

KARAKTERISATIE VAN EEN DIGITALE MULTIMETER.

AC meten in het DC-bereik.

Jeroen Blommaert
09071067
Versie 05-06-15

Samenvatting

Dit empirisch onderzoek richt zich op het karakteriseren van een bepaald type multimeter, de AGILENT/HP3458A. Deze multimeter is tot op heden niet overtroffen in zijn nauwkeurigheid en kan onder andere wisselspanning (AC) en gelijkspanning (DC) meten. Het meten in het DC-bereik kan een factor 100 beter dan het meten in AC-bereik en er is onderzocht of het meten van AC in het DC-bereik nauwkeuriger kan met behulp van een eerder ontwikkeld algoritme. Het doel is om uit te zoeken of de AC-overdracht ten opzichte van de DC-overdracht (de zogenoemde AC/DC-fout) binnen dit DC-bereik te voorspellen is door een 'simpele' DC-kalibratie te doen.

Dit is gedaan door het gedrag te onderzoeken bij zowel DC, als AC en vervolgens AC/DC. Deze laatste wordt bepaald door twee multimeters van hetzelfde model te gebruiken. Eén multimeter is de Device Under Test (DUT) en de ander is de referentie (REF). De REF is aangesloten op een AC/DC-Transfer Standard waar de afwijking van bekend is. Door de afwijking van de REF af te trekken van de afwijking van de DUT wordt de relatieve AC/DC-fout van de DUT bepaald.

Er is voornamelijk gemeten met signaalfrequenties van 53 en 60 Hz en verschillende samplingfrequenties binnen het bereik van de multimeter. Daarnaast zijn nog enkele andere parameters van belang, bijvoorbeeld de apertuurtijd (tijd dat signaal gemeten wordt) en de deadtijd (tijd dat er niet aan het signaal gemeten wordt).

Bij het meten van DC en het meten van AC is gebleken dat apertuurtijden (in μs) op het interval (10,500) het meest interessant zijn om naar te kijken. Bij AC ontstaat bij 100 μs een significant verschil in de afwijking. Dit geldt voor zowel 53 Hz als 60 Hz. De apertuurtijd met de minste variatie in afwijking ligt rond de 200 μs bij diverse deadtijden.

Uit de resultaten blijkt dat de instellingen ACAL en AZERO wel degelijk van invloed kunnen zijn op de metingen. ACAL zorgt voor een iets lagere standaarddeviatie bij de multimeter die als referentie wordt gebruikt. AZERO ON begrenst de samplingfrequentie, maar deze instelling maakt de meting ook nauwkeuriger. Een nadeel hiervan is dat dit twee keer zoveel tijd kost dan meten met AZERO OFF, waarbij het meetbereik minder begrensd is dan AZERO ON.

Het vergroten van het aantal samples bij dezelfde samplingfrequentie resulteert in een verlaging van de standaarddeviatie en dus wordt er nauwkeuriger gemeten. Wanneer ingesteld is dat een enkele meting één seconde duurt, geldt dit effect tot ongeveer drie keer zoveel samples. Bij vier en vijf keer het aantal samples blijft de standaarddeviatie ongeveer gelijk aan die van drie seconden meten. Een groot nadeel hiervan is dat de tijdsduur van de meting evenredig zo groot wordt. Dit geldt ook voor het meten met de accu als voeding voor de AC/DC-Transfer Standard en voor het elektriciteitsnet als voeding.

De afwijking lijkt bij een apertuurtijd van 200 μs en 250 μs deadtijd ongeveer 20 $\mu\text{V/V}$ te liggen voor signaalfrequenties van 40 Hz tot 550 Hz. Het is dus mogelijk om de AC/DC-fout te voorspellen door een 'simpele' DC-kalibratie uit te voeren, met bepaalde waarden van de onderzochte parameters. Dit gedrag is per multimeter verschillend en dus apparaatspecifiek.

Colofon

Onderwijsinstelling

Onderwijsinstelling : Haagse Hogeschool
Opleiding : Elektrotechniek

Adres : Rotterdamseweg 137
: 2628 AL Delft
Telefoon : 015-2606200

Afstudeercoördinator : ing. P.M. Witte
Telefoon : 015-2606307
E-mailadres : p.m.witte@hhs.nl

Begeleidende docent : ir. M. Can
Telefoon : 015-2606200
E-mailadres : m.can@hhs.nl



Opdrachtgever

Afstudeerbedrijf : VSL
: Afdeling Kalibratie & Referentiematerialen
Adres : Thijsseweg 11
: 2629 JA Delft
Telefoon : 015-2691500

Bedrijfsmentor : E. Houtzager
Telefoon : 015-2691685
E-mailadres : ehoutzager@vsl.nl



Student

Naam : Jeroen Blommaert
Adres : Belgiëlaan 125
: 2711 BR Zoetermeer
Telefoon : 06-43281619
E-mailadres : 09071067@student.hhs.nl

Figurenlijst

Figuur 1. Toelichting van de AC/DC-fout.	7
Figuur 2. Opbouw van één sample.	9
Figuur 3. Schematische opbouw van de modi ACV en DCV.	9
Figuur 4. Manieren van meten in DCV-modus. ^[2]	10
Figuur 5. Principe sub-sampling. ^[5]	10
Figuur 6. Schema multimeter afhandelen triggers. ^[2]	11
Figuur 7. Schema AC/DC-transfer.	13
Figuur 8. Instellingen van instrumenten in Labview.	14
Figuur 9. Uitvoeren van een meting.	14
Figuur 10. Opstelling voor het meten van DC.	15
Figuur 11. Schematische opstelling DC en AC.	15
Figuur 12. Opstelling voor meten van AC.	15
Figuur 13. Opstelling voor meten van AC/DC.	15
Figuur 14. Schematische opstelling ACDC.	15

Inhoudsopgave

Inleiding	7
Onderzoeksvragen.....	8
Theoretische achtergrond	9
Introductie.....	9
Informatie over multimeter	9
Opbouw sample.....	9
ACV en DCV: Twee diverse modi.....	9
Analog-to-Digital-Converter (ADC)	10
Timing.....	11
Instellingen - AZERO	11
Instellingen – ACAL	12
Onderzoek/Methode.....	13
Materialen.....	13
Beschrijving instrumenten.....	13
Beschrijving software	13
Rstudio	13
Labview.....	14
Meetopstelling	15
Meetprocedure	16
Het meten van DC	16
Het meten van AC	16
Het meten van AC/DC	16
Resultaten.....	19
DC.....	19
AZERO OFF	19
AZERO ON.....	21
AC.....	22
ACDC	24
ACAL	24
Meten met diverse signaalfrequenties	26
Aanvullend onderzoek	27
Meten op accu Fluke 792A.....	27
Langer meten aan signaal	28
Langer meten op accu Fluke 792A.....	29
Gedrag apparaatspecifiek?.....	29
Conclusie.....	30

Symbolenlijst en afkortingen	31
Referenties	32
Bijlagen	33
Bijlage 1 – Meetrapporten	33
1.1 Onderzoeken van het volledige bereik van de multimeter	33
1.2 DC-meting	35
1.3 Invloed instelling AZERO ON/OFF bepalen	38
1.4 AC-meting	41
1.5 Invloed instelling ACAL bepalen	44
1.6 AC/DC-meting	47
1.7 Langer meten aan signaal	49

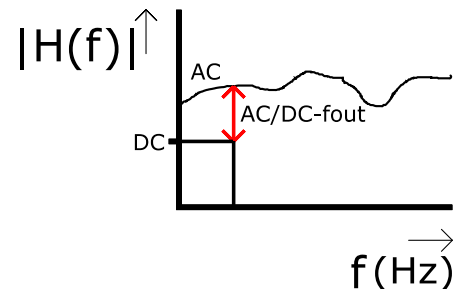
Inleiding

In de metrologie is herleidbaarheid van groot belang. Met herleidbaarheid wordt hier bedoeld dat meetresultaten terug geleid kunnen worden naar primaire standaarden (het SI-stelsel). Hieruit volgt een bepaald zekerheidsinterval. Want twee metingen met identieke opzet geven (bijna) nooit hetzelfde resultaat. De metrologie wordt ook wel ‘de kunst van het meten’ genoemd. “Hoe zeker weet je of datgene wat je meet, ook daadwerkelijk zo is?”. Dit is één van de vragen die VSL regelmatig stelt.

Van Swinden Laboratorium (VSL) is het metrologisch instituut van Nederland en beheert en ontwikkelt de nationale meetstandaarden^[1]. Voor het bewaken van de kwaliteit hiervan wordt eens in 2 jaar een audit verricht. Dit wordt gedaan voor het onderhouden van de Raad Van Accreditatie (RVA) erkenning voor het verrichten van metingen onder de ISO017025. Voor deze accreditatie moeten zij onder andere aangeven hoe nauwkeurig zij iets kunnen meten en met welke meetonzekerheid. Voor het meten van AC ligt deze waarde momenteel rond de 100 $\mu\text{V/V}$, maar VSL wil dit graag verlagen tot enkele $\mu\text{V/V}$ en dit ook kunnen bewijzen.

De metingen worden gedaan met een digitale multimeter. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de AGILENT/HP3458A (voortaan: multimeter). Deze multimeter is sinds de introductie in 1989 niet overtroffen in zijn nauwkeurigheid. Er kan onder andere zowel gelijkspanning (DC) als wisselspanning (AC) mee gemeten worden maar ook vele andere elektrische grootheden. Voor het meten van spanning zijn twee verschillende modi, de ACV-modus en de DCV-modus. De laatstgenoemde is het meest nauwkeurig, deze kan tot 10 nV meten waar ACV tot 1 μV meet in hetzelfde bereik van 1 V.

Door het meten van AC in de DCV-modus kan deze waarde nauwkeuriger gemeten worden. Door zowel rechtstreeks als via een AC/DC omzetter te meten aan dezelfde bron (dus parallel) kan de afwijking tussen AC en DC bepaald worden: de zogenoemde ‘AC/DC-fout’. Zie ook Figuur 1. De gebruikte AC/DC omzetter zorgt in deze opstelling voor een referentiewaarde waarmee de fout bepaald kan worden. Deze AC/DC omzetter maakt gebruik van een thermospanning waardoor uit het gedissipeerde vermogen een zeer accurate gelijkspanning af te leiden valt. Hier volgt later meer over.



Figuur 1. Toelichting van de AC/DC-fout.

Aan de hand van deze opstelling kunnen nieuwe vragen worden gesteld, zoals: Zit er verschil in de resultaten tussen meerdere multimeters van hetzelfde type? Kunnen sommige instellingen van de multimeter van invloed zijn op de resultaten en hoe oefenen ze die invloed uit? Een overzicht van de vragen die behandeld zullen worden in dit onderzoek zijn uiteengezet in het hoofdstuk “Onderzoeksvragen”.

Dit document is opgebouwd als een meetrapport. Allereerst zal de hoofdvraag gesteld worden gevolgd door een aantal deelvragen. Vervolgens wordt de theorie, de instrumenten en de software beschreven.

De te gebruiken materialen en de meetopstellingen worden weergegeven in het hoofdstuk “Onderzoek/methode”. Hierop volgt de manier van meten waarin per onderdeel wordt beschreven hoe tot de resultaten wordt gekomen.

Bij “Resultaten” worden per onderdeel de meest belangrijke en opvallende resultaten getoond en kort toegelicht. Voor gedetailleerde resultaten wordt waar nodig verwezen naar de bijlagen. Uit de resultaten komen conclusies die samengevat worden in het hoofdstuk ‘Conclusie’.

Afsluitend in dit document vindt men een symbolenlijst, een lijst met referenties en de bijlagen.

Onderzoeksvragen

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt als volgt:

Is het mogelijk om de afwijking (de fout) van het AC-gedrag van het DC sampling bereik te voorspellen door een 'simpele' DC kalibratie te doen?

Om deze vraag te kunnen beantwoorden, moet eerst gekeken worden naar het gedrag van de multimeter bij zowel DC als AC. Hier volgen onderstaande drie vragen uit:

Hoe gedraagt de multimeter zich bij het meten van DC in DCV-modus?

Hoe gedraagt de multimeter zich bij het meten van AC in DCV-modus?

Wat is het verschil in resultaten bij het meten van AC en DC in DCV-modus?

De multimeter wordt door VSL gebruikt bij verschillende meetopstellingen (Powerquality, hoogspanning) en daarbij wordt gemeten met diverse signaal- en samplingfrequenties. Tijdens het uitvoeren van onderzoek naar aanleiding van bovengenoemde vragen zal ook onderzoek plaatsvinden naar een aantal diverse parameters, waaronder de samplingfrequentie f_s . Hierbij wordt het volgende afgevraagd:

Welk gebied van het bereik van de multimeter is interessant om te onderzoeken? En waarom?

Hieruit volgen waarden voor de aperturetijd (T_{aper}) en de samplingfrequenties (f_s) en dus de deadtijd T_{dead} . Van daaruit kunnen de eerdere vragen beantwoord worden.

De multimeter heeft nog twee andere instellingen (naast T_{aper} , T_{dead} en f_s) die van invloed kunnen zijn op resultaten en dus onderzocht moeten worden, namelijk de instellingen:

- AZERO ON/OFF
- ACAL

Na het bepalen van deze instellingen kan worden gekeken naar de afwijking die in de hoofdvraag beschreven is, de zogenoemde AC/DC-fout. Aanvankelijk zullen de AC/DC-metingen met een signaalfrequentie van 53 Hz en 60 Hz zijn. Daarna zal worden gekeken naar het gedrag van de multimeter bij hogere signaalfrequenties.

Zodra al het bovenstaande onderzocht is, kan men zich afvragen of het gedrag van deze multimeter apparaatspecifiek is of dat ditzelfde gedrag bij meerdere multimeters van hetzelfde type terug te zien is. En of deze dan ook op dezelfde wijze gekarakteriseerd kunnen worden.

Theoretische achtergrond

Introductie

In dit hoofdstuk zal het een en ander worden toegelicht met betrekking tot algemene informatie over samplen en enkele eigenschappen en instellingen van de multimeter.

Samplen is het bemonsteren van een signaal. Door dit bemonsteren te doen op vaste tijdstippen gedurende een bepaalde periode kan het oorspronkelijke signaal gereconstrueerd worden in de vorm van een tijd-discreet signaal. Het bemonsteren gebeurt dus met een bepaalde frequentie, de samplingfrequentie f_s . In formulevorm:

$$f_s = \frac{\text{Aantal samples}}{\text{seconde}} \quad (1)$$

Wanneer men een signaal wil reconstrueren, zal rekening gehouden moeten worden met het Nyquist-theorema. Dit theorema houdt in dat voor een perfect gereconstrueerd signaal, de f_s minimaal twee keer zo groot moet zijn dan de frequentie van het oorspronkelijke signaal, f_{sig} . Mathematisch beschreven:

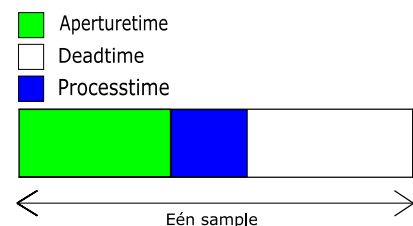
$$f_s \geq 2 \cdot f_{sig} \quad (2)$$

Wordt niet aan deze voorwaarde voldaan, dan bestaat de kans op aliasing. Aliasing is het effect dat bij reconstructie niet alleen f_{sig} voorkomt maar ook signalen met andere (en dus ongewilde) frequenties.

Informatie over multimeter

Opbouw sample

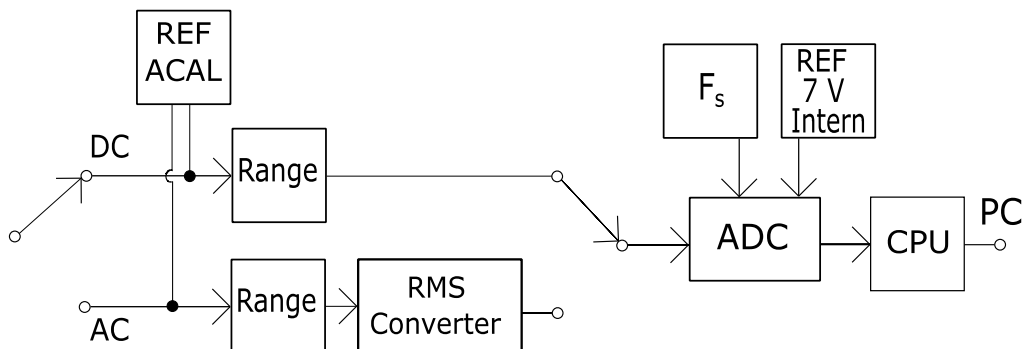
Tijdens het meten neemt de multimeter samples van het aangeboden signaal f_{sig} . Hoe een sample is opgebouwd is te zien in Figuur 2. Het nemen van een sample begint met de duur van de 'aperturetime' (T_{aper}). Dit is de tijdsduur waar aan het signaal gemeten wordt per sample. Afhankelijk van de samplingfrequentie volgt er een periode waarin niets gebeurt. Dit wordt de 'deadtime' (T_{dead}) genoemd. Aan het einde van de sample zit een periode waarin de verkregen data opgeslagen wordt, dit wordt de 'processtime' ($T_{process}$) genoemd. $T_{process}$ heeft twee vaste waarden, afhankelijk van de grootte van T_{aper} : tot 100 μs T_{aper} is dit 10 μs en vanaf 100 μs is $T_{process}$ 21 μs ^[2]. $T_{process}$ is een eigenschap van het apparaat en deze waarden staan dus vast.



Figuur 2. Opbouw van één sample.

ACV en DCV: Twee diverse modi.

Deze multimeter heeft verschillende modi. Twee van deze modi zijn genaamd 'ACV' en 'DCV' met elk hun eigen mate van nauwkeurigheid. De ACV-modus kan meten met een resolutie van 1 μV en de DCV-modus met een resolutie van 10 nV. Zie Figuur 3 voor de schematische voorstelling van deze twee modi.



Figuur 3. Schematische opbouw van de modi ACV en DCV.

Zoals in bovenstaand figuur te zien is, heeft de ACV-modus een extra blok na het vaststellen van in welk bereik gemeten wordt (100 mV, 1 V, 10 V, 100 V of 1000 V). Dit blok heet de RMS-converter. Zodra de wisselspanning bij dit blok aankomt, wordt deze omgerekend naar een gelijkspanning. Hiervoor wordt in de RMS-converter onder andere een actieve gelijkrichter gebruikt.

Het meten in de ACV-modus kan de multimeter op drie manieren welke niet besproken zullen worden daar dit niet relevant is voor het onderzoek. Wat wel relevant is, is dat al deze manieren uiteindelijk via de RMS converter gaan.

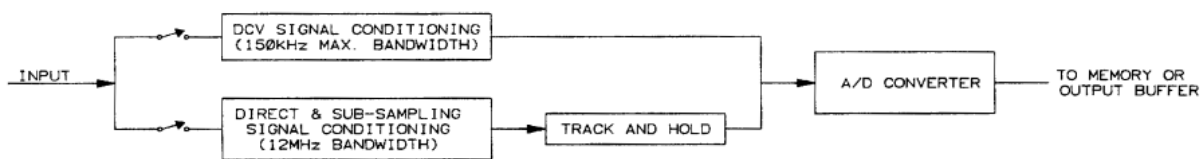
In het elektrisch schema van de multimeter^[3] blijkt dat deze RMS converter een geïntegreerde schakeling bevat, namelijk de AD837. Uit de specificaties^[4] van deze schakeling blijkt de kleinste fout in het omzetten van AC naar DC 250 μ V te zijn met een onzekerheid van 50 μ V.

Dit onderdeel is dus de beperkende factor in het minder nauwkeurig meten in ACV-modus dan in DCV-modus.

DCV-modus: Drie methodes voor digitaliseren van signaal

Net als de ACV-modus heeft de DCV-modus drie mogelijke manieren om gelijkspanning te meten. Deze drie manieren zijn (zie ook Figuur 4):

- DCV
- Direct sampling
- Sub-sampling

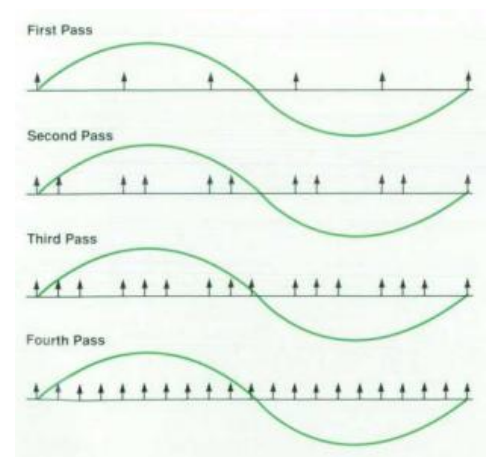


Figuur 4. Manieren van meten in DCV-modus.^[2]

Elk van deze manieren heeft zijn eigen kenmerken, zoals hoeveel samples per seconde maximaal gemaakt kunnen worden en bij welke bandbreedte^[2].

DCV neemt samples met een constante samplingfrequentie. Direct sampling doet hetzelfde als DCV met het verschil dat na het samplen nog een 'Track-and-Hold' zit. Track-and-Hold houdt de waarde van een sample vast terwijl de ADC deze analoge waarde omzet naar een digitale waarde. Hierdoor wordt de minimale lengte (tijdsduur) van een sample verkleind tot 2 ns. Ter vergelijking; bij het meten met DCV is deze lengte minimaal 500 ns.

Sub-sampling neemt een bepaald aantal samples per periode van het aangeboden signaal f_{sig} . Dit herhaalt zich een aantal keer bij verschillende punten in dit signaal. Zodra al deze meetpunten bij elkaar gevoegd worden, vormt zich het oorspronkelijke signaal. Zie Figuur 5. In dit onderzoek zal gebruik gemaakt worden van DCV, omdat deze het hoogste aantal samples per seconde kan nemen (100.000 samples/seconde).



Figuur 5. Principe sub-sampling.^[5]

Analog-to-Digital-Converter (ADC)

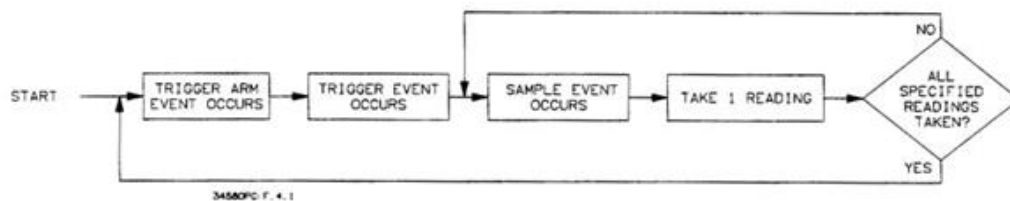
Voor het converteren van het aangeboden analoge signaal naar een digitaal signaal, wordt gebruik gemaakt van een Analog-to-Digital-Converter (ADC). De ADC in de multimeter wordt gebruikt als een integrerende ADC^[6]. Dat wil zeggen dat de ADC de spanning van het aangeboden signaal gebruikt om een condensator te laten opladen en deze benodigde tijd te meten (run-up). Om vervolgens een referentiespanning te gebruiken (7 volt)

om te meten hoe lang het duurt voordat deze condensator weer leeggelopen is (run-down). Dit wordt ook wel een dual-slope integrator ADC genoemd.

Dit principe kan worden uitgebreid met behulp van een aantal weerstanden waardoor de dual-slope nu een multi-slope wordt. Een multislope werkt als volgt: na elke run-up volgt een run-down, dan weer een run-up gevolgd door een run-down etc. Bij elke run-up/run-down-cyclus wordt gebruik gemaakt van een weerstand die per cyclus verschilt. Dus bijvoorbeeld een cyclus met een weerstand van 1000Ω , vervolgens een cyclus met 100Ω , en een met 10Ω , en 1Ω . Hoe meer cycli in de multislope doorlopen worden, hoe nauwkeuriger de ADC.

Timing

De multimeter heeft een interne timer en een eigen tijdsbasis waarop deze timer werkt. Tijdens het uitvoeren van een meting volgt de multimeter de stappen zoals te zien is in Figuur 6.



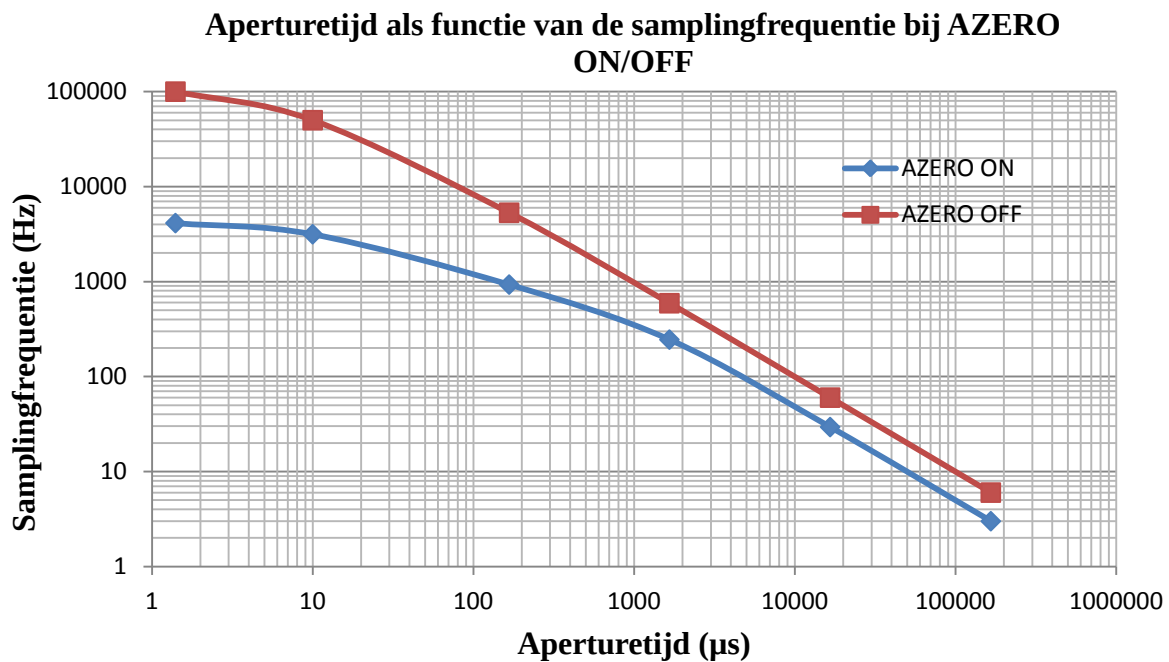
Figuur 6. Schema multimeter afhandelen triggers.^[2]

Uit aanvankelijk gedane metingen blijkt dat het tegelijk meten met twee multimeters niet de verwachte resultaten oplevert (zie bijlage 1.1). Dit blijkt te komen doordat bij het initialiseren een vaste samplingfrequentie ingesteld moest worden terwijl deze in het meetscherm gevarieerd werd bij het verschillende aantal te nemen samples. Doordat de software de geïnitieerde waarde hanteerde waren de resultaten dus ook niet als verwacht.

De software is vervolgens aangepast waardoor de samplingfrequentie nu gevarieerd kan worden. Dit kan zowel via de software of via een externe timer (PM5150^[7]). De externe timer geeft aan de multimeters door wanneer en hoeveel samples genomen moeten worden. Hij regelt nu het blokje 'Sample event occurs' in Figuur 6. Een bijkomend voordeel van het gebruik van een externe timer, met het oog op vervolgmetingen, is dat het samplen nu ook dezelfde tijdsbasis heeft. Dit komt de AC/(DC)-metingen ten goede omdat dan op hetzelfde moment de fases gemeten worden.

Instellingen - AZERO

De multimeter maakt bij het meten gebruik van de functie AZERO ON of AZERO OFF (AutoZERO). Uit de specificaties van de multimeter blijkt dat AZERO ON nauwkeuriger kan meten dan AZERO OFF^[2]. Dit komt omdat AZERO ON aan het begin van elke meting een 'nulmeting' maakt en deze aftrekt van de opvolgende meting. Hiermee worden interne 'offset errors' voorkomen. Het meten met AZERO ON duurt dus ook langer omdat er een extra handeling per meting verricht wordt. Een nadeel van AZERO ON is dat de samplingfrequentie van de multimeter sterk verkleind wordt. Dit is een eigenschap van de multimeter en hierdoor kan f_s alleen gevarieerd worden in het bijbehorende bereik van AZERO. Uit de specificaties van de multimeter blijkt ongeveer de volgende grafiek te gelden:



Grafiek 1. Bereik van multimeter bij gebruik van functie AZERO. ^[8]

Instellingen – ACAL

De multimeter heeft een functie genaamd ACAL, Auto-CALibration. Deze functie zorgt voor zelfkalibratie van de multimeter. Deze functie kan diverse parameters (DCV, AC en OHMS) kalibreren. De fabrikant beweert dat het apparaat nauwkeuriger meet na het uitvoeren van een ACAL. In dit onderzoek zullen de resultaten in termen van $\mu\text{V/V}$ zijn. Daarom is het relevant om uit te zoeken of ACAL op dit niveau van significant belang is.

De frequentie van het aangeboden signaal f_{sig} : deze is 0 Hz bij DC, bij AC zullen dit 53 Hz en 60 Hz zijn. 53 Hz in plaats van 50 Hz om oppik te minimaliseren en 60 Hz omdat deze samen met 53 Hz de twee frequenties zijn waar het meest mee wordt gewerkt binnen het bedrijf VSL.

Onderzoek/Methode

Materialen

Voor dit onderzoek zijn de volgende materialen gebruikt:

- PM5150 Waveform Generator.
- HP3458A Agilent multimeter (2x).
- Computer met data-analysesoftware Rstudio/R en Labview.
- Fluke 732A (bereik 1.000, 1.018 en 10.000 volt).
- Fluke 5700A Calibrator
- 10 kΩ weerstandsbank.
- Fluke 792A AC/DC Transfer Standard
- Kabels voor verbinden HP3458A, PM5150, Fluke 732A, Fluke 5700A Calibrator en voor communicatie tussen de computer en bovenstaande apparatuur een GPIB-verbinding voor elk apparaat afzonderlijk.

Beschrijving instrumenten

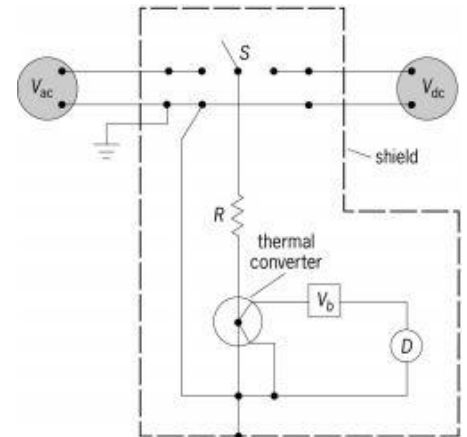
Fluke 5700A Calibrator

Dit apparaat wordt in dit onderzoek gebruikt als een bron. Deze bron voorziet zowel in wisselspanning als positieve en/of negatieve gelijkspanning. De Fluke 5700A wordt als bron gebruikt vanwege zijn (relatief) hoge nauwkeurigheid bij het genereren van signalen^[9].

AC/DC Transfer Standard: Fluke 792A

De Fluke 792A converteert zeer nauwkeurig (tot enkele μV) AC naar DC. Hoe dit instrument dat doet zal globaal beschreven worden aan de hand van Figuur 7.

Zodra de schakelaar 'S' sluit aan de kant van V_{ac} dan zal er een stroom gaan lopen door de thermische geleider. Deze geleider geeft warmte af waar een constante spanning van afgeleid kan worden. Vervolgens meet V_b die spanning en onthoudt de waarde ervan. Schakelaar S schakelt dan naar V_{dc} en dan meet 'D' de spanning. Het verschil tussen V_b en D wordt 'd' genoemd. Deze 'd' is het AC/DC-verschil en deze variabelen worden samengevoegd in de volgende formule:



Figuur 7. Schema AC/DC-transfer.

$$V_{ac} = V_{dc}(1 + d) \quad (3)$$

Met deze formule wordt verder niets gedaan in dit onderzoek. De afwijking 'd' is vastgelegd in de specificaties van de Fluke 792A. Doordat deze afwijking bekend is, kan de multimeter die aan de 792A verbonden is als referentie gebruikt worden (REF). En dus kan de AC/DC-fout van de multimeter die rechtstreeks aan de AC-bron meet (DUT), bepaald worden. Hoe dit gedaan wordt, wordt uitgelegd in het hoofdstuk 'Meetprocedure'. Deze AC/DC Transfer Standard heeft twee mogelijke voedingsbronnen. Het elektriciteitsnet (AC) of de bijbehorende accu (DC). Deze keuze kan ook van invloed zijn en dat zal ook onderzocht moeten worden:

Welke invloed heeft het verschil in voeding op de metingen?

Beschrijving software

Tijdens dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van Rstudio en Labview. Het gebruik van beide softwareprogramma's zal hieronder beschreven worden.

Rstudio

Met behulp van Rstudio kan met behulp van een script een 'settingsfile' geschreven worden waarin de parameters worden vastgelegd voor de meting. De diverse parameters zijn:

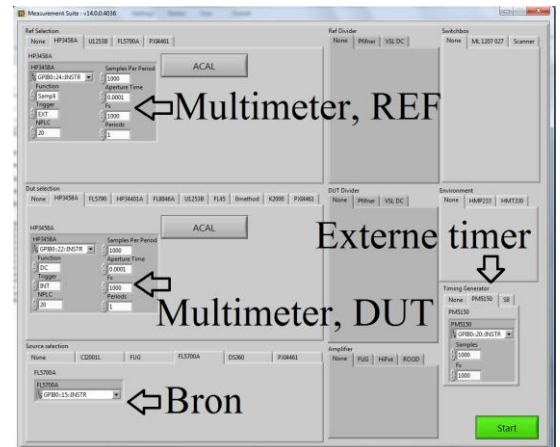
- T_{aper} (in μs)
- Deadtime (in μs)
- Processtime (in μs)
- Frequentie (in Hz)
- Spanning (in volt)
- Bereik multimeter (in volt)
- Aantal te nemen samples

Na het meten kunnen de gegevens ook geanalyseerd worden met deze software. Uit het hiervoor gemaakte script volgen dus ook de resultaten uit.

Labview

Door de ontwikkeling van een speciaal algoritme, kan nu ook asynchroon gemeten worden. Dat wil zeggen dat er met één tijdsbasis alsnog samples genomen kunnen worden. Dit algoritme zorgt ervoor dat de samplingfrequentie zo min mogelijk aangepast wordt waardoor de samples een geheel aantal keer in het originele signaal passen^[10]. Dit algoritme is verwerkt in het programma waarmee gemeten wordt, Labview.

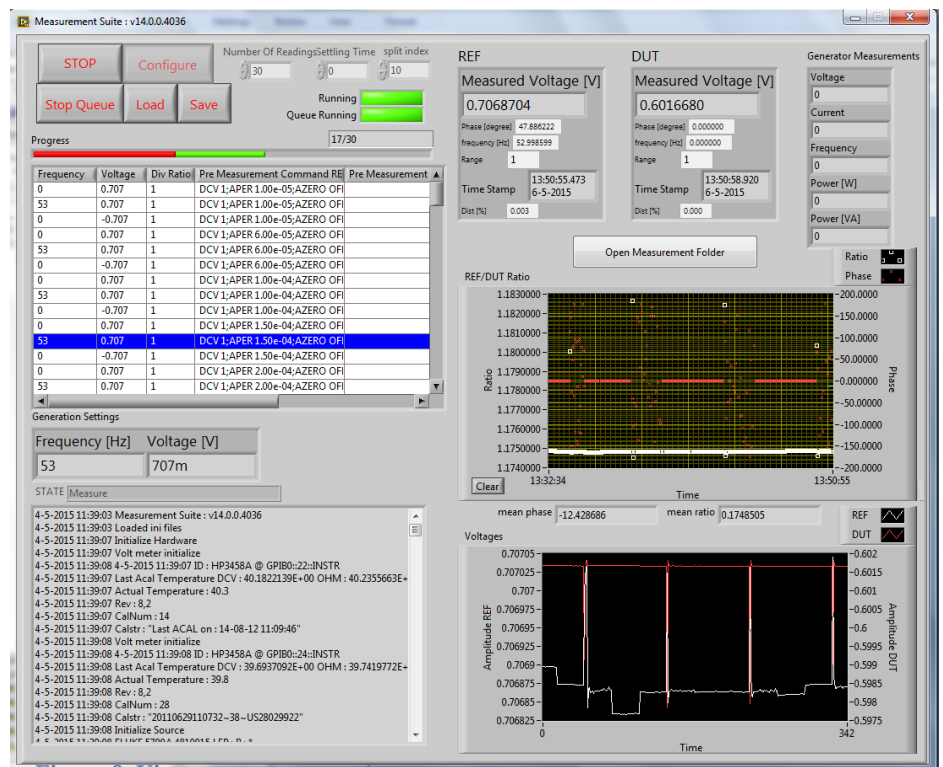
Voordat een meting kan beginnen, moeten eerst in Labview de te gebruiken instrumenten ingesteld worden in een menu. Zie Figuur 8. Hier worden de multimeters in de juiste modus gezet en aangegeven op welke poort welk apparaat verbonden is met de computer. De tweede kolom met parameters wordt niet gebruikt daar deze worden ingesteld tijdens een 'reading'. De pijlen zijn bedoeld om aan te geven welk apparaat waar ingesteld wordt.



Figuur 8. Instellingen van instrumenten in Labview.

Het nemen van één meting bij bepaalde instellingen (T_{aper} , T_{dead} , f_s , etc.) wordt een 'reading' genoemd. Bij het voorbereiden van een meting worden een aantal readings samengevoegd in de settingsfile (zie ook paragraaf 'Rstudio'). Dit is een bestand waarin alle parameters per reading vermeld staan. Dit bestand moet in Labview geladen worden zodat de computer de instrumenten kan aansturen.

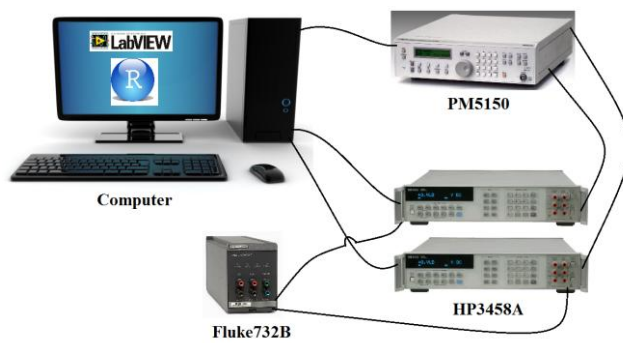
In het scherm dat volgt na het eerste menu, kan de settingsfile geladen worden. Zoals te zien is in Figuur 9 staat bovenin 'Number Of Readings'. Dit staat voor het aantal keer dat een reading herhaald moet worden. Het herhalen van een reading is belangrijk omdat er dan over een grotere hoeveelheid data gemiddeld kan worden en dit maakt de meting nauwkeuriger.



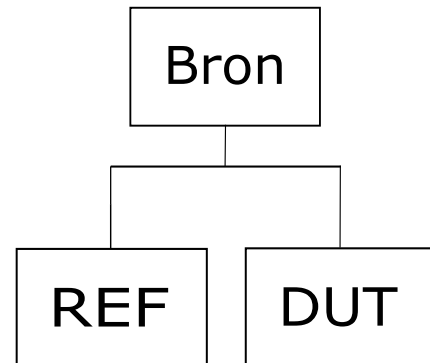
Figuur 9. Uitvoeren van een meting.

Meetopstelling

Voor het meten van DC wordt de volgende opstelling gebruikt:

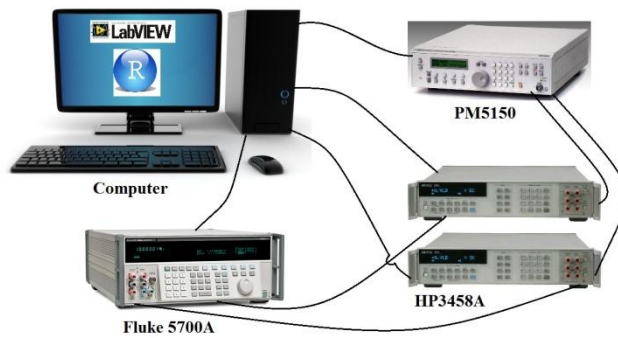


Figuur 10. Opstelling voor het meten van DC.



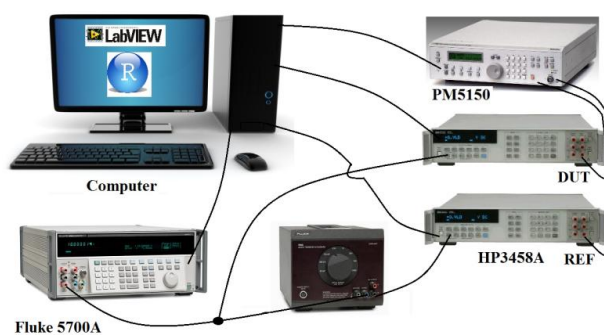
Figuur 11. Schematische opstelling DC en AC.

Voor het meten van AC:

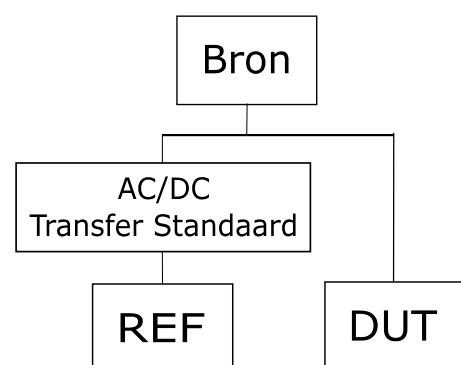


Figuur 12. Opstelling voor meten van AC.

Metten van AC/DC:



Figuur 14. Opstelling voor meten van AC/DC.



Figuur 13. Schematische opstelling ACDC.

Meetprocedure

In dit hoofdstuk zullen de meetprocedures stapsgewijs besproken worden. Per manier van meten (DC, AC of AC/DC) worden de instellingen van de parameters weergegeven. Afsluitend zullen formules en hun toelichting gegeven worden die voor alle manieren van meten gelden en dus totstandkoming van resultaten leiden.

Het meten van DC

Instellingen diverse parameters:

• T_{aper} (in μs)	10-500 in stappen van 10, 300, 400, 500
• T_{dead} (in μs)	0-900 in stappen van 50
• f_{sig} (in Hz)	0
• U_{sig} (in volt)	0
• Bereik multimeter (in volt)	1

Na het instellen van bovenstaande parameters volgen automatisch nog enkele parameters die daar afhankelijk van zijn, namelijk:

- Samplingfrequentie f_s
- NRDGS
- Aantal te nemen samples

Deze instellingen worden met behulp van de software Rstudio samengevoegd met bijbehorende commando's in een zogenaamde 'settingsfile'. Deze wordt gebruikt door Labview voor het instellen van de multimeters tijdens het meten. In Figuur 11 zijn de twee multimeters afgebeeld als REF en DUT en zijn ze allebei op dezelfde bron aangesloten. Er wordt gemeten met twee multimeters om te onderzoeken of het gedrag apparaatspecifiek is of voor meerdere multimeters geldt.

Het meten van AC

Deze manier van meten is identiek aan de manier van het meten van DC wat betreft apertuuretijd en deadtijd. De bron is anders: in plaats van de Fluke 732A, wordt de Fluke 5700A Calibrator gebruikt voor het genereren van AC. Tevens worden 'Frequentie' en 'Spanning' ook aangepast.

• T_{aper} (in μs)	10-200 in stappen van 10, 300, 400, 500
• T_{dead} (in μs)	0-900 in stappen van 50
• f_{sig} (in Hz)	53, 60
• U_{sig} (in volt)	0.707 (RMS)
• Bereik multimeter (in volt)	1

Ook hier worden de drie andere parameters (zie 'Het meten van DC') van afgeleid en in een settingsfile samengevoegd. De schematische opstelling blijft hetzelfde als die van DC (Figuur 11).

Het meten van AC/DC

De bepaling van de AC/DC-afwijking gebeurt door middel van een AC/DC Transfer Standard. De afwijkingen van deze Transfer Standard zijn vastgesteld door een metrologisch instituut en vastgelegd in een certificaat. Deze Transfer Standard heeft diverse bereiken met elk een andere afwijking. Door deze in het 2.2 volt bereik te zetten wordt een afwijking gehanteerd van $0 \mu\text{V/V}$ met een onzekerheid van $2.6 \mu\text{V/V}^{[8]}$. Vervolgens wordt de getransformeerde waarde door een multimeter gemeten. Deze multimeter wordt de REF (referentie) genoemd. De andere multimeter wordt rechtstreeks op de AC-bron, de Fluke 5700A, aangesloten. Deze multimeter wordt een DUT (Device Under Test) genoemd.

Instellingen diverse parameters:

• T_{aper} (in μs)	100-400 in stappen van 100 μs ,
• T_{dead} (in μs)	0-900 in stappen van 100

- f_{sig} (in Hz) 53, 60
- U_{sig} (in volt) 0.707 (RMS)
- Bereik multimeter (in volt) 1

Hieronder volgt informatie met betrekking tot formules die voor alle drie de manieren van meten gelden en onder welke omstandigheden de metingen verricht zijn.

Om de instrumenten aan te sturen, moeten bepaalde commando's verstuurd worden. Deze commando's worden in een bestand gevoegd, genaamd 'settingsfile'.

In deze settingsfile komen diverse parameters te staan zoals f_s , T_{aper} , U_{sig} , f_{sig} . Deze parameters worden bepaald naar aanleiding van de waarden van T_{aper} , T_{dead} en f_{sig} . Dit wordt gedaan met behulp van Rstudio. Hierbij is ook rekening gehouden met het meetbereik van de multimeter (Grafiek 1).

Voor het bepalen van de samplingfrequentie f_s worden T_{aper} , T_{dead} en $T_{process}$ bij elkaar opgeteld en vervolgens wordt daar de inverse van genomen. Zie de volgende formule (zie ook opbouw van een sample op pagina 9):

$$f_s = \frac{1}{T_{dead} + T_{process} + T_{aper}} \quad (4)$$

Alles is in μs behalve f_s , deze is in Hz.

Als één sample één seconde moet duren, dan (zie ook formule 1):

$$f_s = \text{aantal samples} \quad (5)$$

En om de multimeter hetzelfde aantal samples te laten nemen als dat de externe timer (PM5150) aangeeft, geldt:

$$\text{Aantal samples} = \text{NRDGS} \quad (6)$$

Waarbij NRDGS staat voor *Number Of Readings*. Dit geeft aan hoeveel samples de multimeter bij een bepaalde samplingfrequentie moet nemen.

Voordat de settingsfile gemaakt kan worden, moet elke meting in drie delen gesplitst worden: positieve gelijkspanning (DC+), wisselspanning en negatieve gelijkspanning (DC-). Al deze delen hebben dezelfde parameters op de f_{sig} en U_{sig} na. Het meten van DC+ en DC- wordt gedaan om ongewenste thermospanningen uit te vlakken. Dit gebeurt door beide spanningen te middelen. Dus optellen en delen door twee elimineert de thermospanningen. Het meten van AC daartussen heeft te maken met het driften van de spanning over de tijd. Uit eerder onderzoek^[10] is gebleken dat dit niet een grote invloed heeft maar wordt in dit onderzoek wel gehanteerd om zo nauwkeurig mogelijk te kunnen meten. Vervolgens worden alle commando's samengevoegd in de settingsfile en wordt de totale meting uitgevoerd.

Na het uitvoeren van de meting wordt de data geanalyseerd, dit gebeurt ook met Rstudio. Rstudio splitst de resultaten naar DC+, AC en DC- en rekent per deel de gemiddelde waarde van de spanning en standaarddeviatie per meting uit. Om de totale standaarddeviatie uit te rekenen, moet eerst de relatieve standaarddeviatie $\sigma_{relatief}$ per deel berekend worden. Dit gebeurt met de formule:

$$\sigma_{relatief} = \frac{\sigma_{gem}}{U_{sig,gem}} \quad (7)$$

Met σ_{gem} in μV . Dit geldt voor elk onderdeel en voor het leesgemak worden deze relatieve standaarddeviaties als volgt gedefinieerd:

- σ_{DC+}
- σ_{AC+}
- σ_{DC-}

Voor de totale standaarddeviatie geldt dan de wortel uit de som van de kwadraten van de onderdelen:

$$\sigma_{totaal} = \sqrt{(\sigma_{DC+})^2 + (\sigma_{AC})^2 + (\sigma_{DC-})^2} \quad (8)$$

Voor het bepalen van de gemiddelde waarde van DC+ en DC- worden deze twee bij elkaar opgeteld en gedeeld door twee. Deze waarde wordt vervolgens 'DC_{gem}' genoemd.

Voor het bepalen van de AC/DC-fout (afwijking) geldt:

$$Afwijking = \frac{AC_{gem} - DC_{gem}}{DC_{gem}} \cdot 10^6 \quad (9)$$

De *Afwijking* wordt vermenigvuldigd met 10^6 zodat het in $\mu V/V$ wordt weergegeven.

Deze afwijking geldt voor een enkele multimeter. Zoals eerder vermeld worden twee multimeters gebruikt waarvan een als REF zal dienen en de andere als DUT. Door de AC/DC-fout van de REF af te trekken van de AC/DC-fout van de DUT, wordt de relatieve AC/DC-fout van de multimeter (DUT) bepaald.

De ruimte waarin gemeten wordt maakt gebruik van klimaatbeheersing en heeft een temperatuur van $23^\circ \pm 0.5^\circ$ en een luchtvochtigheid van $40\% \pm 5\%$. Alle instrumenten gebruikt voor de metingen blijven aanstaan, zelfs als er geen metingen plaatsvinden. Dit om de interne temperatuur van deze instrumenten ook zo constant mogelijk te houden.

Resultaten

Voor het beantwoorden van de vragen die gesteld zijn in het hoofdstuk 'Onderzoeksvragen', volgen nu de meest belangrijke resultaten van dit onderzoek. Ook hier zal onderscheid gemaakt worden tussen DC, AC en AC/DC en per onderdeel worden resultaten weergegeven in drie verschillende grafieken, namelijk:

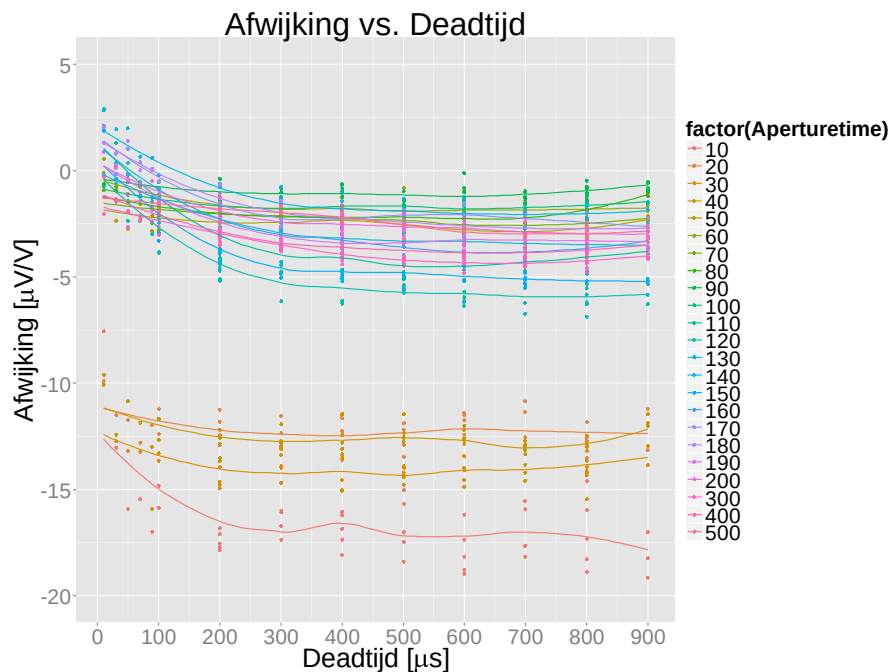
- Afwijking vs Deadtijd
- Afwijking vs Aperturetime
- StDeviatie vs Aperturetime

Deadtijd en aperturetime zijn de twee parameters waar de afwijking van afhankelijk is dus daarom worden deze apart toegelicht. De StDeviatie (standaarddeviatie) wordt per aperturetijd weergegeven voor het aantonen van de mate van nauwkeurigheid van het meten aan het signaal. Tevens zijn waar mogelijk de meetpunten in de grafieken weergegeven naast de gemiddeldes die de doorgetrokken lijnen voorstellen.

DC

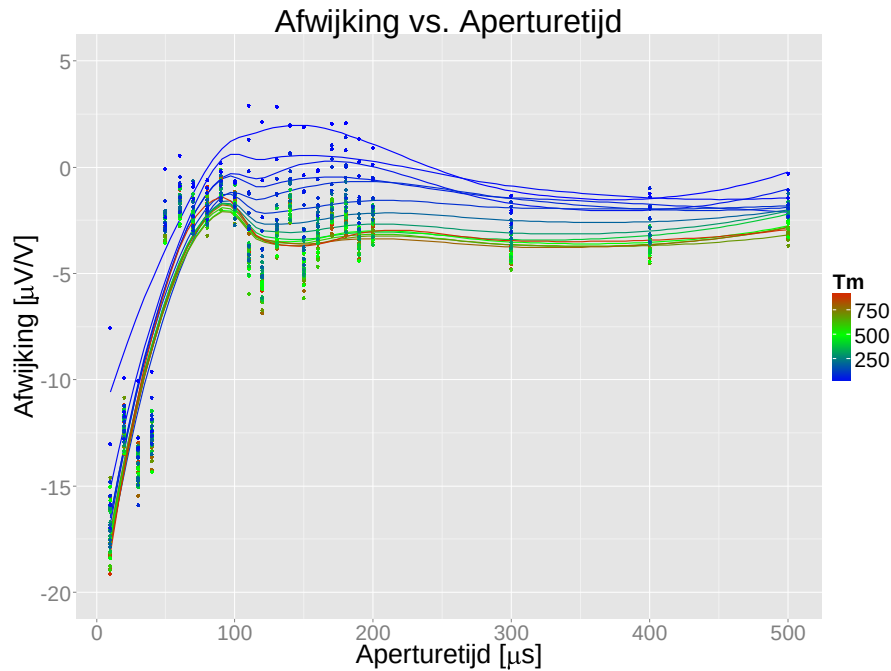
AZERO OFF

Uit bijlage 1.1 blijkt dat het bereik waarin gemeten zal gaan worden het meest interessant is bij $T_{\text{aper}} = 10 - 500 \mu\text{s}$ en $T_{\text{dead}} = 0 - 900 \mu\text{s}$.



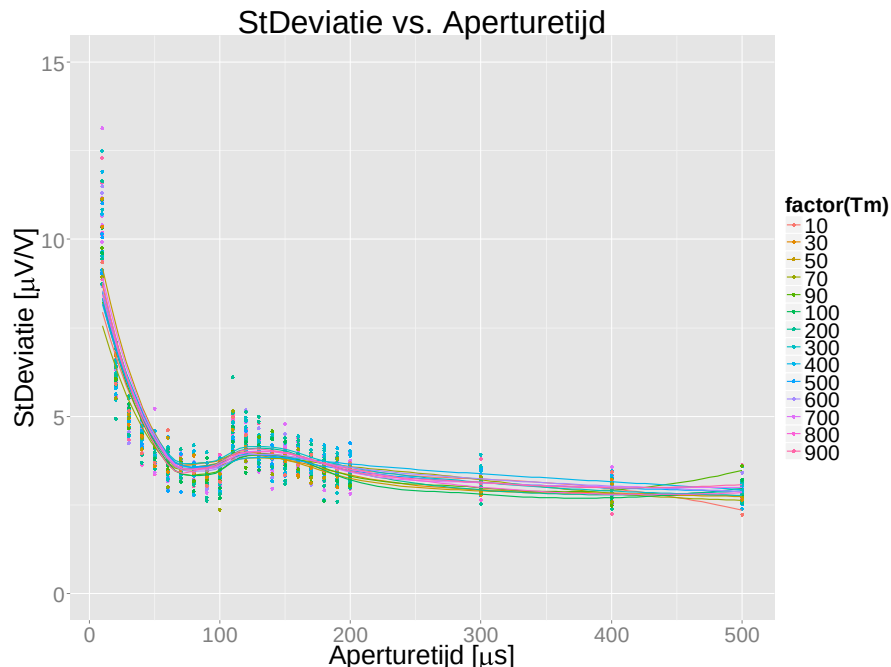
Grafiek 2. Afwijking uitgezet tegenover de deadtijd bij diverse aperturetijden.

Bovenstaande grafiek laat zien dat bij een aperturetijd van $200 \mu\text{s}$ de afwijking nagenoeg constant lijkt te zijn bij verschillende T_{dead} . Een korte T_{aper} (< 50) resulteert in een grotere afwijking dan een grotere T_{aper} ($> 50 \mu\text{s}$).



Grafiek 3. Afwijking uitgezet tegenover de apertuuretime bij diverse deadtime.

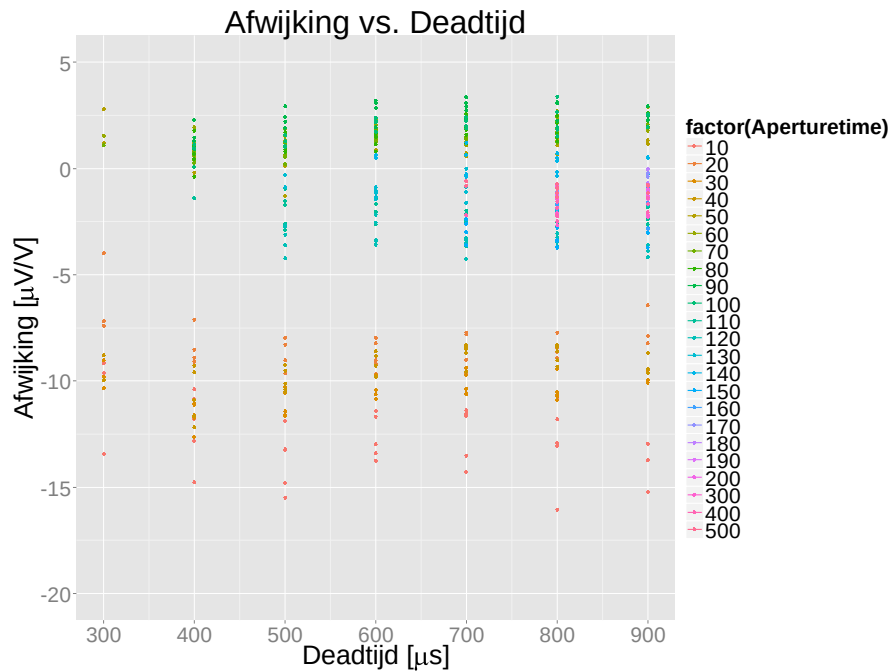
Grafiek 3 laat zien dat tot $T_{\text{aper}} < 100 \mu\text{s}$, de afwijking sterk afneemt naarmate T_{aper} toeneemt. De grafiek laat ook zien dat $T_{\text{aper}} > 200 \mu\text{s}$ een meer constante afwijking geeft bij verschillende T_{dead} (in grafiek omschreven als 'Tm'). Voor $T_{\text{dead}} < 250 \mu\text{s}$ varieert de afwijking enkele $\mu\text{V/V}$ en voor $T_{\text{dead}} \geq 250$ wordt deze afwijking constanter. Met name voor $T_{\text{dead}} \geq 750 \mu\text{s}$. Dit heeft te maken met hoe langer T_{dead} is, hoe meer tijd de ADC heeft om nauwkeuriger de waarde te bepalen en dus de afwijking steeds kleiner dan wel constanter wordt.



Grafiek 4. Standaarddeviatie uitgezet tegenover de apertuuretime bij diverse deadtime.

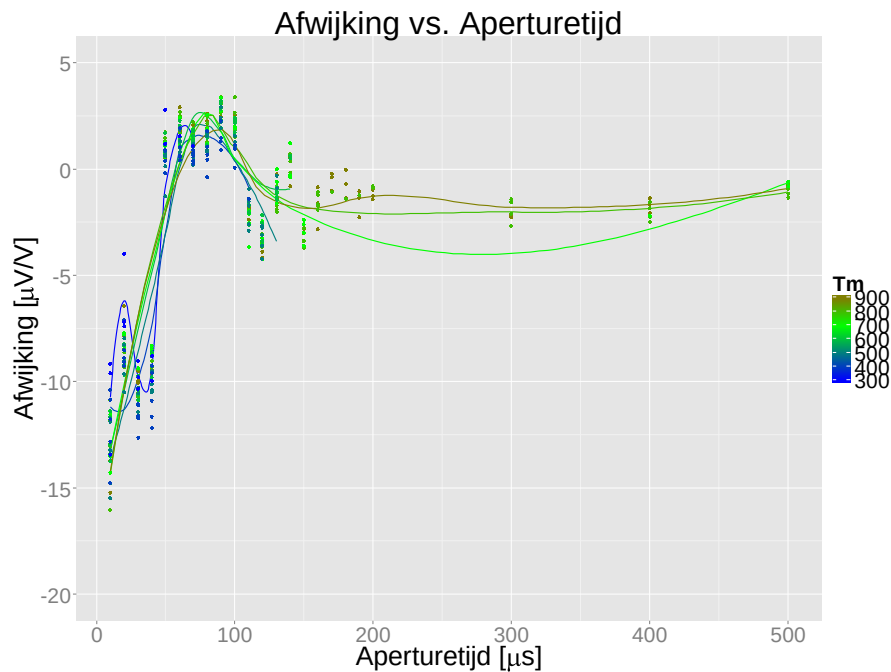
Het eerder beschreven gedrag is goed terug te zien in de standaarddeviatie. Hoe groter T_{aper} , des te kleiner wordt de standaarddeviatie. Dit geldt voor $T_{\text{aper}} \leq 100 \mu\text{s}$, ongeacht de waarde van T_{dead} . Opvallend is het gedrag op het interval $100 \mu\text{s} \leq T_{\text{aper}} \leq 200 \mu\text{s}$. Vanaf $T_{\text{aper}} = 200 \mu\text{s}$ lijkt de standaarddeviatie constanter te worden.

AZERO ON

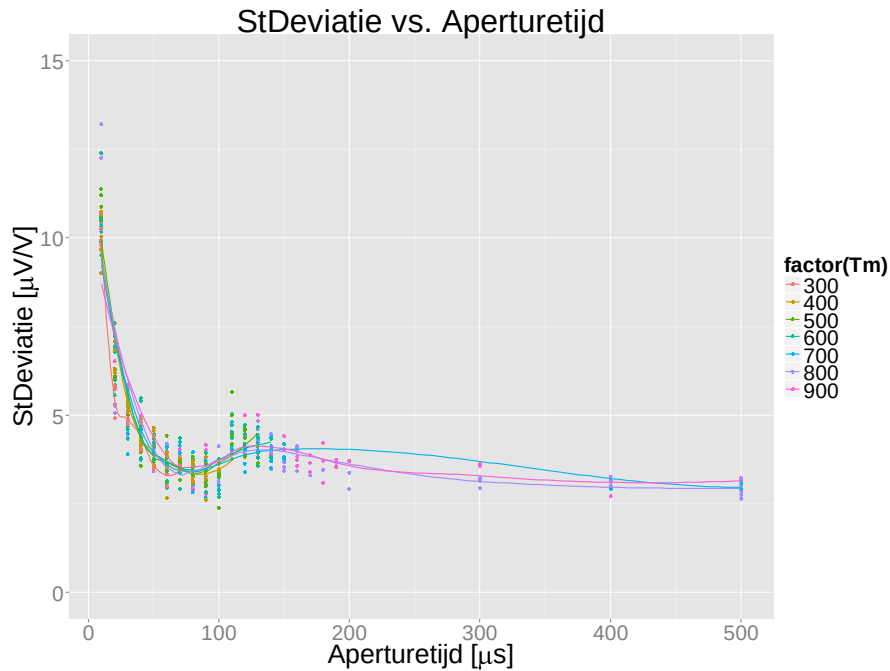


Grafiek 5. Afwijking uitgezet tegenover de deadtime bij diverse apertuuretijden.

Door het gebruik van AZERO ON, ontbreken er een aantal meetpunten ten opzichte van de resultaten DC met AZERO OFF. Door het gebrek aan meetpunten kan de software geen vloeiende lijn weergeven. De meeste meetpunten ontbreken bij een $T_{\text{dead}} \leq 300 \mu s$ (T_{dead} begint pas bij 300 μs in de grafiek). In dit gebied bevinden zich de hogere f_s ($> 4 \text{ kHz}$). Enkele combinaties van T_{aper} en T_{dead} resulteren alsnog tot een f_s hoger dan toegestaan waardoor meetpunten ontbreken. Desondanks is aan de kleuren te zien dat de afwijking constant blijft bij diverse T_{aper} (10 μs – 200 μs) en T_{dead} (300 μs – 900 μs).



Grafiek 6. Afwijking uitgezet tegenover de apertuuretime bij diverse deadtime.

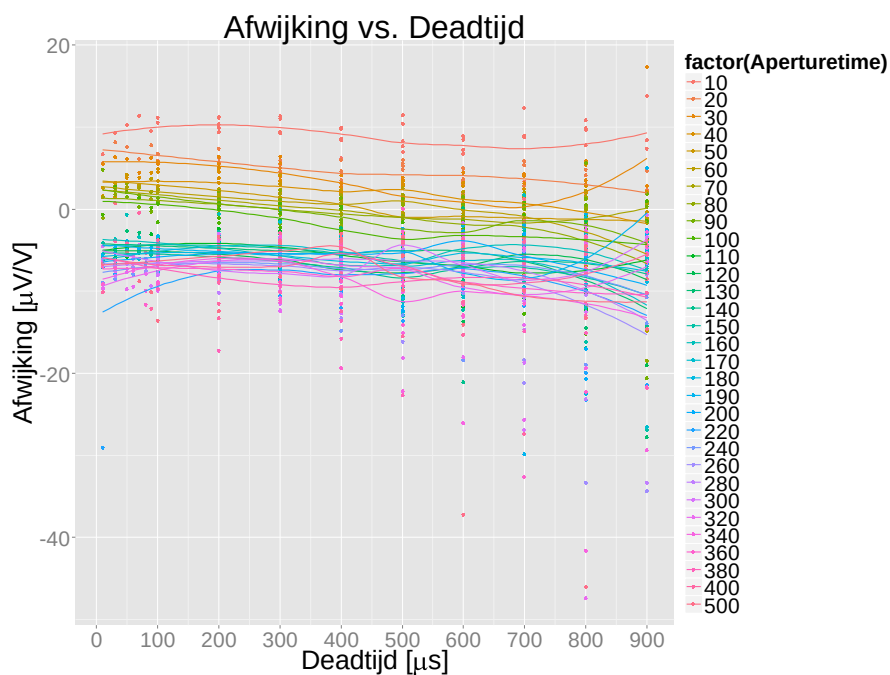


Grafiek 7. Standaarddeviatie uitgezet tegenover de apertuuretime bij diverse deadtime.

Door het vergelijken van de grafieken van AZERO ON met de grafieken van AZERO OFF kan geconcludeerd worden dat het gebruik van AZERO ON bij de huidige instellingen (T_{aper} , T_{dead}) verder niet relevant zal zijn voor dit onderzoek. Dit omdat deze instelling het niet mogelijk maakt om met hoge samplingfrequenties ($> 4\text{kHz}$) te kunnen meten.

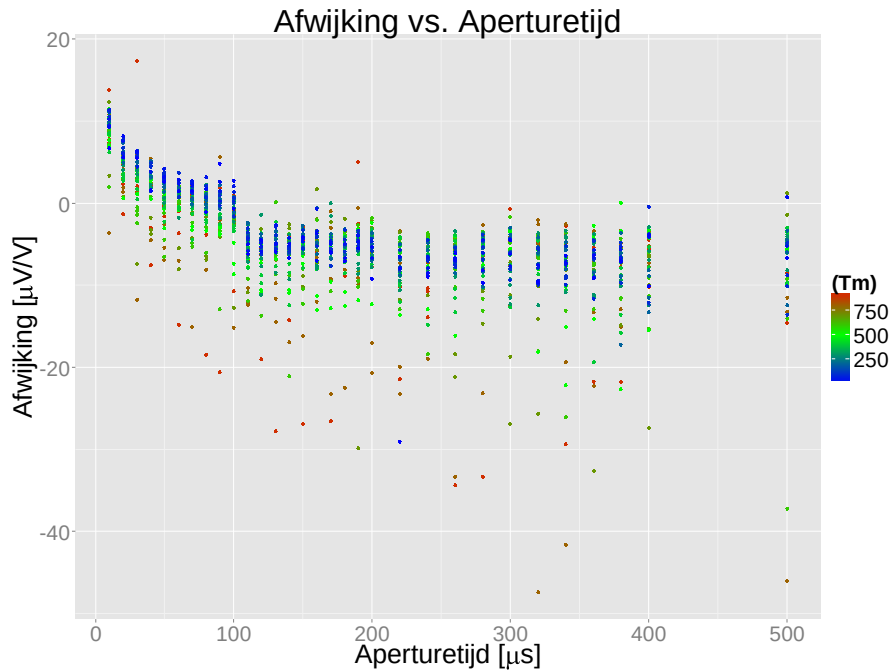
AC

De volgende resultaten zijn gebaseerd op de metingen met $f_{\text{sig}} = 53\text{ Hz}$. De metingen met $f_{\text{sig}} = 60\text{ Hz}$ zijn terug te vinden in bijlage 1.4. Dit is om het overzicht in resultaten te behouden. De metingen op 60 Hz vertonen (zo goed als) geen verschil met die van 53 Hz.



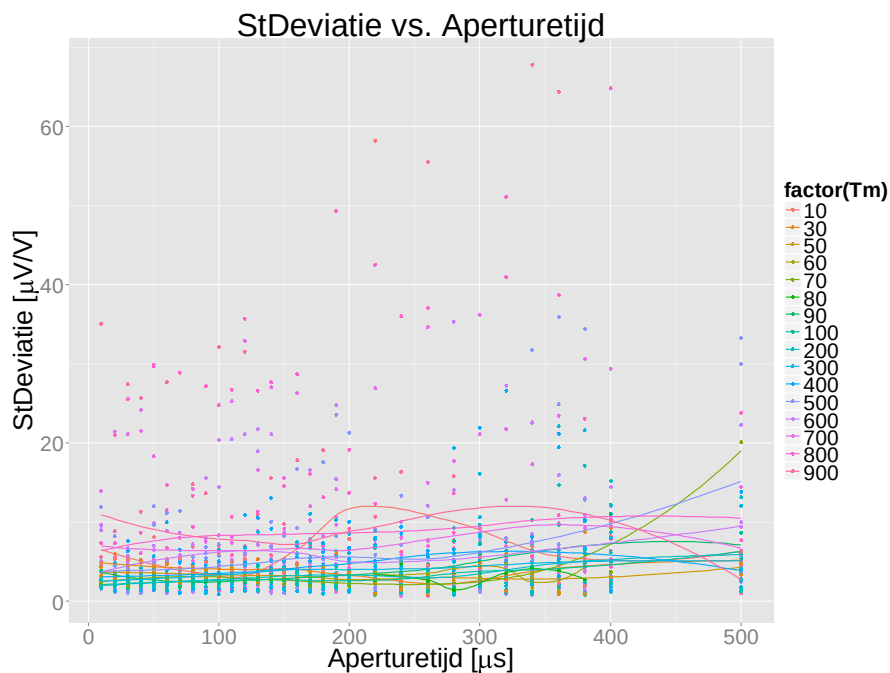
Grafiek 8. Afwijking uitgezet tegenover de deadtime bij diverse apertuuretijden.

De afwijking bij alle T_{aper} blijft nagenoeg constant tot $T_{\text{dead}} = 750 \mu\text{s}$. Vanaf dat punt neemt de afwijking toe of neemt juist af, afhankelijk van T_{aper} .



Grafiek 9. Afwijking uitgezet tegenover de apertuuretime bij diverse deadtime.

Er is gekozen om Rstudio geen vloeiende lijn door de meetresultaten heen te laten trekken, zodat duidelijk weergegeven wordt wat er gebeurt bij $T_{\text{aper}} = 100 \mu\text{s}$. In grafiek 9 is een 'stap' te zien in de meting waarna deze bij lagere $T_{\text{dead}} (\leq 250 \mu\text{s})$ en $T_{\text{aper}} > 100 \mu\text{s}$ een constante afwijking gaat vertonen. Deze stap wordt veroorzaakt door het schakelen van de ADC tijdens een run-up/run-down-cyclus. De spreiding van de meetpunten bij $T_{\text{dead}} \geq 500 \mu\text{s}$ is groter dan bij $T_{\text{dead}} \leq 500 \mu\text{s}$. Dit heeft waarschijnlijk te maken dat metingen met een langere T_{dead} ook meer beïnvloed wordt door bijvoorbeeld opkik.



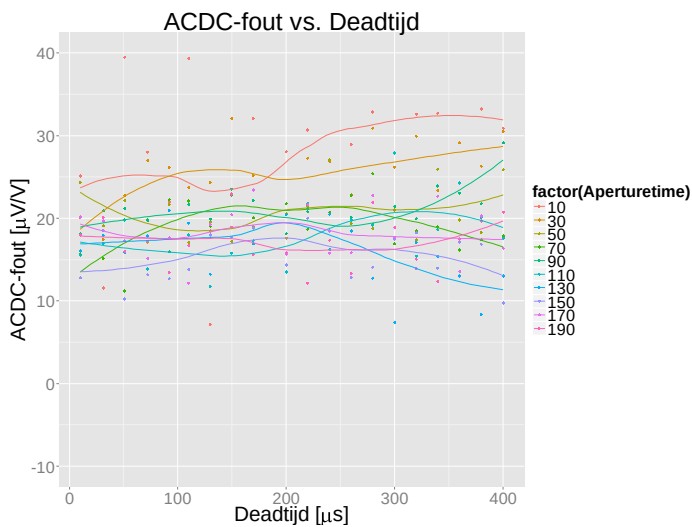
Grafiek 10. Standaarddeviatie uitgezet tegenover de apertuuretime bij diverse deadtime.

Uit grafiek 10 blijkt dat er veel spreiding in de standaarddeviatie is bij $T_{\text{dead}} > 300 \mu\text{s}$. Bij een lagere deadtime zit er minder spreiding in en bevindt de standaarddeviatie zich grotendeels onder $10 \mu\text{V/V}$. Vergelijken met de standaarddeviatie van DC is dit voor alle T_{aper} hoog. Dit heeft te maken met oppik van stoorsignalen.

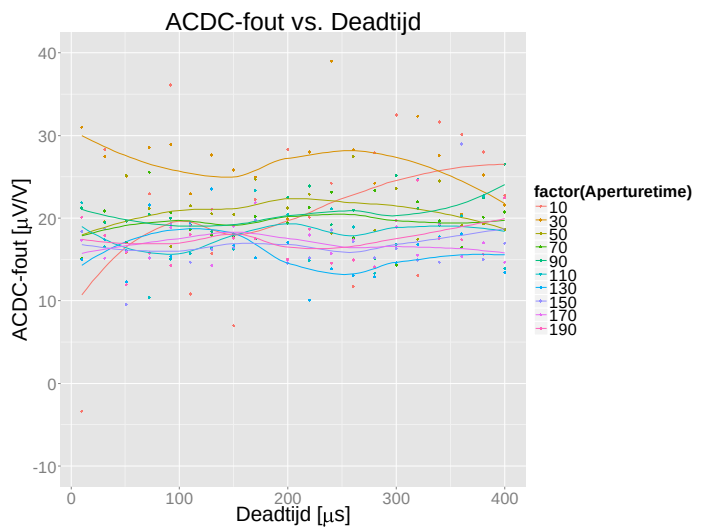
ACDC

ACAL

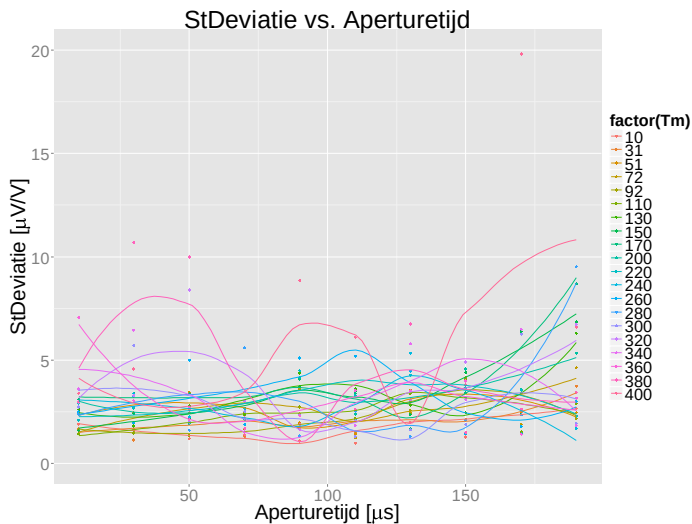
Er is gekozen om eerst het effect van ACAL te bepalen, omdat dit van invloed kan zijn op de uiteindelijke resultaten. In dit geval betekent dat de Fluke 792A aangesloten is op het elektriciteitsnet en de multimeter op AZERO OFF staat. Tevens wordt er eerst geen ACAL wordt uitgevoerd voordat de meting begint en bij de tweede meting, met dezelfde parameters, wel. Om de resultaten makkelijk met elkaar te vergelijken zijn de resultaten naast elkaar gezet. Zie ook bijlage 1.5 voor resultaten met de tweede multimeter en metingen op 60 Hz.



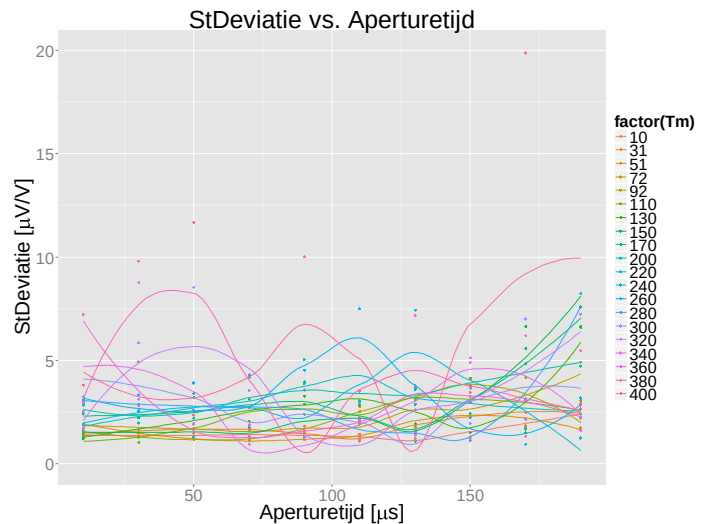
Grafiek 12. AC/DC-fout zonder ACAL (DUT).



Grafiek 11. AC/DC-fout met ACAL (DUT).



Grafiek 13. Standaarddeviatie zonder ACAL (REF).

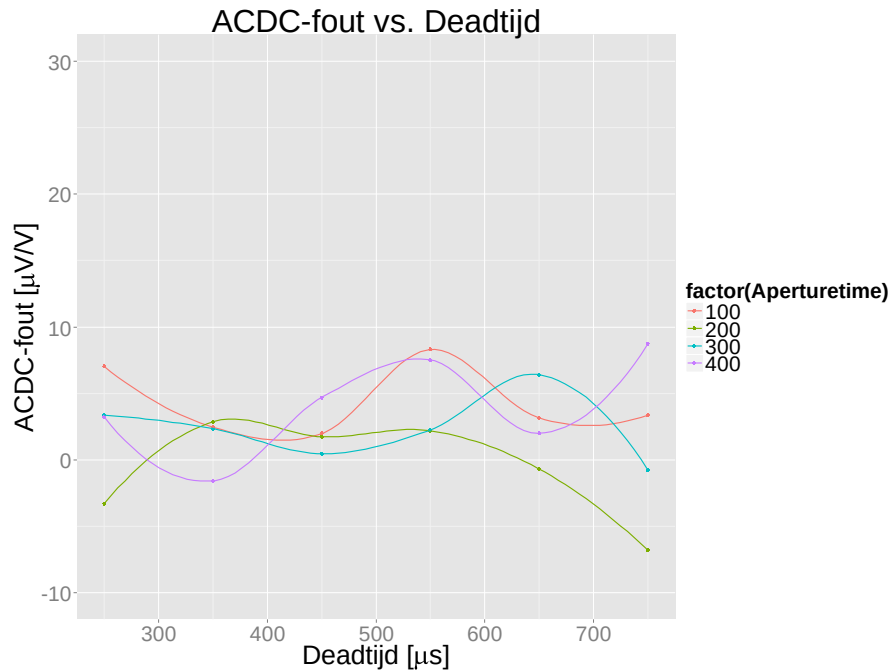


Grafiek 14. Standaarddeviatie met ACAL (REF).

Uit de resultaten van grafieken 11 en 12 blijkt dat het effect van ACAL minimaal is bij de DUT. De afwijking met ACAL varieert iets ten opzichte van de afwijking zonder ACAL bij lagere T_{aper} . Voor de standaarddeviatie heeft ACAL dus ook een minimaal effect. Opvallend is dat de standaarddeviatie bij de REF wel omlaag gaat. Zie grafieken 13 en 14. Omdat er wordt getracht de afwijking zo klein mogelijk te krijgen en/of houden, is het aan te

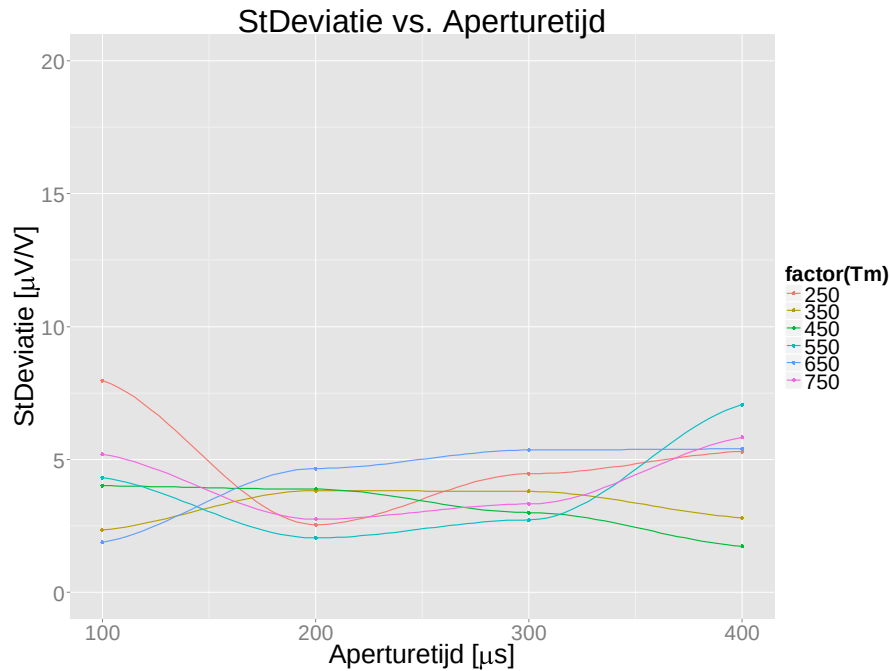
raden dat men gebruikt maakt van een ACAL voordat een meting begint. Dit wordt bij volgende metingen dus ook gedaan.

Na het vaststellen van de parameters T_{aper} , T_{dead} en het bepalen van de invloeden van AZERO en ACAL, wordt de AC/DC-meting opnieuw uitgevoerd. Dit levert de volgende resultaten op:



Grafiek 15. Afwijking uitgezet tegenover de vastgestelde parameters T_{aper} en T_{dead} .

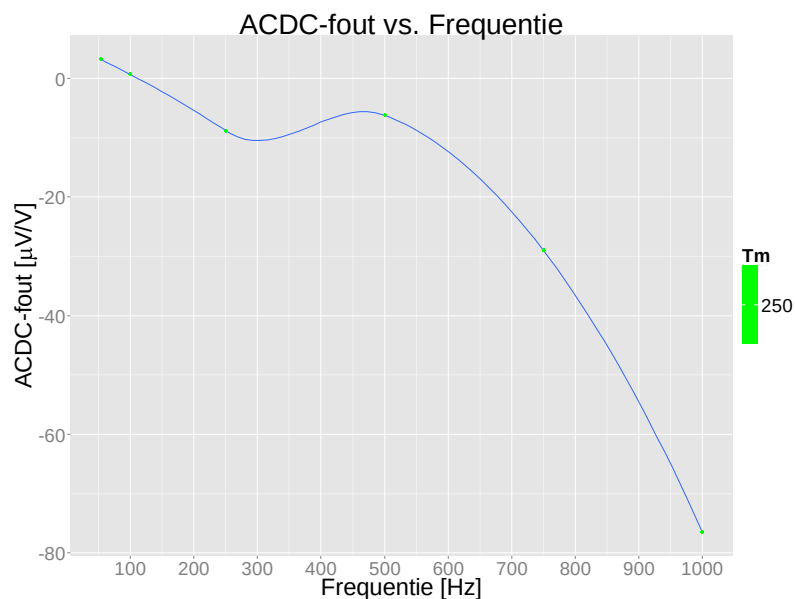
Bovenstaande grafiek toont aan dat bij $100 \mu\text{s} \leq T_{\text{aper}} \leq 400 \mu\text{s}$ en $250 \mu\text{s} \leq T_{\text{dead}} \leq 750 \mu\text{s}$, de afwijking nagenoeg binnen de $15 \mu\text{V/V}$ blijft. Voor de AC/DC-afwijking bij 60 Hz wordt verwezen naar bijlage 1.6.



Grafiek 16. Standaarddeviatie tegenover de vastgestelde parameters T_{aper} en T_{dead} .

De standaarddeviatie laat zien dat bij $T_{\text{aper}} = 100 \mu\text{s}$, dat de spreiding hoger ligt dan bij $T_{\text{aper}} = 200 \mu\text{s}$ of $T_{\text{aper}} = 300 \mu\text{s}$. Dit betekent dat daar de meetresultaten het minst nauwkeurig zijn.

Metten met diverse signaalfrequenties



Grafiek 17. AC/DC-fout uitgezet tegen f_{sig} bij $T_{\text{aper}} = 200 \mu\text{s}$ en $T_{\text{dead}} = 250 \mu\text{s}$.

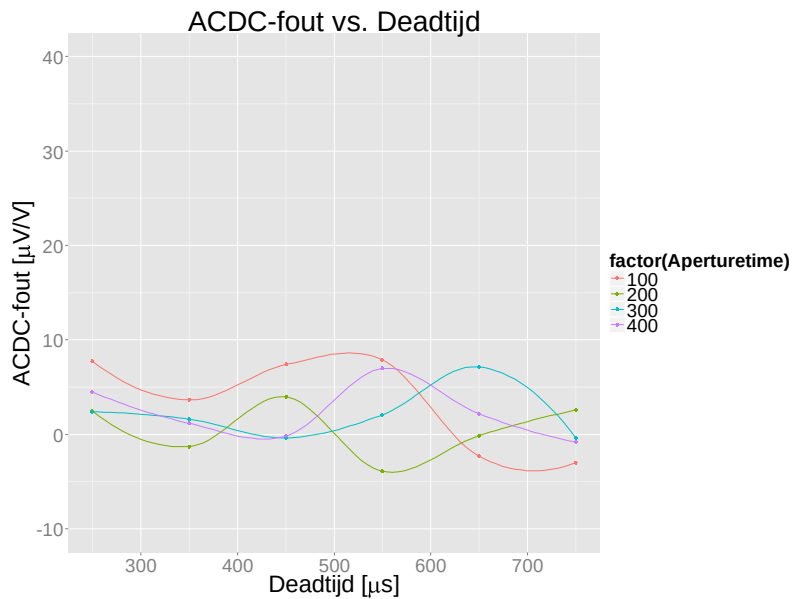
De meest gedane metingen hebben een f_{sig} van 53/60 Hz omdat dit de frequenties zijn waarmee VSL haar metingen doet. Om de hoofdvraag te beantwoorden wordt ook gekeken naar hogere f_{sig} . In grafiek 17 is dit gedaan tot $f_{\text{sig}} = 1000 \text{ Hz}$ bij $T_{\text{aper}} = 200 \mu\text{s}$ en $T_{\text{dead}} = 250 \mu\text{s}$. Deze parameters geven een $f_{s, \text{max}}$ van 2.1 kHz. Duidelijk te zien is dat de afwijking op het interval 50-550 Hz ongeveer 15 $\mu\text{V/V}$ bedraagt en vanaf 550 Hz de afwijking alleen nog toeneemt. Uit de specificaties^[11] van de Fluke 792A blijkt dat de AC/DC-omzetter een juiste werking heeft bij $f_{\text{sig}} \geq 40 \text{ Hz}$ en daarom zijn er geen metingen verricht op lagere signaalfrequenties.

Aanvullend onderzoek

Uit de resultaten zijn nog enkele onderwerpen naar voren gekomen waar verder onderzoek naar gedaan is. Tot nu toe zijn de AC/DC-metingen gedaan met de Fluke 792A, die op het elektriciteitsnet aangesloten is. Echter heeft de Fluke 792A ook een accu, wat aanleiding is geweest om metingen met AC/DC te herhalen. Er is ook nog onderzoek gedaan naar het nemen van meer samples bij dezelfde instellingen als van de AC/DC-meting. Dit geldt voor zowel meten op het elektriciteitsnet als meten op de accu van de Fluke 792A.

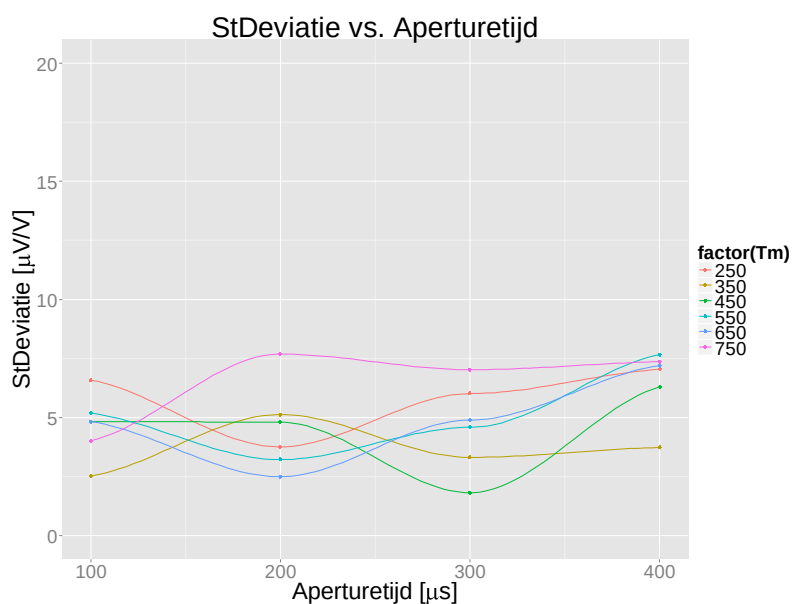
Metten op accu Fluke 792A

De twee volgende grafieken zijn metingen waarbij de Fluke 792A niet aangesloten is op het elektriciteitsnet, maar gebruik maakt van zijn accu als voeding.



Grafiek 18. Afwijking bij het meten op de accu van de Fluke 792A.

Wanneer grafiek 18 vergeleken wordt met grafiek 15 blijkt dat de AC/DC-fout niet veel verschilt bij dezelfde parameters T_{dead} en T_{aper} . Dit geldt ook voor de standaarddeviatie, welke gegeven is in grafiek 19.



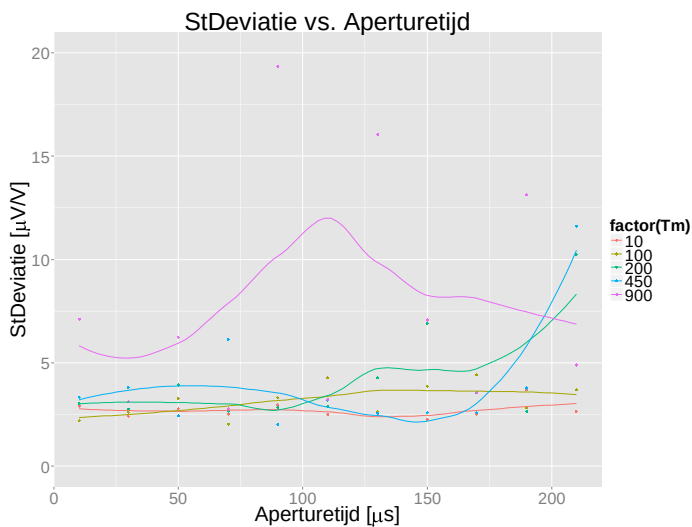
Grafiek 19. Standaarddeviatie bij meten op de accu van Fluke 792A.

Langer meten aan signaal

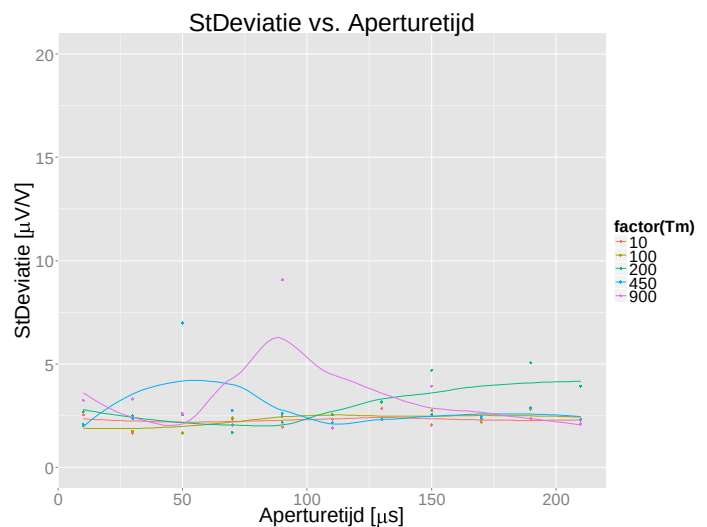
Na het onderzoeken van de invloed van deze instellingen kan er gekeken worden naar de hoeveelheid samples per meting, kort gezegd de tijdsduur van een meting. Hoe meer samples genomen moeten worden bij een bepaalde samplingfrequentie, des te langer deze meting zal duren. Het meten van één seconde wordt gehanteerd om ongewilde effecten (bijv. oppik) te voorkomen. Na de metingen met één seconde, kan de onderstaande vraag gesteld worden:

Wat is het effect wanneer men meer samples neemt? En wat zijn hier de voor- en/of nadelen van?

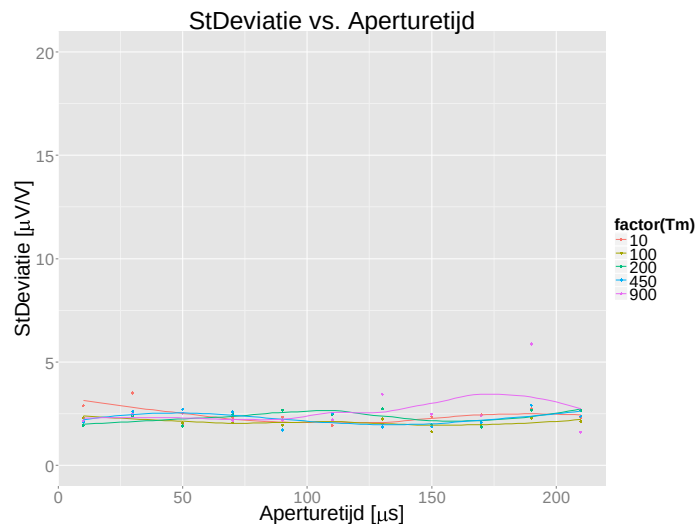
Het doel van langer meten is onderzoeken of de metingen nauwkeuriger worden, vandaar dat nu alleen de standaarddeviatie uitgezet is tegen de aperturetime. Voor de andere grafieken (afwijking-deadtime en afwijking-aperturetime) wordt verwezen naar bijlage 1.7.



Grafiek 20. Standaarddeviatie bij één seconde meten.



Grafiek 21. Standaarddeviatie bij twee seconden meten.

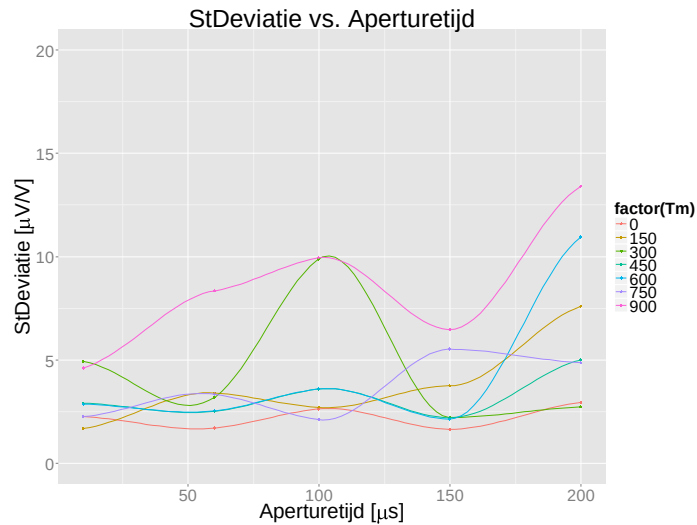


Grafiek 22. Standaarddeviatie bij drie seconden meten.

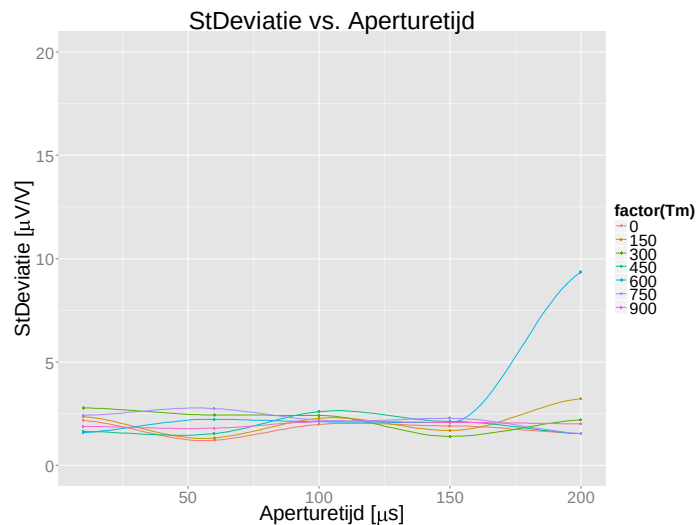
Uit deze meting blijkt dat het langer meten aan het signaal tot aan 3 seconden tot een verlaging van de standaarddeviatie leidt. In bijlage 1.7 is ook steekproefsgewijs aangetoond dat langer meten dan 3 seconden (4 of 5 seconden) geen lagere standaarddeviatie oplevert. Dit gedrag wordt ook vertoond bij een f_{sig} van 60 Hz en door de andere multimeter wanneer deze op eenzelfde wijze aangesloten is.

Langer meten op accu Fluke 792A

Na het langer meten aan het signaal met het elektriciteitsnet als voeding voor de Fluke 792A, wordt nu langer gemeten met de accu als voeding. Voor het gemak wordt nu alleen het verschil tussen één en drie seconden weergegeven.



Grafiek 23. Standaarddeviatie bij één seconde meten op accu Fluke 792A.



Grafiek 24. Standaarddeviatie bij drie seconden meten op accu Fluke 792A.

Ook hier blijkt dat het nemen van meer samples en dus langer meten van invloed is op de standaarddeviatie. Dit komt doordat er drie keer zoveel data verzameld wordt en eventuele stoorsignalen door het middelen van de resultaten er uit gefilterd worden.

Gedrag apparaatspecifiek?

Tijdens het meten van DC en het meten van AC zijn de metingen ook uitgevoerd met de REF en de DUT omgedraaid. In bijlagen 1.2 en 1.4 wordt aangetoond dat het vertoonde gedrag apparaatspecifiek is en dus niet voor elke multimeter hetzelfde hoeft te zijn.

Conclusie

Uit het DC-gedrag blijkt dat een $T_{\text{aper}} \geq 100 \mu\text{s}$ voor een constante afwijking bij $0 \mu\text{s} \leq T_{\text{dead}} \leq 900 \mu\text{s}$. Dit betekent dat vanaf $T_{\text{aper}} = 100 \mu\text{s}$ de apertuuretijd onafhankelijk is van de deadtijd. Een zeer korte apertuuretijd ($\leq 50 \mu\text{s}$) zorgt voor een grotere afwijking ten opzichte van de andere apertuuretijden. De standaarddeviatie neemt ook sterk af na $T_{\text{aper}} = 100 \mu\text{s}$. De optimale $T_{\text{aper}} = 200 \mu\text{s}$.

Het gebruik van AZERO maakt metingen nauwkeuriger door een extra meting uit te voeren, maar het meten met deze instelling duurt dan ook twee keer zo lang. Een andere eigenschap van AZERO is dat de hoogst haalbare f_s 4 kHz bedraagt, waar AZERO 100 kHz kan halen bij dezelfde T_{aper} .

Het AC-gedrag laat zien dat de het meten bij $10 \mu\text{s} \leq T_{\text{aper}} \leq 100 \mu\text{s}$ en $T_{\text{aper}} \geq 100 \mu\text{s}$ een verschil in de afwijking zit. Dit komt door de verschillende run-up/run-down-cycli van de ADC van de multimeter. Bij de lagere T_{aper} is deze minder nauwkeurig en varieert de afwijking. Bij de hogere T_{aper} blijft de afwijking meer constant. Dit geldt voornamelijk voor $T_{\text{dead}} \leq 750 \mu\text{s}$.

Het uitvoeren van een ACAL heeft bij de AC/DC-metingen een minimaal effect op de DUT maar niet op de REF: de standaarddeviatie van de REF gaat omlaag. Bij de DUT blijft dit effect uit door oppik.

Het meten van de AC/DC-fout met onderstaande parameters geeft een maximale afwijking van $15 \mu\text{V/V}$ met een standaarddeviatie van $3 \mu\text{V/V}$. Dit toont aan dat het meten van AC in het DC-bereik een grotere nauwkeurigheid geeft dan het meten van AC in het AC-bereik bij $f_{\text{sig}} = 53 \text{ Hz}$ of $f_{\text{sig}} = 60 \text{ Hz}$.

- $100 \mu\text{s} \leq T_{\text{aper}} \leq 400 \mu\text{s}$
- $250 \mu\text{s} \leq T_{\text{dead}} \leq 750 \mu\text{s}$
- $T_{\text{process}} = 21 \mu\text{s}^{[2]}$
- $0.85 \text{ kHz} \leq f_s \leq 8.26 \text{ kHz}$
- AZERO OFF
- ACAL uitvoeren
- $U_{\text{sig}} = 0.707 \text{ VRMS}$
- $40 \leq f_{\text{sig}} \leq 550 \text{ Hz}$

Bij het nemen van meer samples zal er ook nauwkeuriger gemeten kunnen worden door de multimeter, dit kan tot maximaal drie keer zoveel samples. Bij een hoger aantal levert dit geen significante verbetering op in de nauwkeurigheid. Een nadelig effect is dat de meting ook evenredig langer zal duren.

Het verschil in voeding voor de Fluke 792A (elektriciteitsnet of accu) toont nagenoeg geen verschil in de resultaten. Het nemen van meer samples geeft ook hetzelfde resultaat bij de accu als voeding voor de Fluke 792A.

Wanneer meteen andere f_{sig} gemeten wordt, is gebleken dat $40 \text{ Hz} \leq f_{\text{sig}} \leq 550 \text{ Hz}$ moet zijn om een maximale afwijking van $10 \mu\text{V/V}$ te krijgen bij $T_{\text{aper}} = 200 \mu\text{s}$ en $T_{\text{dead}} = 250 \mu\text{s}$.

Uit de resultaten blijkt dat het gedrag van de multimeter niet overeenkomt met een multimeter van hetzelfde type en dus kan geconcludeerd worden dat dit gedrag apparaatspecifiek is.

Afsluitend, het is inderdaad mogelijk om met behulp van een 'simpele' DC-kalibratie de AC-afwijking van de multimeter te bepalen, mits dit gebeurt met de eerder beschreven waarden van de parameters.

Symbolenlijst en afkortingen

f_s	Samplingfrequentie.
f_{sig}	Frequentie van het te meten signaal.
U_{sig}	Spanning van het te meten signaal.
Taper	<i>Apertuuretijd</i> . De tijd hoe lang binnen één sample het signaal gemeten wordt in μs .
$T_{process}$	<i>Processtijd</i> . Tijd die nodig is voor het verwerken van de gemeten waarde.
T_{dead}	<i>Deadtijd</i> , de resttijd bij het nemen van één sample.
REF	<i>Referentie</i> . De multimeter die via de 792A f_{sig} meet.
DUT	<i>Device Under Test</i> , de multimeter waar F_{sig} direct gemeten wordt.
ACAL	<i>Auto CALibration</i> . Functie van de multimeter waarbij hij intern diverse parameters kalibreert.
AZERO ON/OFF	Functie van de multimeter waarbij de nauwkeurigheid van meten groter is maar de tijd van het meten langer duurt.
DC	Gelijkspanning.
DC+	Positieve gelijkspanning.
DC-	Negatieve gelijkspanning.
AC	Wisselspanning.
DCV	Modus van de multimeter waarin DC gemeten kan worden.
ACV	Modus van de multimeter waarin AC gemeten kan worden.
Reading	Eén meting met bepaalde instellingen van o.a. T_{aper} , T_{dead} , f_s .
NDRGS	<i>Number Of Readings</i> . Het door de multimeter te nemen aantal samples. Niet te verwarren met 'Number Of Readings' van Labview, waar het om het aantal herhalingen van readings gaat.
μ	Voorvoegsel ter aanduiding van een factor 10^{-6} .
V	Volt.
Ω	Ohm. De hoeveelheid weerstand.
$\pm$	Ongeveer.
σ	Standaarddeviatie
gem	Gemiddeld.

Referenties

- [1] www.vsl.nl. Website bezocht op 20-02-2015.
- [2] Agilent Technologies 3458A Multimeter. User's Guide - 5th Edition. E-book, 2012. Website bezocht op 18-02-2015.
<http://exodus.poly.edu/~kurt/manuals/manuals/HP%20Agilent/HP%203458A%20User.pdf>
- [3] Component-level information packet for HP3458A Digital Multimeter. Hewlett Packard, 1989. Website bezocht op 08-04-2015.
<http://exodus.poly.edu/~kurt/manuals/manuals/HP%20Agilent/HP%203458A%20Component-Level%20Information%20Packet.pdf>
- [4] High Precision, Wide-band to RMS-to-DC-converter. Analog Devices, 1999. Website bezocht op 07-05-2015.
<http://exodus.poly.edu/~kurt/manuals/manuals/HP%20Agilent/HP%203458A%20Component-Level%20Information%20Packet.pdf>
- [5] Precision AC voltage measurements using digital sampling techniques. Ronald L. Swerlein, april 1989. Website bezocht op 25-02-2015.
<http://www.hpl.hp.com/hpjournal/pdfs/IssuePDFs/1989-04.pdf>
- [6] An 8½-digit integrating ADC with 16-bit, 100,000 samples-per-second performance. Wayne C. Goeke. Hewlett-Packard Journal, april 1989. Website bezocht op 08-04-2015.
<http://exodus.poly.edu/~kurt/manuals/manuals/HP%20Agilent/HP%203458A%20Component-Level%20Information%20Packet.pdf>
- [7] PM5150 Arbitrary waveform generator 20 MS/s. Operating Manual. Website bezocht op 12-03-2015.
http://assets.fluke.com/manuals/PM5150__omeng0000.pdf
- [8] Gegevens beschikbaar gesteld door VSL.
- [9] The 5700A/5720A Series II High Performance Multifunction Calibrators - Extended Specifications. E-book 2012. Website bezocht op 18-02-2015.
<http://us.flukecal.com/literature/product-literature/specifications/5700a5720a-extended-specifications>
- [10] Verhoogde nauwkeurigheid bij asynchroon samplen. V.C.S. Hamoen, 17-07-2013.
- [11] 792A AC/DC transfer standard. Instruction Manual – E-book, 2006. Website bezocht op 18-02-2015.
<http://us.flukecal.com/literature/product-manuals/792a-instruction-manual>

Bijlagen

Bijlage 1 – Meetrapporten

1.1 Onderzoeken van het volledige bereik van de multimeter

Doel

Het onderzoeken van opvallendheden binnen het volledige bereik van de multimeter (zoveel mogelijke combinaties van apertuuretijden en samplingfrequenties) aan de hand van enkele specificaties van de multimeter. Hiermee kan worden bepaald welk(e) gebied(en) van het bereik interessant zijn om nader onderzoek naar te verrichten.

Theorie

Om het gedrag van de multimeter te bepalen wordt voor DC een standaard gebruikt. De Fluke 732A. Deze geeft een constante spanning van 0.999965 volt met een onzekerheid van $0.20 \mu\text{V/V}$. De multimeter wordt via de PC aangestuurd en uitgelezen door middel van een GPIB-verbinding. Zie ook hoofdstuk 'Meetprocedure'.

Omdat deze meting lang duurt (± 70 uur) wordt deze in het weekend aanzet om optimaal gebruik te maken van de beschikbare tijd. De meting duurt lang omdat er veel combinaties mogelijk zijn van apertuuretijd en samplingfrequentie. En dat een aantal keer achter elkaar om te kunnen middelen over die metingen. Het grote nadeel van deze manier van meten is dat er niet direct gehandeld kan worden in het geval van eventuele foutmeldingen gedurende de meting, bijv. meten buiten het bereik van de multimeter. Overigens wordt deze foutmelding voorkomen door een filter in het script dat 'Settingsfile'heet. Dit filter zorgt ervoor dat tot maximaal 95% van het bereik gemeten wordt.

Uitvoering

- **Opstelling**



Figuur 1. Opstelling meetapparatuur.

- **Meetmethode**

Er worden verschillende apertuuretijden en samplingfrequenties gekozen. De apertuuretijden zijn van $10 \mu\text{s}$ tot $200 \mu\text{s}$ in stappen van $10 \mu\text{s}$ en vanaf $200 \mu\text{s}$ zijn de overige apertuuretijden in tabel 1 weergegeven. Er wordt gebruik gemaakt van de functie AZERO OFF. Met deze meting zijn er 500 samples genomen per samplingfrequentie. Er worden 40 readings gedaan.

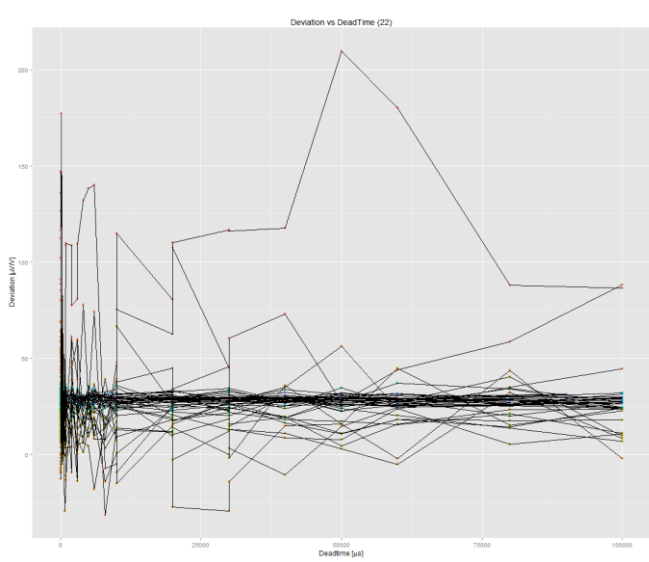
Apertuuretijden in μs	Samplingfrequenties in Hz
200	10
300	20
400	50
500	100
1000	200
3000	500
5000	1000
7500	2000
10000	4000
30000	5000
50000	10000
75000	25000
100000	50000

Tabel 1. Apertuuretijd en samplingfrequenties.

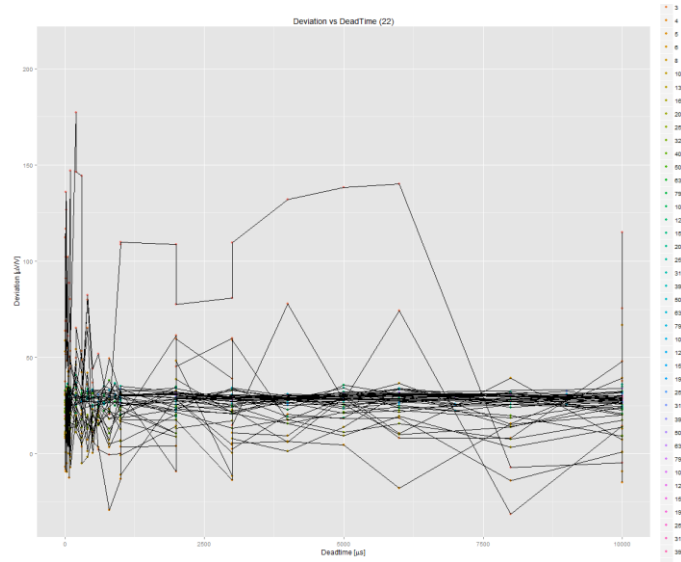
Resultaten

Metingen

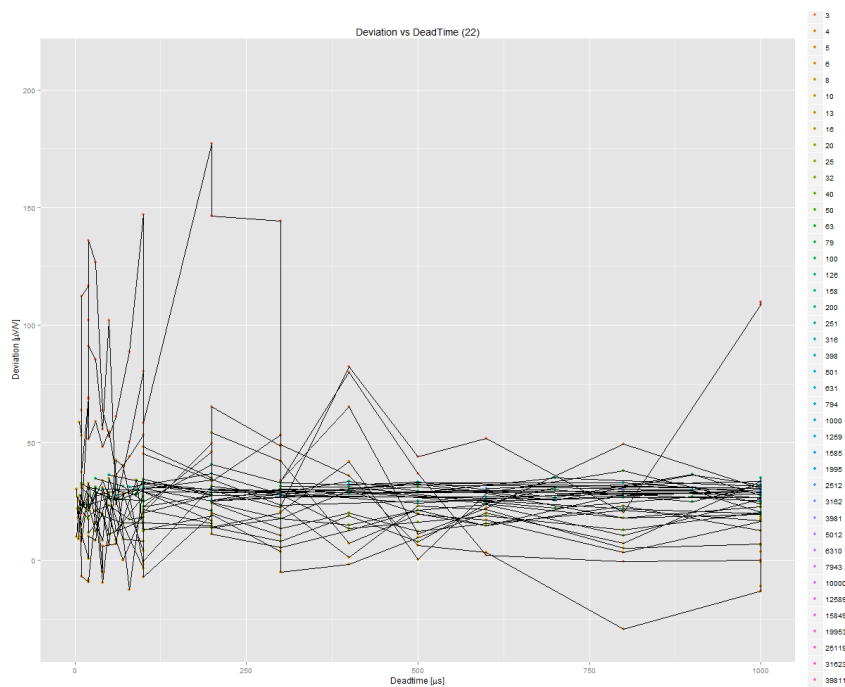
In grafiek 2 met interval (0, 100000) is te zien dat de meeste meetpunten op een rechte lijn liggen met enkele punten afwijkend daaraan. Daarom zal er meer ingezoomd worden op een kortere deadtijd, waar de afwijking op meer meetpunten afwijkt dan bij een langere deadtijd. Dit herhaalt zich tot het interval (0,1000) waarbij de verschillen iets duidelijker te zien zijn. Voor het gemak zijn de intervallen onder de grafieken gezet en de grafieken iets verkleint voor papierbesparing. De schaalverdeling van de y-as (in $\mu\text{V}/\text{V}$) blijft constant: (-40, 200).



Grafiek 25. Interval 0,100000.



Grafiek 26. Interval 0, 10000.



Grafiek 27. Interval (0,1000).

Conclusie

Uit de resultaten blijkt dat bij het meten van DC binnen het bereik van de multimeter dat de meeste variatie in deviatie optreedt bij een lagere deadtijd (0-500 μ s). Daarom zal op dit interval meer onderzoek moeten plaatsvinden.

Daarnaast zal ook de software aangepast moeten worden. Tijdens het meten is geprobeerd de samplingfrequentie te variëren, maar de software houdt vast aan de geïnitieerde waarde. Hierdoor duurt niet elke meting één seconde en dus zal een functie gebouwd moeten worden waarbij dit aantal wel in te stellen is. Bij de langer durende metingen wordt ook bijvoorbeeld langer ruis gemeten wat de meting sterk kan beïnvloeden. Welke soort ruis dit is, is op het moment onbekend. Hier wordt vooralsnog verder geen onderzoek naar gedaan omdat dit op het moment van meten niet direct relevant is. Wellicht dat dit aspect in een later stadium wel onderzocht kan worden.

1.2 DC-meting

Doel

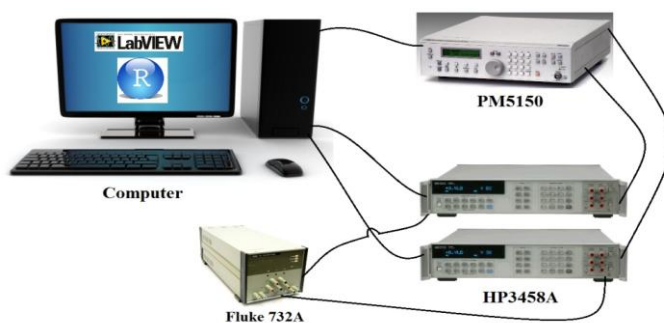
Onderzoeken van het gedrag van de multimeter onder de invloed van een externe timer (PM5150) in plaats van de interne timer van de multimeter, bij apertuurtijden tussen 10-500 μ s en deadtijden 0-900 μ s.

Theorie

Elke HP3458A heeft een interne timer. Om beide multimeters op hetzelfde moment te laten samplen wordt gebruik gemaakt van een externe timer (PM5150). Het samplen met twee multimeters zorgt tegelijk voor resultaten voor het onderzoek naar apparaatspecifiek gedrag.

Uitvoering

- **Opstelling**



Figuur 2. Opstelling meting.

- **Meetmethode**

Uit een eerdere meting is geconcludeerd dat er tussen 0 μ s en 900 μ s deadtijd gemeten moet worden. Om de grootte van de meting te beperken wordt gekozen voor 45 verschillende deadtijden en dus 45 samplingfrequenties. Er worden 23 verschillende apertuurtijden gehanteerd, minimaal 10 μ s en maximaal 500 μ s.

Aan de hand daarvan is bepaald dat de maximale samplingfrequentie 703 Hz is bij een apertuurtijd van 500 μ s, rekening gehouden met de processtijd (21 μ s) en het bereik van de multimeter. De computer stuurt de apertuurtijden naar de multimeters en de samplingfrequenties naar de PM5150, die op zijn beurt het juiste signaal doorgeeft aan de multimeters. De functie AZERO ON/OFF staat op OFF voor een groter bereik. Er wordt in het 1 volt bereik gemeten.

Resultaten

- **Metingen**

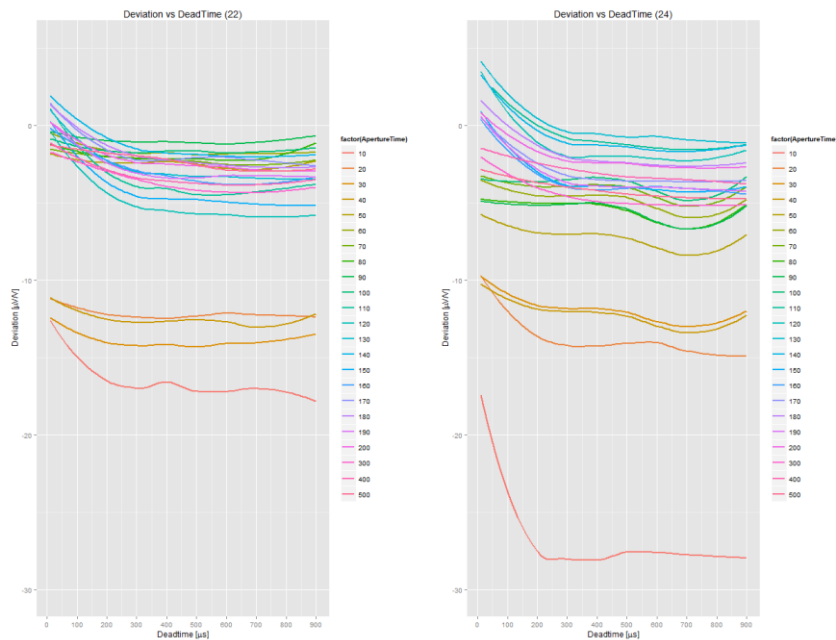
In de volgende grafieken zijn de volgende gegevens uiteengezet:

Grafiek 1 en 2: Deviatie als functie van de deadtijd.

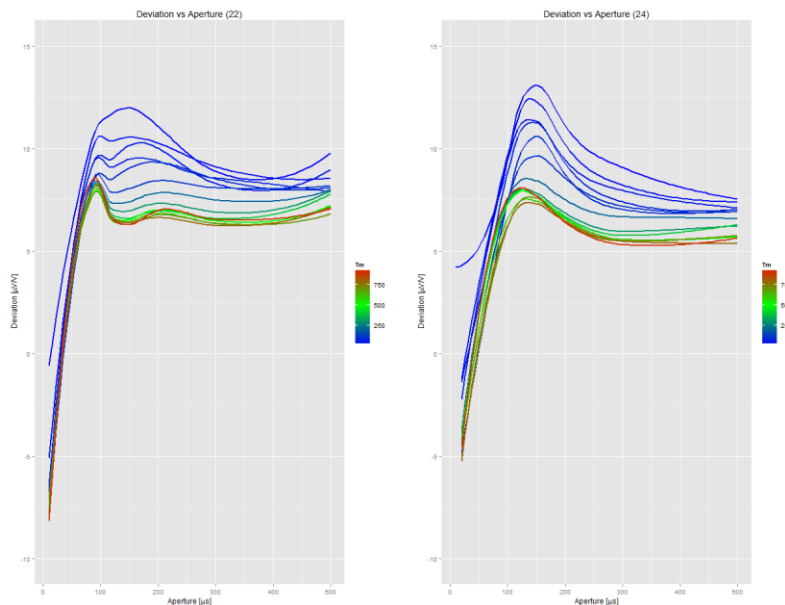
Grafiek 3 en 4: Deviatie als functie van de apertuuretijd

Grafiek 5 en 6: Standaarddeviatie als functie van de apertuuretijd.

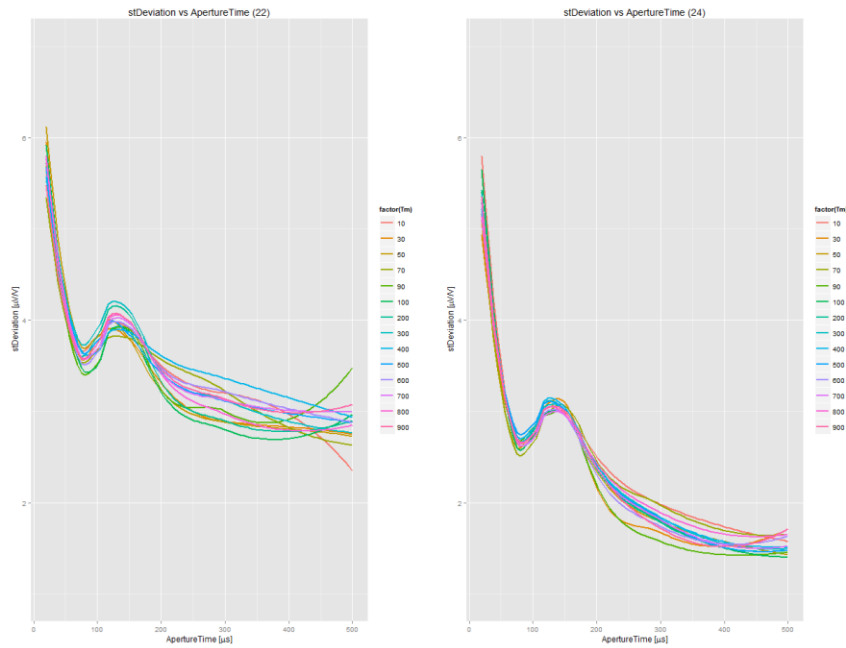
De grafieken 1, 3 en 5 zijn afkomstig van dezelfde multimeters, evenals dat de grafieken 2, 4 en 6 van dezelfde multimeter zijn. Dit is aangeduid met 22 en 24 in de titels van de grafieken. Deze nummers staan ook op de multimeters als gevolg van een nummeringsysteem voor apparaten binnen het bedrijf.



Grafieken 1 en 2. Deviatie als functie van deadtijd.

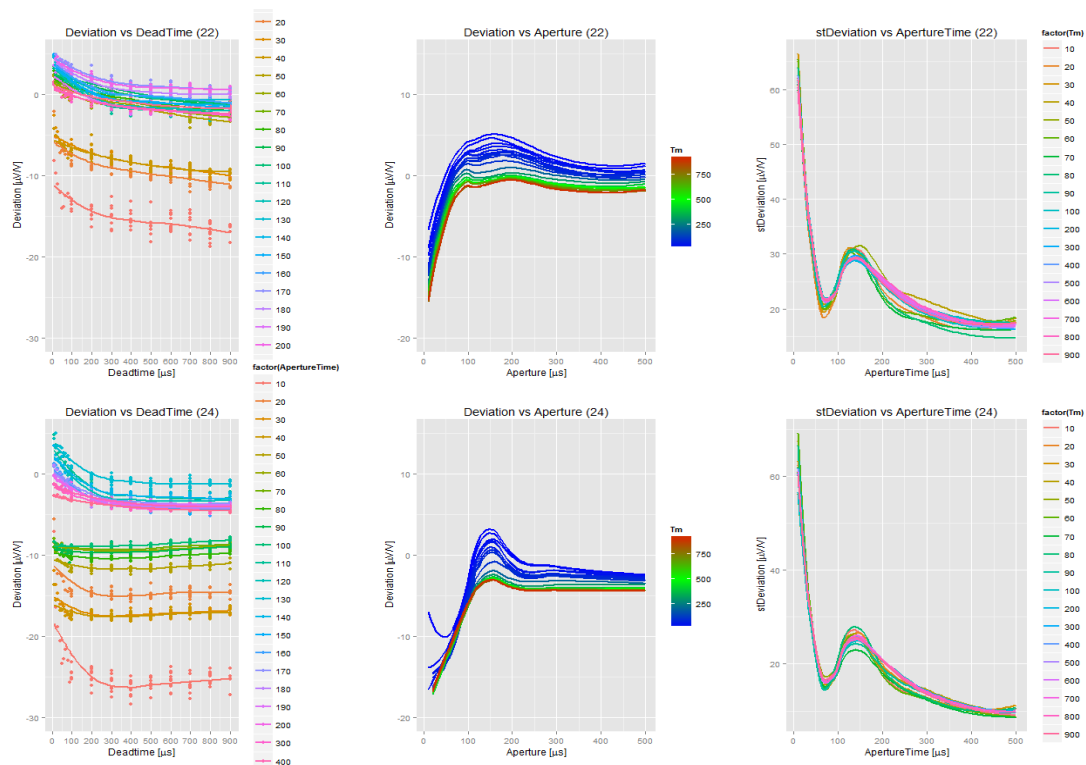


Grafieken 3 en 4. Deviatie als functie van apertuuretijd.



Grafieken 5 en 6. Standaarddeviatie als functie van apertuuretijd.

Na bovenstaande meting is dezelfde meting uitgevoerd maar dan met 10 volt. Dit gaf de volgende resultaten:



Figuur 3. Grafieken 1 t/m 6 voor meten met 10 volt.

Conclusie

Uit grafieken 1 en 2 blijkt dat de afwijking bij een apertuuretijd van ongeveer 500 μs constant blijft bij diverse deadtijden. En dat bij kortere apertuuretijden de afwijking groter is.

In grafiek 3 is te zien dat de afwijking voor elke deadtijd ook steeds kleiner wordt bij een grotere apertuuretijd en vanaf $\pm 100 \mu\text{s}$ de afwijking nagenoeg constant wordt bij diverse deadtijden. Vanaf $\pm 450 \mu\text{s}$ wordt de afwijking

nog kleiner en dit zou een mogelijke uitbreiding kunnen zijn op het onderzoek. Opvallend is ook het verschil tussen de multimeters, in grafiek 4 ligt de afwijking bij lagere deadtijden hoger en wordt pas vanaf $\pm 250 \mu\text{s}$ apertuuretijd constanter.

Bij de laatste 2 grafieken (5 en 6) wordt de standaarddeviatie weergegeven als functie van de apertuuretijd. Hier is ook te zien dat een grotere apertuuretijd resulteert in een kleinere standaarddeviatie voor elke deadtijd. Het verschil in de standaarddeviatie tussen de twee grafieken wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door ruis. Een andere mogelijkheid zou kunnen zijn dat de multimeters geen ACAL (Auto-CALibration) hebben gedaan alvorens te meten. Dit zal nog verder onderzocht moeten worden.

De resultaten van het meten bij 10 volt zijn soortgelijk aan die van het meten bij 1 volt. Hiermee zijn dezelfde resultaten gereproduceerd en kan vervolgens AC gemeten worden in de DCV modus.

1.3 Invloed instelling AZERO ON/OFF bepalen

Doel

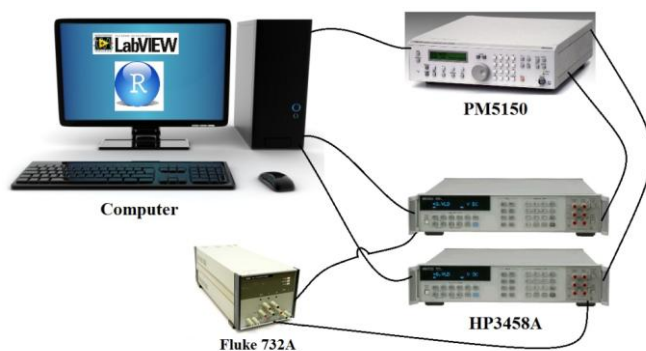
Het bepalen van de invloed van de instelling AZERO ON van de multimeter ten opzichte van AZERO OFF.

Theorie

De multimeter HP3458A maakt bij het meten gebruik van de instelling AZERO ON of AZERO OFF (AutoZERO). Uit de specificaties van de multimeter blijkt dat AZERO ON nauwkeuriger kan meten dan AZERO OFF. Dit komt omdat AZERO ON aan het begin van elke meting een 'nulmeting' maakt en deze aftrekt van de opvolgende meting. Hiermee worden interne 'offset errors' voorkomen. Het meten met AZERO ON duurt dus ook langer omdat er een extra handeling per meting verricht wordt. Een nadeel van AZERO ON is dat het meetbereik van de multimeter sterk verkleind wordt. Zie ook bijlage 1.1. voor grafische weergave van dit verschil in meetbereik.

Uitvoering

- **Opstelling**



- **Meetmethode**

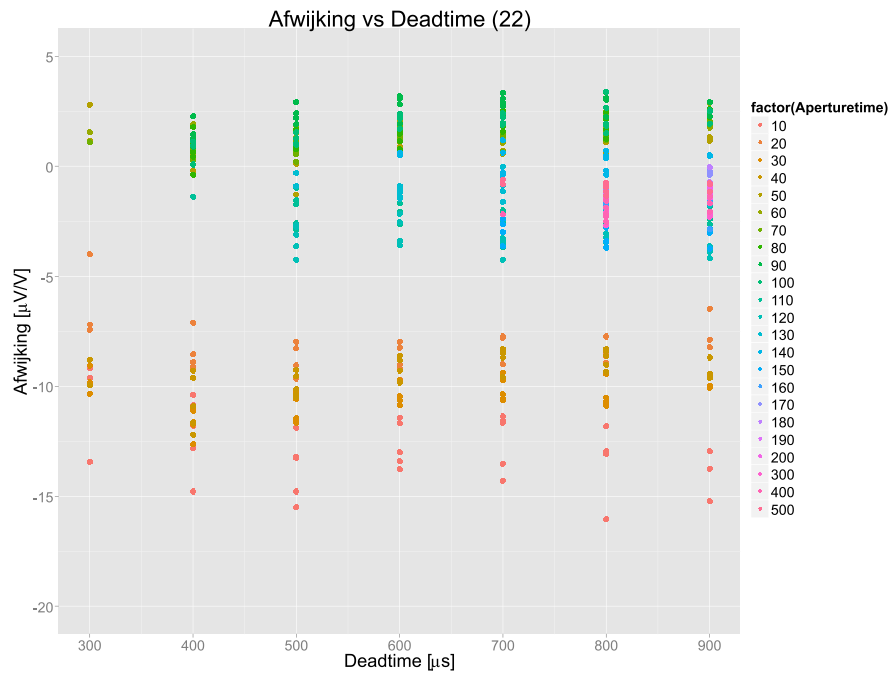
AZERO ON wordt gebruikt in plaats van AZERO OFF. 45 verschillende deadtijden en 23 verschillende apertuuretijden, minimaal $10 \mu\text{s}$ en maximaal $500 \mu\text{s}$.

Voor het leesgemak zijn de samplingfrequenties achterwege gelaten, deze kunnen uit bovenstaande gegevens afgeleid worden. Er wordt in het 1 volt bereik gemeten. Vervolgens zullen de resultaten vergeleken worden met die van bijlage 1.2.

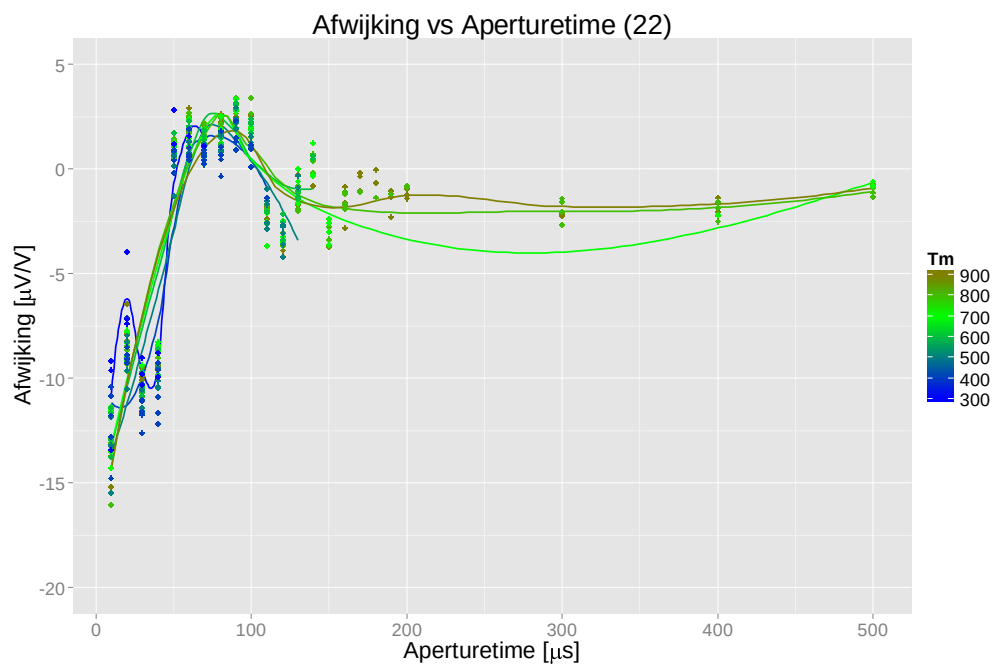
Resultaten

- **Metingen**

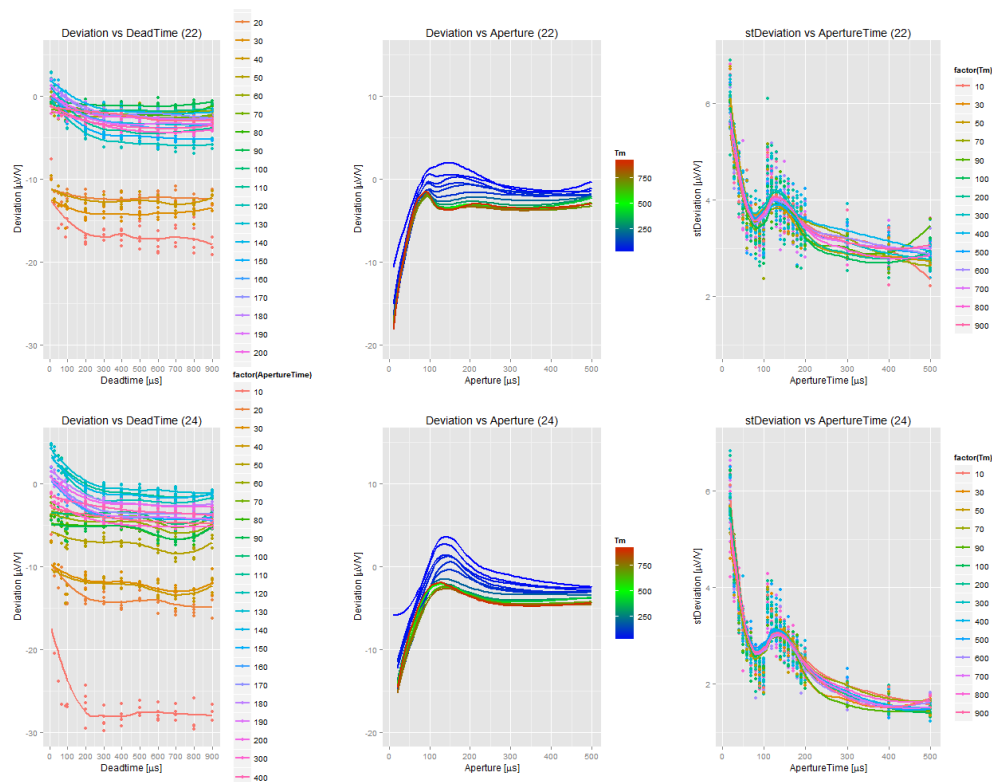
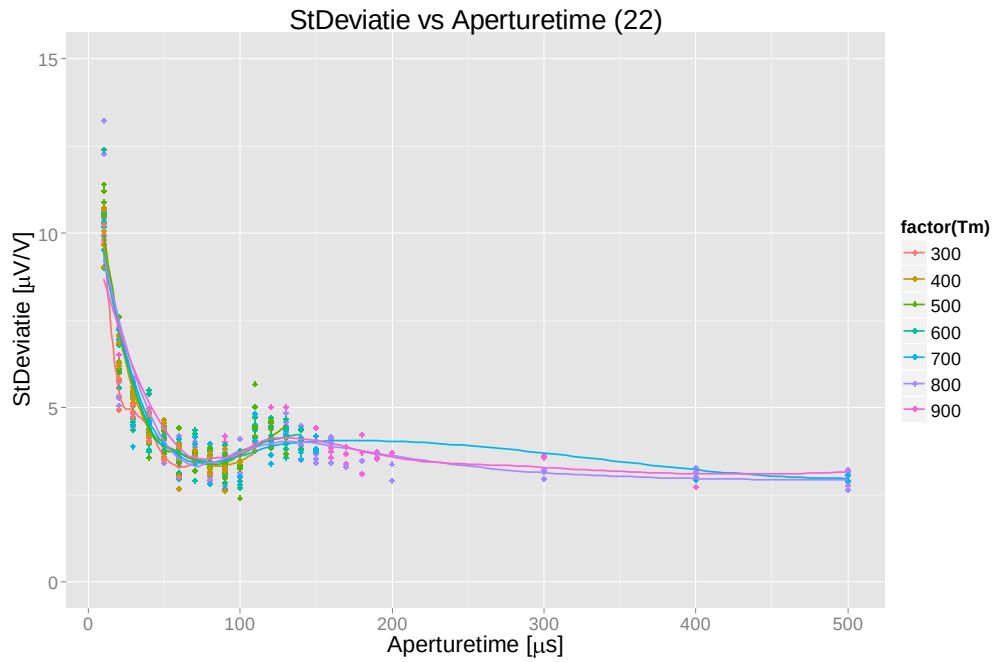
De eerste drie grafieken zijn met AZERO ON. Aansluitend zijn resultaten van de DC-meting met AZERO OFF van beide multimeters toegevoegd ter vergelijking.



Grafiek 1.



Grafiek 2.

**Figuur 2.****Conclusie**

Bij de lagere apertuurtijden ($< 50 \mu\text{s}$) blijkt dat AZERO ON ongeveer $4 \mu\text{V/V}$ nauwkeuriger meet dan met de functie AZERO OFF. Bij de hogere apertuurtijden ligt dit verschil rond $2 \mu\text{V/V}$.

Door AZERO ON ontbreken meetpunten (samplingfrequenties $> 4 \text{ kHz}$) die bij AZERO OFF wel zichtbaar zijn. Hierdoor kunnen geen concrete uitspraken gedaan worden over de grafieken 2 en 3, daar het wel in de lijn der

verwachting zal liggen dat deze grafieken dezelfde vorm zullen aannemen als die bij AZERO OFF. Opvallend is dat in grafiek 2 vanaf 100 μ s apertuuretijd pas een meer constante afwijking krijgt.

1.4 AC-meting

Doel

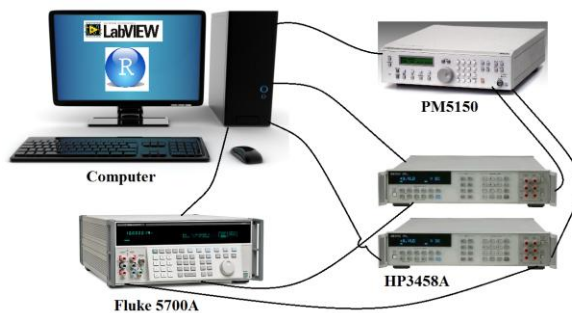
Het bepalen van het gedrag van de multimeter bij het meten van AC in DCV-modus.

Theorie

Met de multimeter HP3458A kan onder andere AC gemeten worden. De multimeter heeft hier een modus voor, de ACV-modus. Deze functie kan tot maximaal 6 decimalen nauwkeurig meten. De multimeter kan in de DCV-mode tot maximaal 8 decimalen nauwkeurig meten. VSL beweert dat AC nauwkeuriger gemeten kan worden in de DCV-modus met behulp van een speciaal ontwikkeld algoritme. Om hier bewijs voor te leveren wordt dit onderzoek gedaan. Daarom wordt deze meting uitgevoerd in de DCV-mode. Voor het opwekken van het te meten signaal wordt een Fluke 5700A Calibrator gebruikt. Dit apparaat kan zowel DC- als AC- signalen genereren.

Uitvoering

- **Opstelling**



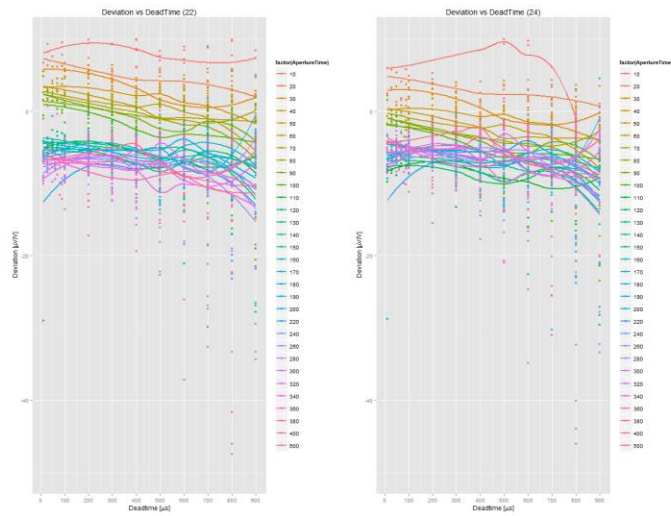
- **Meetmethode**

De instellingen zijn hetzelfde als bij de DC-meting, met als enige verandering de frequentie van het aangeboden signaal. Deze is 0 Hz bij DC, bij AC zullen dit 53 en 60 Hz zijn. 53 Hz in plaats van 50 Hz om oppik te minimaliseren en 60 Hz omdat deze twee frequenties de frequenties zijn waar het meest mee gewerkt wordt binnen het bedrijf. De computer zal alle instrumenten aansturen. Ook hier wordt met twee multimeters gemeten zodat later onderzocht kan worden of resultaten apparaatspecifiek zijn of voor meerdere multimeters van hetzelfde model geldt. In de grafieken worden de REF (links) en de DUT (rechts) tegelijk weergegeven.

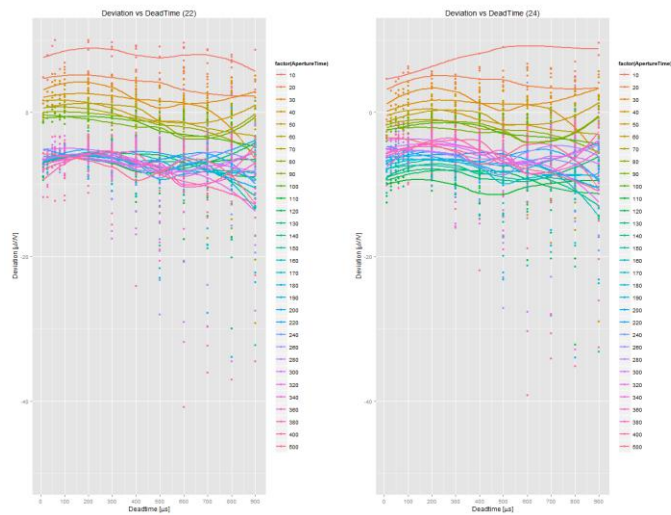
Resultaten

- **Metingen**

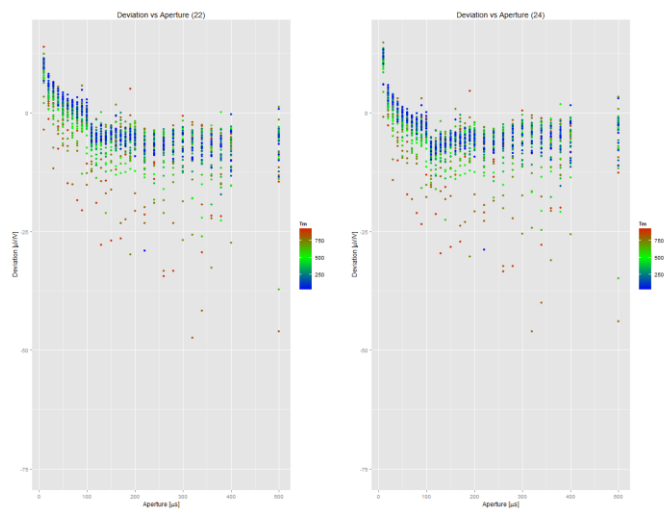
- **53 Hz**



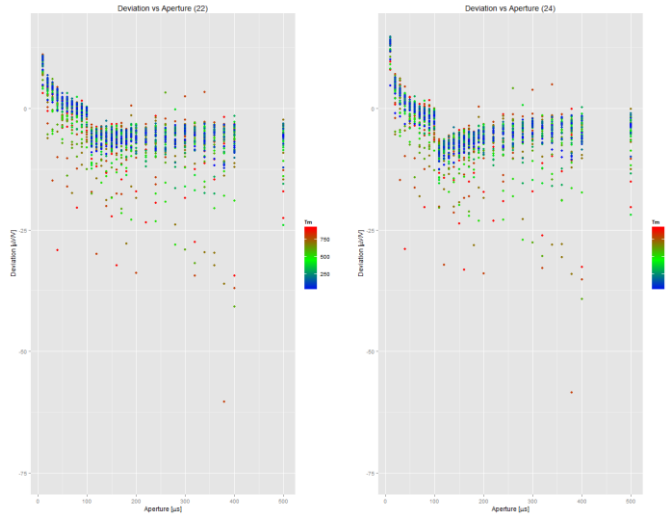
- **60 Hz**



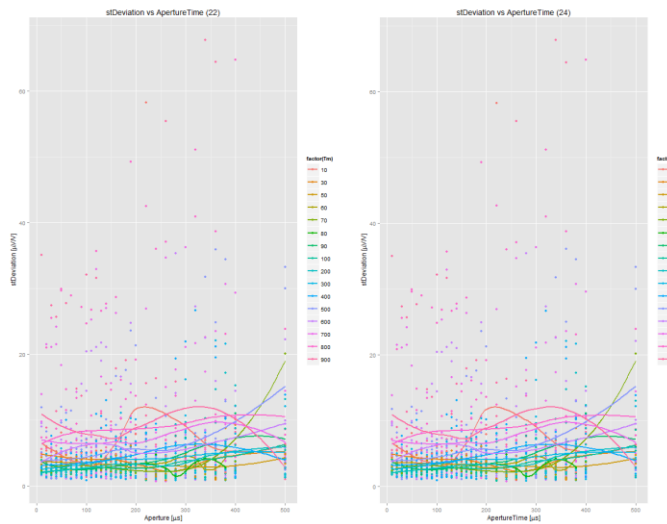
- **53 Hz**



- **60 Hz**



- **53 Hz**



- **60 Hz**



Conclusie

Uit de resultaten van de eerste twee grafieken blijkt dat er tussen 53 en 60 Hz weinig verschil zit in de afwijking per deadtijd bij verschillende aperturetijden. Dit geldt ook voor de standaarddeviatie per aperturetijd (grafieken 5 en 6). Daarentegen is het opvallend dat in grafieken 3 en 4 een 'stap' te zien is bij 100 μ s. Bij deadtijd ≤ 200 μ s is de afwijking het kleinst. Bij lage deadtijden en hoge aperturetijden wordt de afwijking minder groot. Met name vanaf aperturetijd: 200 μ s-500 μ s. Bij de lagere frequenties is de spreiding van de afwijking groter ongeacht de grootte van de aperturetijd.

Bij een grotere aperturetijd neemt ook de afwijking in de standaarddeviatie toe (grafieken 5 en 6). Dit is goed te zien bij de hogere deadtijden en dus lagere frequenties. Er kan dus geconcludeerd worden dat bij lagere frequenties de multimeter minder nauwkeurig wordt. Anderzijds zorgt een lagere aperturetijd voor een grotere afwijking bij verschillende deadtijden, dus moet er gekeken worden naar een soort van optimum voor de aperturetijd. Dit optimum is ± 200 μ s aperturetijd. De grafieken laten ook verschil zien in gedrag en daarmee is net als bij de DC-meting aangetoond dat het gedrag apparaatspecifiek is.

1.5 Invloed instelling ACAL bepalen

Doel

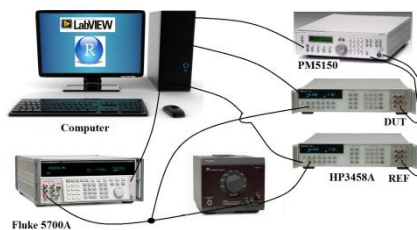
De invloed van ACAL (Auto-CALibration, instelling van de multimeter) op metingen bepalen.

Theorie

De multimeter heeft een functie genaamd ACAL, Auto-CALibration. Deze functie zorgt voor zelfkalibratie van de multimeter. Deze functie kan diverse modi (DCV, AC en OHMS) kalibreren. De fabrikant beweert dat het apparaat nauwkeuriger meet na het uitvoeren van een ACAL. In eerder en volgende onderzoeken liggen de resultaten rond de μ V/V. Daarom is het relevant om uit te zoeken of ACAL op dit niveau van significant belang is.

Uitvoering

- **Opstelling**



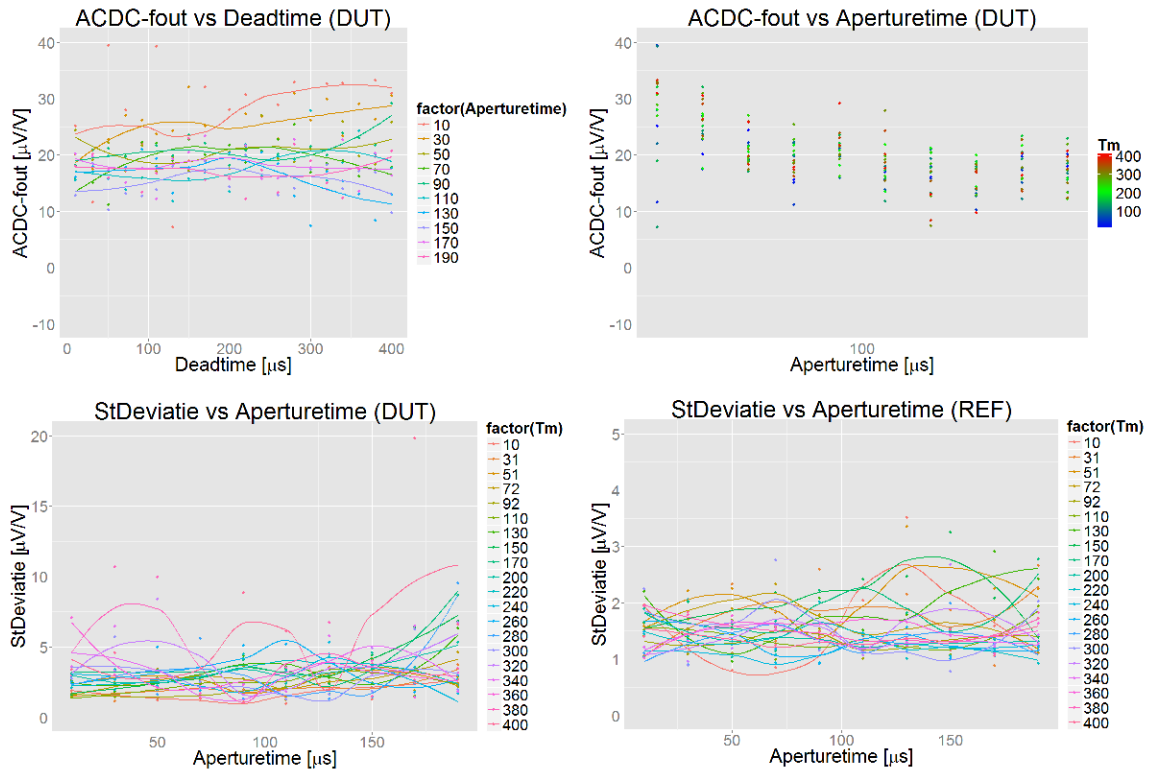
- **Meetmethode**

Aperturetijd variërend van 10 tot 210 μ s met sprongen van 20 μ s. 29 verschillende deadtijden variërend van 10 tot 910 μ s. De computer stuurt de aperturetijden naar de multimeters en de samplingfrequenties naar de PM5150, die op zijn beurt het juiste signaal doorgeeft aan de multimeters. Er wordt in het 1 volt bereik gemeten met de DUT en de 792A meet in het 0.707 volt bereik. AZERO OFF. Vervolgens dezelfde meting herhalen met vooraf een ACAL.

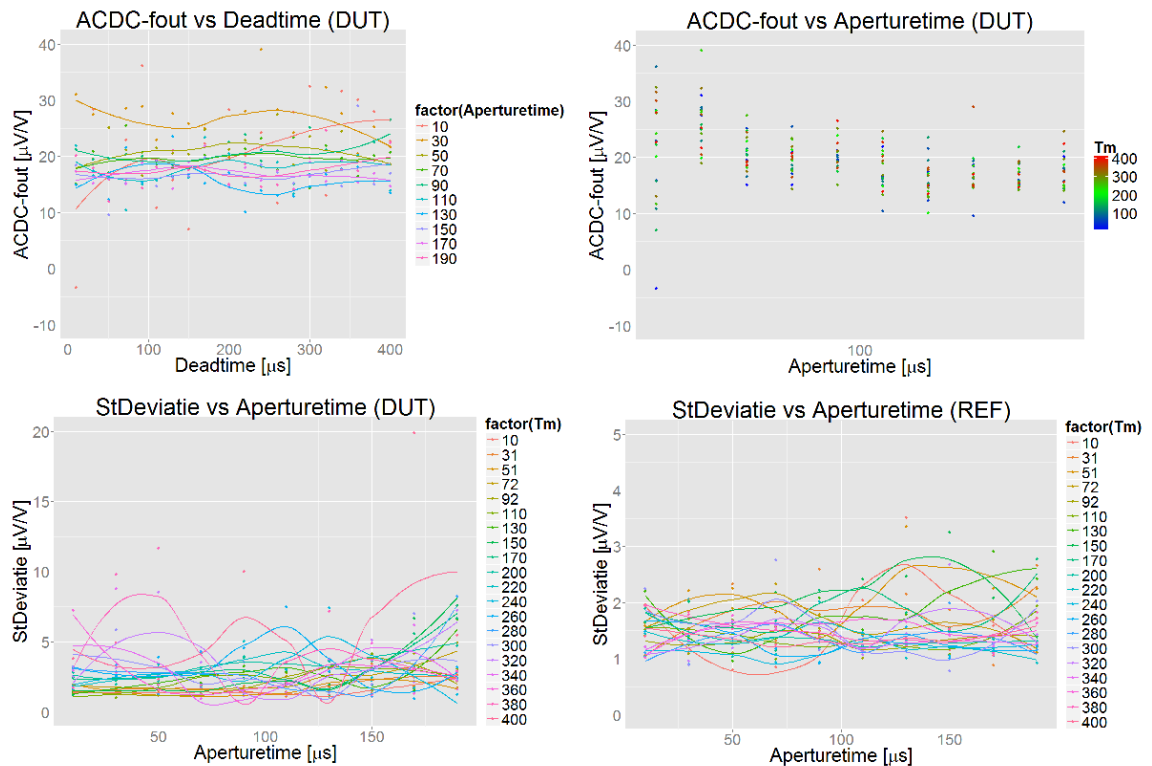
Resultaten

- **Metingen**

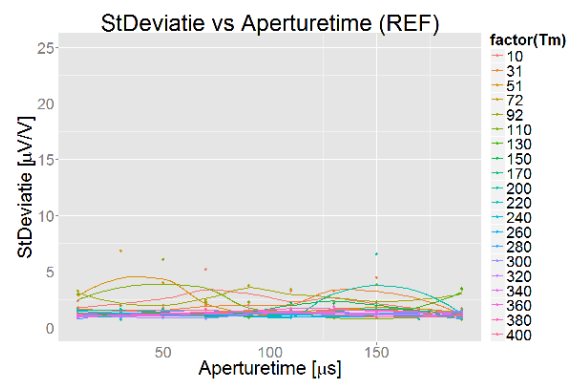
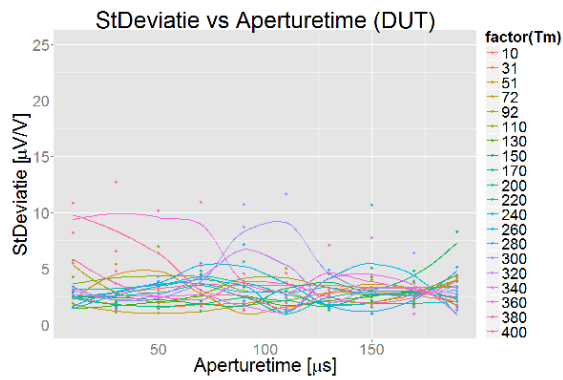
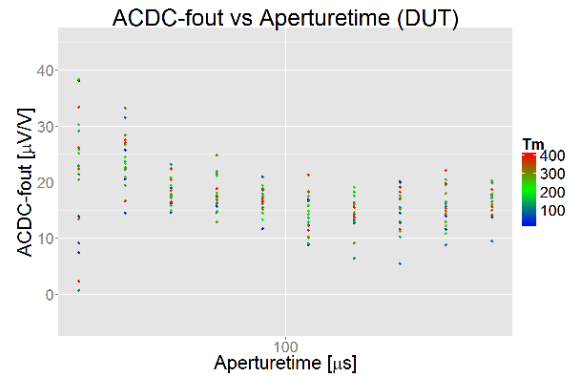
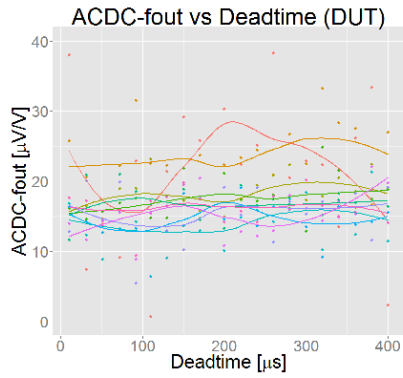
53 Hz, zonder ACAL:



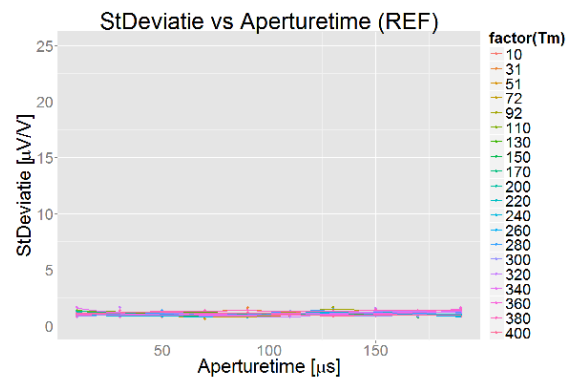
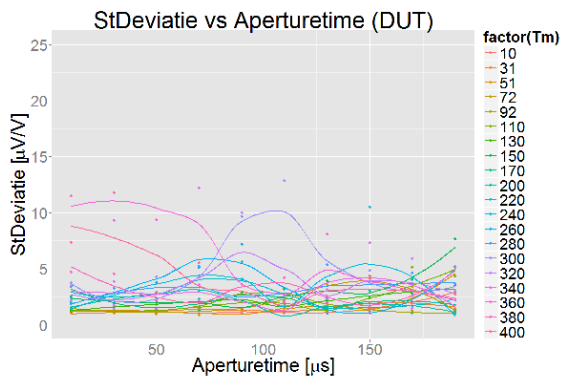
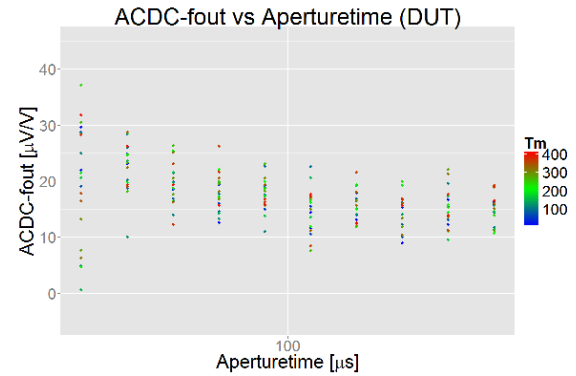
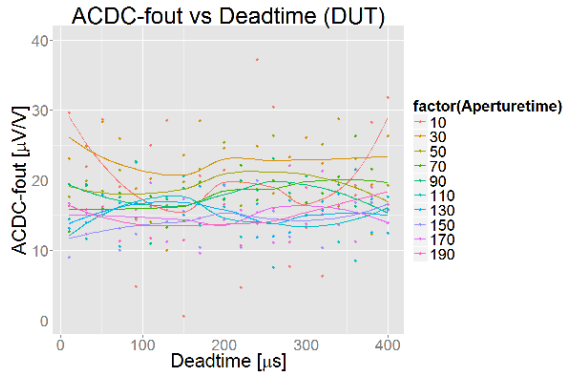
53 Hz, met ACAL:



60 Hz, zonder ACAL:



60 Hz, met ACAL:



Conclusie

Te zien is dat de afwijking iets kleiner is geworden na de ACAL dan voor het uitvoeren van ACAL. Dit geldt voor zowel 53 als 60 Hz. Daarnaast zorgt ACAL ook voor een meer nauwkeurige REF. Dus het is van belang dat ACAL voor elke meting uitgevoerd wordt voor de meer nauwkeurige resultaten.

1.6 AC/DC-meting

Doel

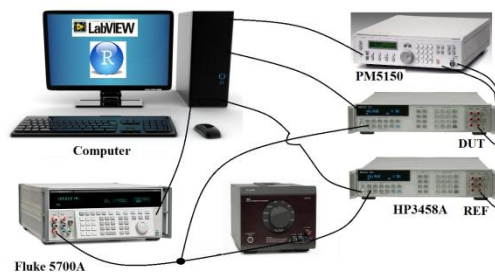
Het bepalen van de AC/DC-fout bij signaalfrequenties van 53 Hz en 60 Hz.

Theorie

Een multimeter meet rechtstreeks aan de AC-bron (DUT), de andere multimeter meet via de AC/DC-transfer Standard de DC-waarde. Door de AC/DC-fout van de REF af te trekken van de AC/DC-fout van de DUT, wordt de overdracht van de DUT bepaald. Dit komt doordat de afwijking van de Fluke 792A bekend is.

Uitvoering

- Opstelling**

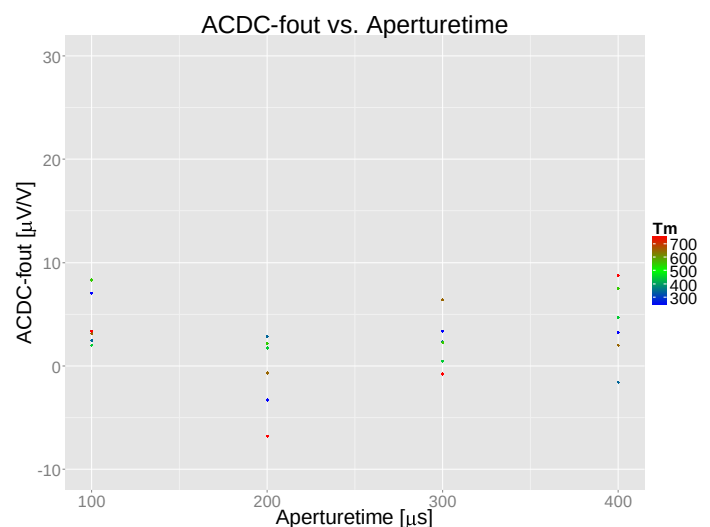
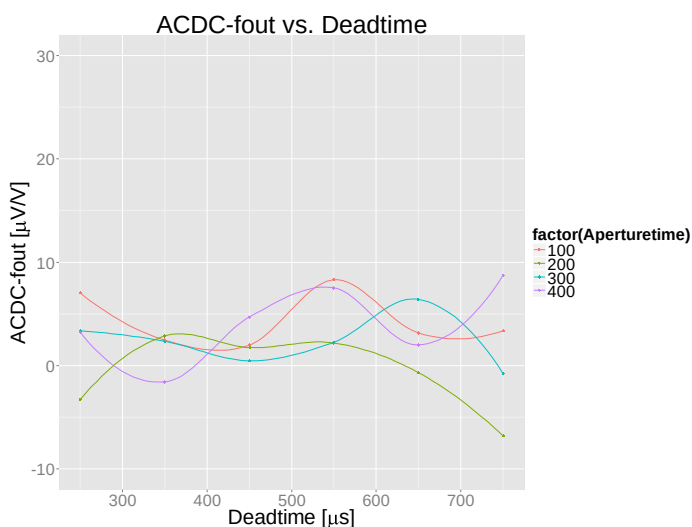


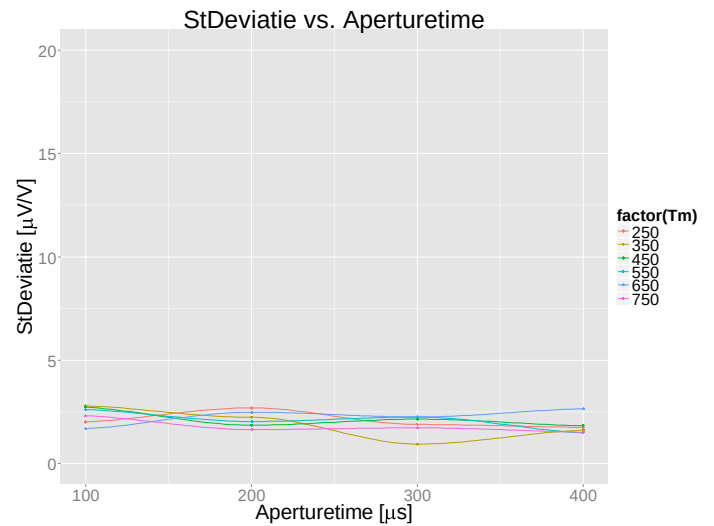
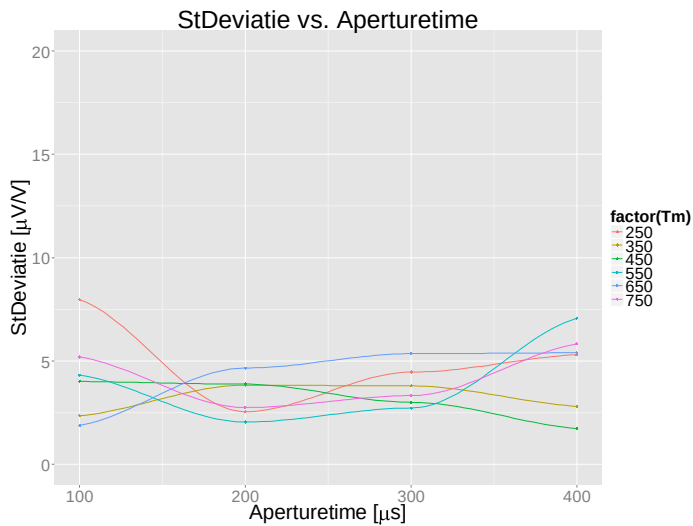
- Meetmethode**

Er wordt gemeten op signaalfrequenties van 53 Hz en 60 Hz. Dit wordt gedaan bij aperturetijden 100 – 400 μs en bij deadtijden van 250-750 μs . Deze waarden zijn bepaald door eerdere metingen. Er wordt gemeten met AZERO OFF en voorafgaand een ACAL. De signaalspanning is 0.707 volt RMS. Ter vergelijking is als 4^e grafiek telkens de standaarddeviatie van de REF getoond.

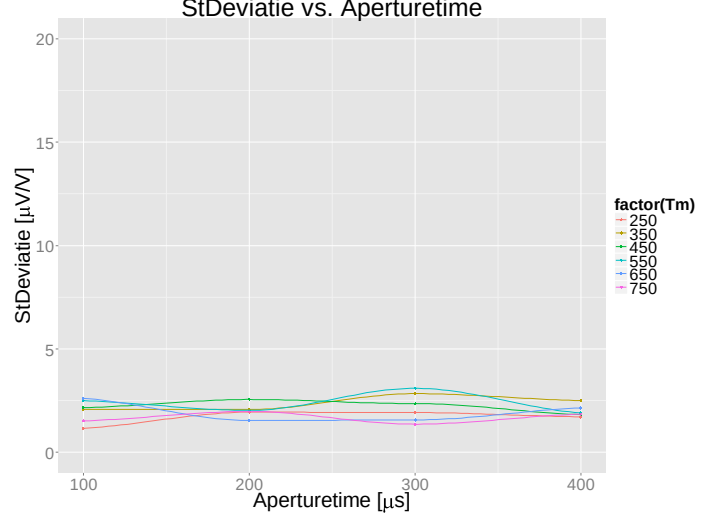
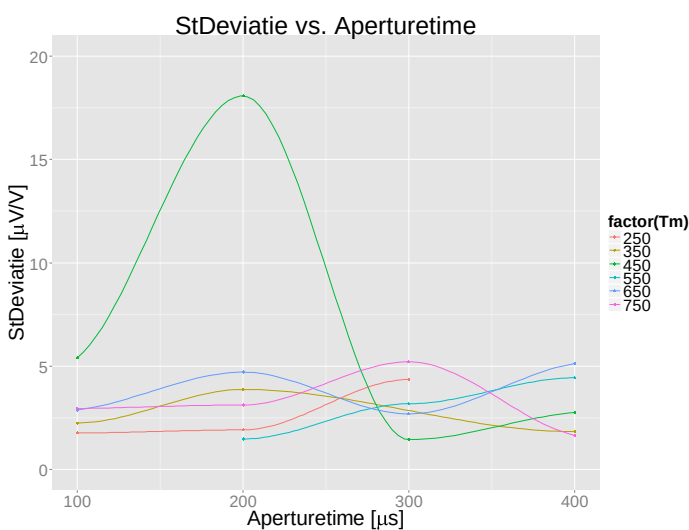
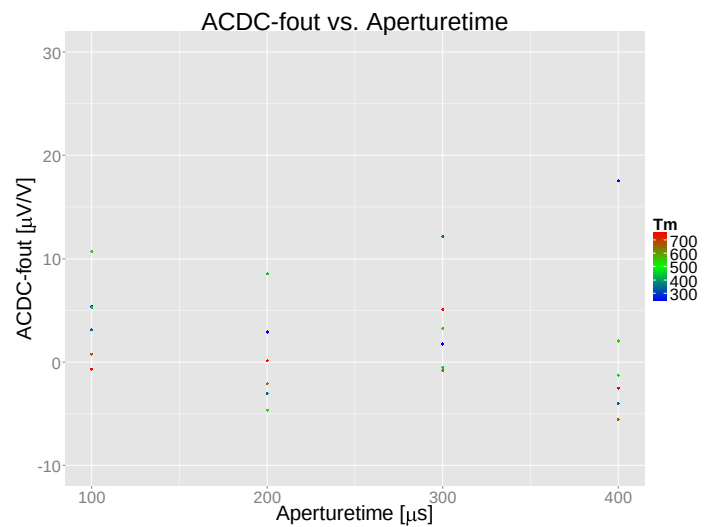
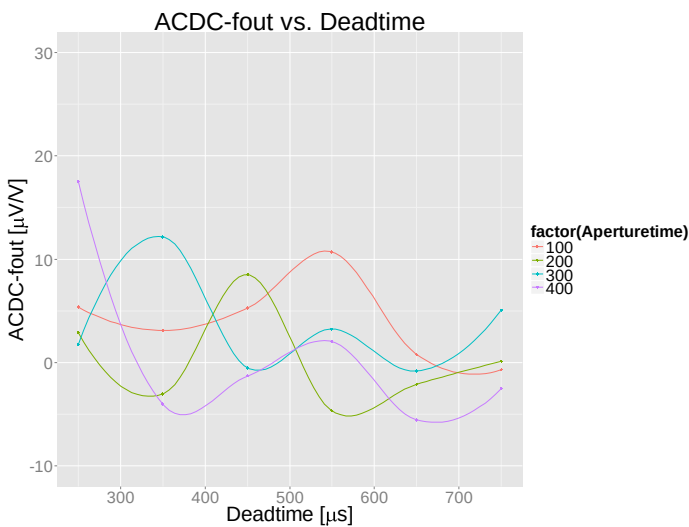
Resultaten

53 Hz:





60 Hz:



Conclusie

Bij 53 Hz blijft de AC/DC-afwijking binnen de $15 \mu V/V$ bij alle aperturetijden en deadtijden. Bij 60 Hz blijft deze binnen de $20 \mu V/V$. Bij een aperturetijd van $400 \mu s$ is de afwijking zelfs groter dan dat. Bij een deadtijd van $450 \mu s$ en een aperturetijd van $200 \mu s$ is de standaarddeviatie hoog vergelijken met de overige dead- en

aperturetijden. Bij 53 Hz met een aperturetijd van 200 μs en een deadtijd van 250 μs is de standaarddeviatie 2.5 $\mu\text{V/V}$.

1.7 Langer meten aan signaal

Doel

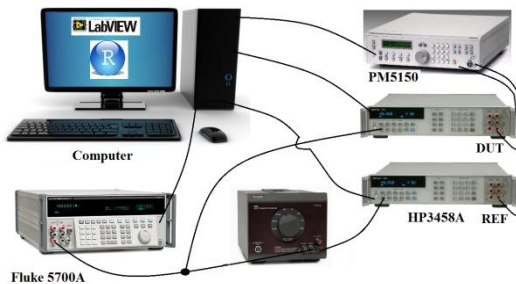
Bepalen van het effect op de ACDC-fout bij 1 tot 3 keer zoveel samples en steekproefgewijs 4 en 5 keer zoveel.

Theorie

Het vergroten van het aantal samples bij dezelfde samplingfrequentie resulteert in een verlaging van de standaarddeviatie en dus wordt er nauwkeuriger gemeten. Wanneer ingesteld is dat een enkele meting één seconde duurt, geldt dit effect tot ongeveer drie keer zoveel samples, dus tot drie seconden per reading.

Uitvoering

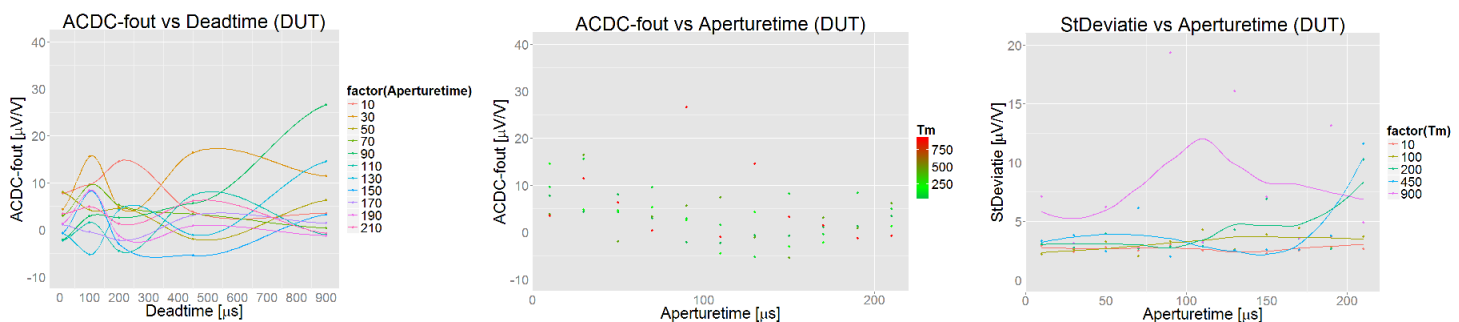
- Opstelling**



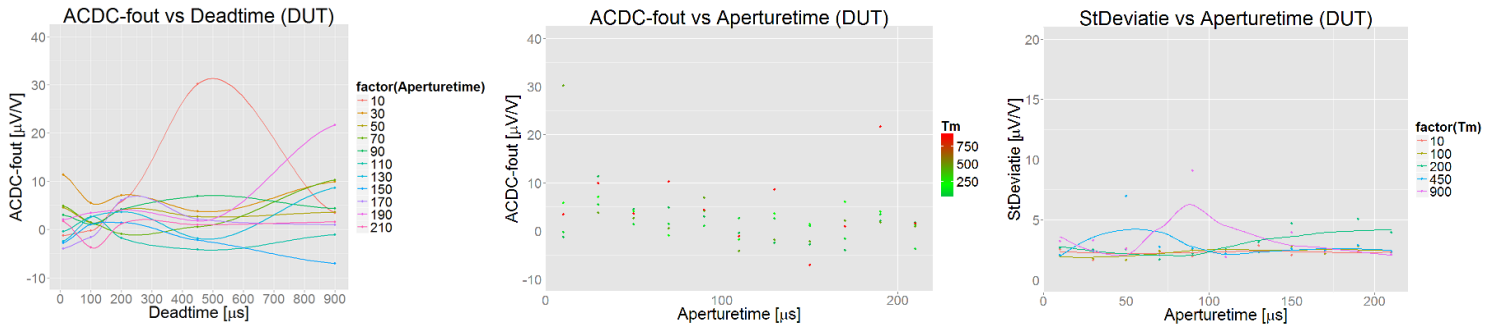
- Meetmethode**

Er wordt op twee frequenties gemeten, namelijk 53 Hz en 60 Hz. De spanning van dit signaal is 0.707 volt RMS. De gekozen aperturetijden zijn 10-210 μs met stappen van 20 μs . De gekozen deadtijden zijn: 10, 100, 200, 450 en 900 μs . AZERO OFF en voor het uitvoeren van de meting wordt een ACAL uitgevoerd.

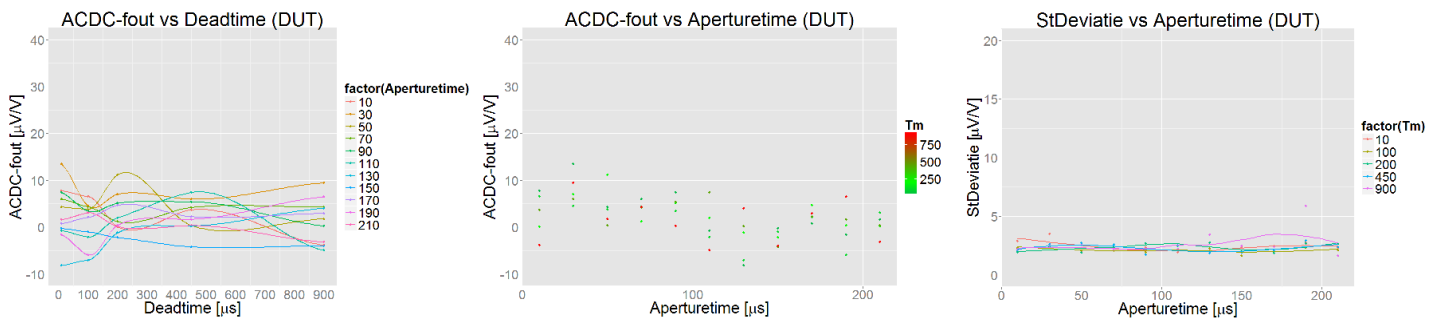
Resultaten



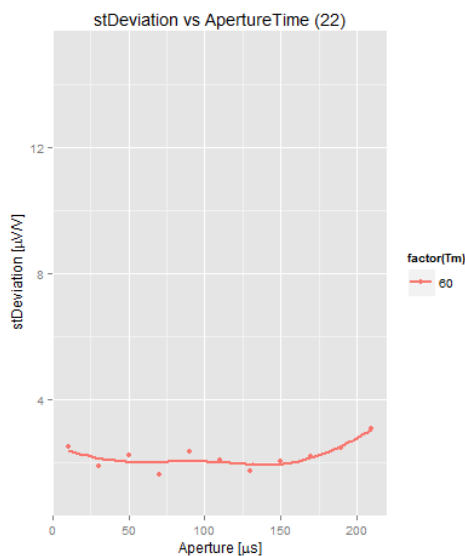
Figuur 1. Meten met ‘normaal’ aantal samples per reading.



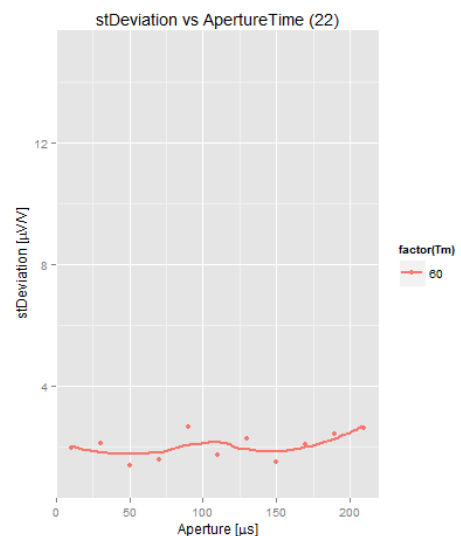
Figuur 2. Meten met twee keer zoveel samples per reading.



Figuur 3. Meten met drie keer zoveel samples per reading.



Grafiek 1. Meten met vier keer zoveel samples per reading.



Grafiek 2. Meten met vijf keer zoveel samples per reading.

Conclusie

Wanneer figuren 1, 2 en 3 met elkaar vergeleken worden is duidelijk te zien dat de standaarddeviatie per aantal keer de samples verlaagd wordt. Tussen het normaal aantal samples en drie keer het aantal samples kan de standaarddeviatie tot ongeveer 1-7 $\mu\text{V/V}$ verlaagd worden (afhankelijk van de gekozen dead- en aperturetijd). Bij vier en vijf keer zoveel samples (grafieken 1 en 2) blijft de standaarddeviatie (bij een deadtijd van 60 μs) ongeveer gelijk aan die van drie seconden meten.

Een groot nadeel van het nemen van meer samples is dat de gehele meting ook evenredig zo lang duurt.