmaken van de hoek van de stroom, zoals vermogensmetingen (P en Q) en  $\cos(\varphi)$  meting, aangezien de maximale hoekfout voor een CT met nauwkeurigheidsklasse 3 niet is bepaald.

Door harmonischen die een vervorming op het voedingsnet veroorzaken, zijn de sinusvormige spanningen en stromen niet perfect sinusvormig. Dit heeft tot gevolg dat de PF niet meer gelinkt kan worden aan de  $\cos(\varphi)$  ( $PF \neq \cos(\varphi)$ ), waardoor er geen conclusie kan gemaakt worden omtrent de hoekfout. De harmonische zorgt eveneens voor een verslechtering van de PF.

Conclusie: er kan geen besluit getrokken worden omtrent de hoekfout, dit voor zowel tijdens als na de secundaire overbelasting.

Tot slot is er een lastberekeningsapplicatie voor CT's gemaakt. Met deze lastberekeningsapplicatie kan eenvoudig de maximale secundaire last of de maximale verbindingsdraadlengte van een stroomtransformator (CT) berekend worden. Deze lastberekeningsapplicatie is zowel in excel als in Visual Studio gemaakt.

*De geraadpleegde bronnen in Hoofdstuk 6 "Nauwkeurigheidsonderzoek op meetstroomtransformator" en Bijlage D "Elektromagnetisme en transformatoren" zijn [55] [56] [57] [58] [59] [60] [61] [62] [63] [64] [65] [66] [67] [68] [69] [54] [70] [49] [51] [47] [48] [46] [50] [52] [53].*

## **Literatuurlijst**

- [ Siemens Nederland, „Siemens Nederland,” 2013. [Online]. Available:  
1 <http://www.corporate.siemens.nl/nl/siemens-in-nederland/index.htm>. [Geopend  
] november 2013].
- [ Siemens, „Siemens Infrastructure & Cities,” Components for a wind power plant,  
2 2014. [Online]. Available:  
] <http://www.industry.siemens.nl/automation/nl/nl/Energieverdeelsystemen-en-Installatiemateriaal/Product-portfolio/Meetcomponenten/Multimeters/paneelmultimeter/PublishingImages/Alle%20-%20main.jpg>. [Geopend 2014].
- [ Siemens, „Siemens Global Website,” Siemens, 2013. [Online]. Available:  
3 [http://www.siemens.com/about/en/businesses/industry/industry\\_automation.htm](http://www.siemens.com/about/en/businesses/industry/industry_automation.htm).  
] m. [Geopend november 2013].
- [ Vlaams netwerk van ondernemingen, „EnergieEfficientie,” 17 6 2010. [Online].  
4 Available: <http://www.energieefficieit.be/>. [Geopend 14 3 2014].  
]
- [ AG, Siemens, „Wereldbevolking en energieverbruik,” [Online]. Available:  
5 <http://www.siemens-home.be/nl/siemens/energie/wereldbevolking-energieverbruik.html>. [Geopend november 2013].  
]
- [ Siemens, „Siemens Industry Middle East,” Industrial energy management, 2014.  
6 [Online]. Available: <http://w3.siemens.com/topics/mea/en/energy-efficient-production/energy-management-process-production/pages/default.aspx>.  
] [Geopend 2014].
- [ ISO, „ISO,” [Online]. Available: <http://www.iso.org/iso/iso50001>. [Geopend  
7 2014].  
]
- [ dnvba, „ISO 50001 certificering,” [Online]. Available:  
8 <http://www.dnvba.com/nl/Duurzaamheid/Pages/ISO-50001.aspx> . [Geopend  
] 2014].
- [ Amelior, „Amelior.be,” [Online]. Available:  
9 <http://www.amelior.be/ndl/opleidingen/training-open.asp?s=open&t=685&tc=1>.  
] [Geopend 2014].
- [ Siemens, „Siemens Energy efficiency in China,” [Online]. Available:  
1 [http://w1.siemens.com.cn/energy-efficiency\\_en/energy-efficiency.html#Industrial\\_solutions](http://w1.siemens.com.cn/energy-efficiency_en/energy-efficiency.html#Industrial_solutions). [Geopend 2014].  
]
- [ avrv, „ISO 50001,” Improve Energy Performance – Reduce Energy Cost, [Online].  
1 Available: [http://www.avrv.gr/?page\\_tags=iso-50001](http://www.avrv.gr/?page_tags=iso-50001). [Geopend 2014].  
1  
]
- [ Siemens, „Automation Technology,” Energy Management, [Online]. Available:  
1 <http://www.automation.siemens.com/mcms/process-control-systems/en/distributed-control-system-simatic-pcs-7/simatic-pcs-7-add->  
2

] ons/energy-management/Pages/Energy\_Management.aspx. [Geopend 2014].

[ Siemens, „Siemens Industry in Middle East,“ Energy Efficiency, [Online].  
 1 Available: <http://w3.siemens.com/topics/mea/en/energy-efficient-3-production/videos/Pages/energy-efficiency.aspx>.  
 ]

[ B. Gehie, Regisseur, *Energy Management with SIMATIC*. [Film]. Siemens, 2013.  
 1  
 4  
 ]

[ Siemens, „Siemens Automation Technology,“ Simatic ET200SP - system  
 1 overview, 2014. [Online]. Available:  
 5 <http://www.automation.siemens.com/mcms/distributed-io/en/ip20-systems/et-200sp/system-overview/pages/default.aspx>. [Geopend 11 2013].  
 ]

[ Siemens, „support.automation.siemens.com,“ Sentron PAC 7KT1530, [Online].  
 1 Available:  
 6 [http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en](http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objid=7KT1530&caller=view)  
 ] [&objid=7KT1530&caller=view](http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objid=7KT1530&caller=view). [Geopend 2014].

[ Siemens, „Support.automation.siemens.com,“ SENTRON PAC 7KT1540, [Online].  
 1 Available:  
 7 [http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en](http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objid=7KT1540&caller=view)  
 ] [&objid=7KT1540&caller=view](http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objid=7KT1540&caller=view). [Geopend 2014].

[ Siemens, „Siemens Automation Technology,“ Motor management and control  
 1 devices SIMATIC pro, 2014. [Online]. Available:  
 8 [http://www.automation.siemens.com/mcms/industrial-controls/en/control-  
 \] devices-monitoring/motor-management/pages/default.aspx](http://www.automation.siemens.com/mcms/industrial-controls/en/control-devices-monitoring/motor-management/pages/default.aspx). [Geopend 2014].

[ Siemens, „Siemens SIMOCODE Pro,“ [Online]. Available:  
 1 [http://www.industry.siemens.nl/automation/nl/nl/laagspanning/industrieeel-  
 9 schakelmateriaal/bewaken\\_en\\_controleren/motor\\_management\\_SIMOCODE\\_3UF](http://www.industry.siemens.nl/automation/nl/nl/laagspanning/industrieeel-schakelmateriaal/bewaken_en_controleren/motor_management_SIMOCODE_3UF/0/Documents/SIMOCODE_Pro_Brochure_NL_05_2011.pdf)  
 ] [/Documents/SIMOCODE\\_Pro\\_Brochure\\_NL\\_05\\_2011.pdf](http://www.industry.siemens.nl/automation/nl/nl/laagspanning/industrieeel-schakelmateriaal/bewaken_en_controleren/motor_management_SIMOCODE_3UF/0/Documents/SIMOCODE_Pro_Brochure_NL_05_2011.pdf). [Geopend 2014].

[ Siemens, „Youtube,“ SIMOCODE pro for PROFINET, [Online]. Available:  
 2 [http://www.youtube.com/watch?v=h\\_4wcz5bMFg](http://www.youtube.com/watch?v=h_4wcz5bMFg). [Geopend 2014].  
 0  
 ]

[ Siemens, „Measuring and visualizing energy data,“ 2 2014. [Online]. Available:  
 2 [http://cache.automation.siemens.com/dnl/jM/jM0NTA5AAAA\\_86299299\\_Tools/86](http://cache.automation.siemens.com/dnl/jM/jM0NTA5AAAA_86299299_Tools/86299299_E2M_Basic_Knowledge_en.pdf)  
 1 [299299\\_E2M\\_Basic\\_Knowledge\\_en.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/jM/jM0NTA5AAAA_86299299_Tools/86299299_E2M_Basic_Knowledge_en.pdf). [Geopend 2014].  
 ]

[ Siemens, „Siemens Portugal,“ Disjuntores Compactos SENTRON 3VL, [Online].  
 2 Available:  
 2 [https://www.swe.siemens.com/portugal/web\\_nwa/pt/PortalInternet/QuemSomos](https://www.swe.siemens.com/portugal/web_nwa/pt/PortalInternet/QuemSomos/negocios/Industry/BT/LowVoltage/Pages/SENTRONVLWL.aspx)  
 ] [/negocios/Industry/BT/LowVoltage/Pages/SENTRONVLWL.aspx](https://www.swe.siemens.com/portugal/web_nwa/pt/PortalInternet/QuemSomos/negocios/Industry/BT/LowVoltage/Pages/SENTRONVLWL.aspx). [Geopend 2014].

[ Siemens, „Siemens Global website,“ [Online]. Available:  
 2 [http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2014/i](http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2014/infrastructure-cities/low-medium-voltage/iclmv20140201.htm)  
 3 [nfrastructure-cities/low-medium-voltage/iclmv20140201.htm](http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2014/infrastructure-cities/low-medium-voltage/iclmv20140201.htm). [Geopend 2014].

]

[ Siemens, „Motion Control Drives,” 2011. [Online]. Available:  
2 [http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data\\_files/katalogy/d31/cat\\_d-](http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/katalogy/d31/cat_d-431_2012_de.pdf)  
4 [31\\_2012\\_de.pdf](http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/katalogy/d31/cat_d-431_2012_de.pdf). [Geopend 2014].

]

[ European Commission, „Enterprise and Industry,” 2013. [Online]. Available:  
2 [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/harmonised-](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/harmonised-5standards/measuring-instruments/index_en.htm)  
5 [standards/measuring-instruments/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/harmonised-5standards/measuring-instruments/index_en.htm). [Geopend 2014].

]

[ Europees Parlement, „Mededeling van de Commissie in het kader van de  
2 uitvoering van Richtlijn 2004/22/EG,” [Online]. Available: [http://eur-](http://eur-6lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2008:047:0021:0021:NL:PDF)  
6 [lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2008:047:0021:0021:NL:PDF](http://eur-6lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2008:047:0021:0021:NL:PDF).

]

[ VREG, „VREG,” FAQ –METROLOGIE ELEKTRICITEITSMETER, [Online]. Available:  
2 [http://www.vreg.be/sites/default/files/uploads/faq\\_-](http://www.vreg.be/sites/default/files/uploads/faq_-_7metrologie_elektriciteitsmeters.pdf)  
7 [\\_metrologie\\_elektriciteitsmeters.pdf](http://www.vreg.be/sites/default/files/uploads/faq_-_7metrologie_elektriciteitsmeters.pdf). [Geopend 2014].

]

[ N. Kluwen en M. Hovens, Metingen en thermografie, Elektrotechnische inspecties  
2 en onderzoeken, Johan Schot, 2011, p. H2 p56.

8

]

[ IEC, „ELECTRICITY METERING EQUIPMENT (AC) – ACCEPTANCE INSPECTION,”  
2 [Online]. Available: <http://www.teknikengel.gov.tr/docs/GTBTN-SAU-270-EN.pdf>.  
9 [Geopend 2014].

]

[ ForTop, „ForTop Automation & Energy control,” [Online]. Available:  
3 <http://www.4top.nl/oplossingen/energietechniek/meetnauwkeurigheid>. [Geopend  
0 2014].

]

[ IEC, „Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements –,” [Online].  
3 Available: [http://webstore.iec.ch/preview/info\\_iec62053-](http://webstore.iec.ch/preview/info_iec62053-122%7Bed1.0%7Den_d.pdf)  
1 [22%7Bed1.0%7Den\\_d.pdf](http://webstore.iec.ch/preview/info_iec62053-122%7Bed1.0%7Den_d.pdf).

]

[ EUROPEES PARLEMENT, „RICHTLIJN 2004/22/EG (betreffende  
3 meetinstrumenten),” 2004. [Online]. Available: [http://eur-](http://eur-2lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:135:0001:0080:NL:PDF)  
2 [lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:135:0001:0080:NL:PDF](http://eur-2lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:135:0001:0080:NL:PDF).  
] [Geopend 2014].

[ Siemens, „Siemens Global Website,” Energy management with SIMATIC,  
3 [Online]. Available:

3 [http://www.automation.siemens.com/mcms/topics/en/simatic/energy-](http://www.automation.siemens.com/mcms/topics/en/simatic/energy-management-with-simatic/pages/default.aspx)  
] [management-with-simatic/pages/default.aspx](http://www.automation.siemens.com/mcms/topics/en/simatic/energy-management-with-simatic/pages/default.aspx). [Geopend 2014].

[ Siemens, „Siemens Industry Services,” The next generation of energy  
3 management, [Online]. Available:

4 [http://www.industry.siemens.com/services/global/en/portfolio/energy\\_environme](http://www.industry.siemens.com/services/global/en/portfolio/energy_environment)

] ntal\_service/energy-analytics/Pages/index.aspx. [Geopend 2014].

[ windkraft-journal, „windkraft-journal,“ [Online]. Available: <http://www.windkraft-journal.de/2011/11/16/siemens-energiemanagementsystem/>. [Geopend 2014].

5

] [ Siemens, „Siemens Automation Technology,“ Features, [Online]. Available: <http://www.automation.siemens.com/mcms/process-control-systems/en/distributed-control-system-simatic-pcs-7/simatic-pcs-7-add-ons/energy-management/pages/features.aspx>. [Geopend 2014].

[ Siemens, „Siemens support: Measuring and Visualizing Energy Data,“ E2M, 27 2 3 2014. [Online]. Available: <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&objId=86299299&nodeid4=20229806&load=content&lang=en&siteid=cseus&aktprim=4&objaction=csview&extranet=standard&viewreg=WW>. [Geopend 2014].

[ Siemens AG, „Info over ET200-systemen,“ 2012. [Online]. Available: [http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/en/brochure\\_simatic-et200\\_en.pdf](http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/en/brochure_simatic-et200_en.pdf). [Geopend 2013].

] [ Siemens Industry, „Info over ET200SP,“ Siemens, 02 februari 2012. [Online]. Available: <http://www.industry.siemens.nl/automation/nl/nl/industriële-automatisering/industrial-automation/decentrale-io-simatic-et200/decentrale-io-voor-in-een-schakelkast/et-200sp/PublishingImages/simatic-et200sp-sytem-800%20groot.jpg>. [Geopend 2013].

[ Siemens, „Documentation Manager,“ SIMATIC ET 200SP Analog input module AI 4 Energy Meter ST (6ES7134-6PA00-0BD0), 4 2013. [Online]. Available: <http://www.automation.siemens.com/mdm/default.aspx?Language=en&ShowMsg=false&DocVersionId=53592730507&GuiLanguage=en&cssearchengine=NEW>. [Geopend 2014].

[ Siemens AG, „Info over ET200SP modules,“ Siemens, 2012. [Online]. Available: <http://www.industry.siemens.nl/automation/nl/nl/industriële-automatisering/industrial-automation/decentrale-io-simatic-et200/decentrale-io-voor-in-een-schakelkast/et-200sp/Documents/e20001-a160-p240-x-7600.pdf>. [Geopend 2013].

[ Siemens, „Siemens Automation Technology,“ [Online]. Available: <http://www.automation.siemens.com/mcms/distributed-io/en/ip20-systems/et-200sp/peripheral-modules/tabcards/pages/analog-io-modules.aspx#>. [Geopend 2014].

[ Siemens, „support.automation.siemens,“ ET 200SP AI ENERGY METER ST, 4 [Online]. Available: <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objid=6ES7134-6PA00-0BD0&caller=view>. [Geopend 2014].

[ Siemens, „Siemens Measuring and Visualizing energy data,“ 2 2014. [Online]. Available: [http://cache.automation.siemens.com/dnl/jE/jEyOTQxNQAA\\_86299299\\_Tools/86](http://cache.automation.siemens.com/dnl/jE/jEyOTQxNQAA_86299299_Tools/86)

- ] 299299\_E2M\_PLC\_Programming\_en.pdf. [Geopend 2014].
- [ Siemens, „ET 200SP distributed I/O system,” [Online]. Available:  
4 [http://public.eandm.com/Public\\_Docs/et200sp\\_system\\_manual\\_en-US\\_en-](http://public.eandm.com/Public_Docs/et200sp_system_manual_en-US_en-5)  
5 US.pdf. [Geopend 2014].
- ]
- [ FBO, [Online]. Available: <http://www.freepatentsonline.com/6617839.html>.  
4 [Geopend 2014].
- 6
- ]
- [ Meettechniek.info, „Meettechniek.info,” Stroomtransformatoren, [Online].  
4 Available: <http://meettechniek.info/instrumenten/stroomtrafo.html>. [Geopend  
7 2014].
- ]
- [ wetenschap.infonu, „Transformatoren, de stroomtransformator,” 12 2011.  
4 [Online]. Available: [http://wetenschap.infonu.nl/techniek/89072-](http://wetenschap.infonu.nl/techniek/89072-8)  
8 transformatoren-de-stroomtransformator.html. [Geopend 2014].
- ]
- [ Sieflo Brasil - UFSCar - Dep. de Engenharia de Materiais, „Materials Research,”  
4 12 2012. [Online]. Available:  
9 [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392012000500020)  
] 14392012000500020. [Geopend 2014].
- [ Internet Archive, „IEC 60044-1: Instrument Transformers, Part 1: Current  
5 Transformers (2003),” [Online]. Available:  
0 <https://archive.org/details/gov.in.is.iec.60044.1.2003>. [Geopend 2014].
- ]
- [ Prof. D. Kastha - Indian institute of technology Kharagpur - Dep. of electrical  
5 Engineering, „Youtube: Mod-01 Lec-20 Lecture-20-Potential and Current  
1 Transformers,” 2012. [Online]. Available:  
] <http://www.youtube.com/watch?v=hheFiTk6dMk>. [Geopend 2014].
- [ Alibaba.com, „Besternasia Electronics Limited,” [Online]. Available:  
5 [http://bestern-asia.en.alibaba.com/product/374117774-](http://bestern-asia.en.alibaba.com/product/374117774-211994184/Voltech_PM6000_Multi_Phase_Power_Analyzer.html)  
2 211994184/Voltech\_PM6000\_Multi\_Phase\_Power\_Analyzer.html. [Geopend  
] 2014].
- [ Direct industry, „Voltech,” [Online]. Available:  
5 [http://www.directindustry.com/prod/voltech/digital-power-analyzers-111929-](http://www.directindustry.com/prod/voltech/digital-power-analyzers-111929-31055125.html)  
3 1055125.html. [Geopend 2014].
- ]
- [ C. Joël, *Eénfasige transformatoren*, Diepenbeek, Limburg: KHLim.  
5  
4  
]
- [ Deboeck, „Elektromagnetisme,” [Online]. Available:  
5 <http://secundair.deboeck.com/resource/extra/9789045519425/02.pdf>. [Geopend  
5 2014].

]

[ E. Gernaat, „Magnetische toepassingen in de motorvoertuigetechniek,” [Online].  
5 Available:

6 [http://www.timloto.org/download/pdf\\_lesbrieven/deltapress/magnetisme/magn-](http://www.timloto.org/download/pdf_lesbrieven/deltapress/magnetisme/magn-)  
] [hoofdstk1.pdf](http://www.timloto.org/download/pdf_lesbrieven/deltapress/magnetisme/magn-hoofdstk1.pdf). [Geopend 2014].

[ M. Huijbregtse, J. van der Schee en J. Frederik, „natuurkunde.nl,” [Online].

5 Available: <http://www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=941281>.

7 [Geopend 2014].

]

[ W. D. PILLA, „Electrotech-City,” 2000, [Online]. Available:

5 <http://people.zeelandnet.nl/cantalou/ferronl.html>. [Geopend 2014].

8

]

[ chem.kuleuven, „Prof atoom,” [Online]. Available:

5 <http://www.chem.kuleuven.be/profatoom/In/inleiding.htm>. [Geopend 2014].

9

]

[ Wikimedia Commons, [Online]. Available:

6 <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dominios.png>. [Geopend 2014].

0

]

[ D. Wenk, „Knutselen met elektrodynamica,” [Online]. Available:

6 [http://telescript.denayer.wenk.be/2010-11/m1/public\\_html/spoel.shtml](http://telescript.denayer.wenk.be/2010-11/m1/public_html/spoel.shtml).

1 [Geopend 2014].

]

[ P. d. G. V. D. Berge, K. Van Heuverswijn en K. Verdegem, „Vakoverschrijdend  
6 Practicum: HYSTERESIS,” Universiteit Gent Faculteit Toegepaste Wetenschappen,  
2 1 12 2004. [Online]. Available: <http://users.skynet.be/kennyvh/ftw/HYS-nr1-01->  
] [12-2004.pdf](http://users.skynet.be/kennyvh/ftw/HYS-nr1-01-12-2004.pdf). [Geopend 2014].

[ KHLim dep. IWT, „Magnetisme,” [Online]. Available:

6 <http://educyclopedia.karadimov.info/library/magnetis.pdf>. [Geopend 2014].

3

]

[ meettechniek.info, „Meettechniek.info,” [Online]. Available:

6 <http://meettechniek.info/passief/magnetische-hysteres.html>. [Geopend 2014].

4

]

[ homofaciens, „technics-ferromagnetic-materials,” [Online]. Available:

6 [http://www.homofaciens.de/technics-ferromagnetic-materials\\_ge\\_navion.htm](http://www.homofaciens.de/technics-ferromagnetic-materials_ge_navion.htm).

5 [Geopend 2014].

]

[ M. Leensen, „Youtube: Inductie en de wet van Lenz,” 2013. [Online]. Available:

6 <http://www.youtube.com/watch?v=ZtLz3qTgNnI>. [Geopend 2014].

6



]

[ R. v. Bakel, „Youtube: Transformator - Elektriciteit Vervoeren,” 2013. [Online].  
6 Available: <http://www.youtube.com/watch?v=GzDsoMhinwM>. [Geopend 2014].

7

]

[ J. W. E. (4BETA), „Youtube: Magnetisme - Hoe maakt een spoel van een  
6 magneetveld een spanning,” 2012. [Online]. Available:  
8 <http://www.youtube.com/watch?v=CeixDRUulrI>. [Geopend 2014].

]

[ „Transformatoren,” [Online]. Available:

6 [http://www.tisj.com/ian.claesen/index/frame%20rechts/Cursus/Elektriciteit/trans  
9 formator/theorie.pdf](http://www.tisj.com/ian.claesen/index/frame%20rechts/Cursus/Elektriciteit/transformator/theorie.pdf). [Geopend 2014].

]

[ G. Van Heerswijngheles en F. Rubben, „De éénfasige transformator,” 2010.

7 [Online]. Available:

0 [http://rubben.weebly.com/uploads/8/7/2/3/8723959/h03\\_transformator\\_1f.pdf](http://rubben.weebly.com/uploads/8/7/2/3/8723959/h03_transformator_1f.pdf).

] [Geopend 2014].

[ Siemens, „Siemens support,” ET 200SP AI ENERGY METER ST, [Online].

7 Available:

1 [http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en  
\] &objid=6ES7134-6PA00-0BD0&caller=view](http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en). [Geopend 2014].

[ Siemens, „Siemens support,” WINDOW-TYPE TRANSF. CL3 50A/5A, 2.5VA ,

7 [Online]. Available:

2 [http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en  
\] &objid=4NC5112-2BC20&caller=view](http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en). [Geopend 2014].



# **Bijlage**

De bijlagen vindt men terug op de cd-rom die zich achteraan in de thesis bevindt.

<b>BIJLAGE A</b>	<b><u>ISO 50001 BLOKSCHEMA</u></b>	<b>7</b>
<b>BIJLAGE B</b>	<b><u>ENERGIEMEETAPPARATUUR MET COMMUNICATIEFUNCTIE</u></b>	<b>9</b>
B.1	Apparatuur met als primaire functie meten	9
B.1.1	SIMATIC	9
B.1.2	SETRON PAC	10
B.2	Apparatuur met als primaire functie aansturen, beveiligen of controleren	11
B.2.1	SIMOCODE (Motor Management Systems)	11
B.2.2	SETRON vermogensschakelaars	14
B.2.3	SINAMICS, SIMOTION, SINUMERIK en SIMATIC (Frequentie omvormers en controle-eenheden)	15
<b>BIJLAGE C</b>	<b><u>RICHTLIJNEN EN NORMEN</u></b>	<b>17</b>
C.1	Richtlijn meetinstrumenten (2004/22/EG)	17
C.1.1	Normen i.v.m. de richtlijn 2004/22/EG	18
C.1.2	Veilige metingen uitvoeren	19
C.1.3	Normering meetnauwkeurigheid	20
<b>BIJLAGE D</b>	<b><u>ELEKTROMAGNETISME EN TRANSFORMATOREN</u></b>	<b>23</b>
D.1	Basis van elektromagnetisme	23
D.1.1	Magnetisch veld rond een rechte stroomvoerende geleider	23
D.1.2	Magnetisch veld rond een winding	23
D.1.3	Magnetisch veld rond een spoel	24
D.1.4	Magnetisatiekromme	28
D.1.5	Magnetische hysteresislus	33
D.1.6	Kwaliteit van het magnetisch materiaal	36
D.2	Energieomzetting in transformatoren	38
D.2.1	Transformatorverliezen	40
<b>BIJLAGE E</b>	<b><u>OVERZICHT SIEMENS MEETPRODUCTEN</u></b>	<b>45</b>
<b>BIJLAGE F</b>	<b><u>SIEMENS ET200SP ENERGY METER</u></b>	<b>47</b>
<b>BIJLAGE G</b>	<b><u>SIEMENS MEETSTROOMTRANSFORMATOR</u></b>	<b>51</b>
<b>BIJLAGE H</b>	<b><u>MEETRESULTATEN NAUWKEURIGHEIDSONDERZOEK</u></b>	<b>53</b>
H.1	Hoek fout bepaling via oscilloscoop	53
H.2	Niet sinusoidale spanningen en stromen	54
H.3	Meetresultaten tijdens secundaire overbelasting	55
H.4	Meetresultaten na secundaire overbelasting	64
	<b><u>LITERATUURLIJST</u></b>	<b>66</b>

## Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

**Integratie van een energiemeter, visualisatie van energiedata en onderzoek naar overbelasting van meetstroomtransformatoren**

Richting: **master in de industriële wetenschappen: energie-elektrotechniek**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Jacobs, Tom**

**Waegeneers, Ward**

Datum: **6/06/2014**