

Projektrapport i ETEF15 Krets- och mätteknik, fortsättningskurs

Low Current Measurement



LUNDS
UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg

Handledare: Johan Wernehag

Utförd: 2019-10-01

Utförd av: Alexander Agertoft, Daniel Boese, Andree Engström, Andreas Kanewoff

Innehållsförteckning

1 Inledning	3
1.1 Bakgrund	3
1.2 Syfte	3
2 Metod	4
3 Resultat	5
3.1 DMM	6
3.2 Alternativa mätmetoder	7
3.3 Feedbackmätning	7
3.4 Picoammeter	7
3.5 Electrometer	8
3.6 Applikationer	9
4 Diskussion	10
5 Källförteckning	11

1 Inledning

Denna rapport behandlar en del av ämnet Low Level Measurements med området Low Current Measurement som huvuddel. Rapporten har sin utgångspunkt i boken *Low Level Measurements Handbook (2016)*. Delar som kommer att behandlas i rapporten är vilka problem som kan tänkas att uppstå vid mätning av små strömmar och vad som bör tänkas på vid dessa mätningar, men också vilka mätmetoder och mätinstrument som kan vara bra att använda sig av.

1.1 Bakgrund

Vissa mätsituationer kräver extra noggrannhet för att få korrekta värden. En del av dessa situationer är inte något som ofta händer, men kan vara viktigt att känna till ifall en sådan situation uppstår.

1.2 Syfte

Projektet har som syfte att ge oss ökad förståelse för vad som kan påverka mätresultat i en krets. I många fall inom den kurs vi läser utgår man från de ideala förhållandena hos instrument, komponenter och ekvationer. I praktiken är det inte ideala förhållanden, och i vissa situationer kan detta påverka resultaten avsevärt. Anledningen till att man approximerar till ideala förhållande, är att normalt sett utgör inte felmarginalen en större betydelse för det resultat man vill åstadkomma. I extrema situationer kan däremot en väldigt liten felmarginal ha stor betydelse. Det gäller att felmarginalen inte närmar sig den mätnoggrannhet man är ute efter, eftersom en liten felmarginal då istället blir av stor vikt.

2 Metod

Vi har forskansat oss information genom att läsa ett antal publikationer inom ämnet. Dessa tar tar upp teoretiska och praktiska exempel som behandlar olika situationer som kan tänkas uppstå. Detta har sedan sammanställts i denna rapport.

3 Resultat

Denna rapport behandlar mätning av låga strömmar och vilka problem det kan innebära. Generellt kan en parallell dras mellan svårighet och noggrannhet. I många fall vid mätning eller beräkning görs det inte med en sådan noggrannhet att små felkällor spelar någon större roll. Generellt kan det också sägas att större noggrannhet i mätning ställer större krav på metoden. När det talas om hög noggrannhet avses oftast en faktor $10^{-6} - 10^{-15}$, d.v.s. i spannet mellan μA och fA . I vardagen behandlas normalt sett strömstyrkor i ampere och milliampere.

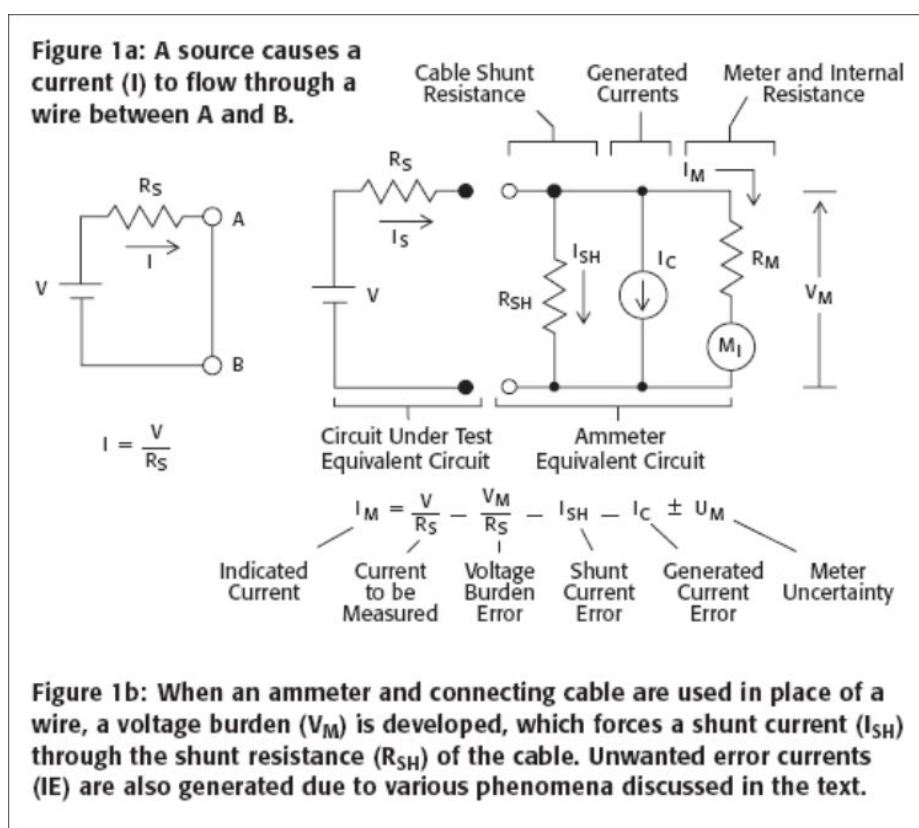
När mätningar i spannet för hög noggrannhet skall göras tillkommer viktiga aspekter att tänka på. Ett av bekymmerna med att mäta låga strömmar är de läckströmmar som beroende på hur mätutrustningen kopplas in kan påverka strömmen som avses mäta i stor utsträckning, lite eller inte alls. När högre strömmar avses mätas räknar man inte med att höljet som omsluter ledaren till proberna också är ledande d.v.s. leder ström. Om avsikten är att mäta strömstyrkor i ampere, så kommer inte en störning i fA området att göra en väsentlig skillnad i resultatet. Om mätningen istället sker i fA området kan denna läckström i höljet innebära en stor förhöjning av den egentliga tilltänkta strömmen. Detta går att skydda sig mot genom att göra något som förenklat kan kallas för en parallellkoppling förbi sitt mätinstrument. Om mätinstrumentet kopplas direkt till det som avses mätas, och leder strömmen från ledarhöljet till jord, mäter man alltså inte både strömmen för hölje och ledningen, utan enbart för ledningen.

Det är också viktigt att tänka på både den piezoelektriska effekten samt triboelektriska effekten. Dessa två fenomen innebär att det skapas en laddning genom yttre påverkan av ett material. Den triboelektriska effekten uppstår genom böjning och sträckning av ett material. Det innebär att om ledaren böjs, exempelvis en ledarkabel till prober, uppstår en laddning i kabeln mellan de olika skikten i det omslutande höljet som kommer att ändra mätvärdet. Den piezoelektriska effekten är också en yttre påverkan, men uppstår istället vid mekanisk påverkan. Vid slag mot ett material skapas återigen en oavsiktlig spänning som kan förändra mätvärdet.

I princip gäller alltså inte förenklingen att "icke ledande" material inte leder ström när det avses att mäta med hög noggrannhet. Detta måste alltså tas i beaktning när mätning av låga strömmar ska genomföras. Ett sådant exempel är isoleringen kring en last där strömmen ska bestämmas. I "traditionell" mätning läggs inte lika stor vikt vid läckströmmen i det isolerande material som omger lasten. Om avsikten är att mäta med hög noggrannhet bör en liknande "parallellkoppling" som för proberna göras. Genom att jorda det isolerande materialet kan strömmen ledas till jord, och således enbart mäta strömmen för lasten.

3.1 DMM

Vid mätning måste hänsyn tas till instrumentets påverkan på den krets avsikten är att koppla in sig på. Generellt sett gäller att de multimetrar med lägre krav på noggrannhet är av typen shunt. I det ideala fallet när multimetern kopplas in i kretsen skall den ses som en kortslutning d.v.s. 0Ω , vilket innebär all ström ska flyta igenom den. I verkligheten bildar multimetersnablar och komponenter en inre resistans och som ett resultat av detta genereras ett spänningsfall, normalt mellan 200 mV upp till 2 V . Detta medför att spänningsfallet genererar en ström som blir en del av mätresultatet. Vid mer normala signalnivåer $> \text{mA}$ så utgör detta bidrag en försumbar del av mätresultatet. Se figur 1.



Figur 1. Techni-Tool. *Low Current Measurements*, s.1

3.2 Alternativa mätmetoder

Med tanke på ovan nämnda felkällor vid mätning så finns det andra mätinstrument som lämpar sig bättre när det gäller att mäta små strömmar. Följande avsnitt kommer att behandla 2 olika mätinstrument, picoammeter och electrometer vars noggrannhet sträcker ner till fA (10^{-15}). Både picoammeter och electrometer använder sig av en teknik som kallas feedbackkoppling istället för shuntkopplingen som nämnts tidigare.

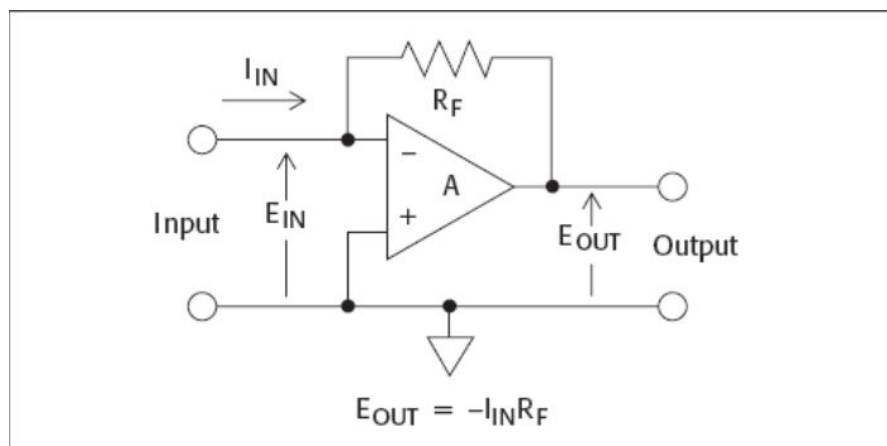
3.3 Feedbackmätning

Feedback innebär att inströmmen från källan flyter in i den inverterade ingången på en op-förstärkare och går igenom en återkopplad resistor. Denna konfigurering innebär att strömmen inte påverkas nämnvärt, eftersom den höga ingångsimpedansen på op-förstärkaren leder en försumbart liten ström, och därigenom blir spänningen på utsidan av förstärkaren direkt proportionell mot strömmen in. Denna noggrannhet gäller så länge källans resistens är väldigt hög, då en låg resistens gör att störningarna ökar i op-förstärkaren, och således blir resultatet missvisande.

För riktigt låga strömmar fA , kan det vara av stor vikt att kalibrera sitt instrument också, då det kan flyta ström genom instrumentet i sig. Genom att ta höjd för detta, kan denna ström subtraheras bort från den totala strömmen och därigenom enbart mäta den ström som flyter genom den last som avses mätas.

3.4 Picoammeter

En generell uppbyggnad av en feedback picoammeter kan se ut som i figur 2. I denna uppbyggnad flyter inströmmen in mot negativa ingången på op-förstärkaren, men p.g.a. den stora ingångsimpedansen (i det ideala fallet oändligt stor) så kommer större delen av strömmen istället gå igenom den negativt återkopplade resistorn. Den lilla ström som ändå går in på op-förstärkarens negativa ingång är i sammanhanget försumbar. Utsignalen från op-förstärkaren är ett mått på insignalen, känsligheten bestäms av den återkopplade resistorn. Det låga spänningsfallet som uppstår i kretsen p.g.a. den inre impedansen uppnås med op-förstärkaren som tvingar insignalen till att bli nära 0.



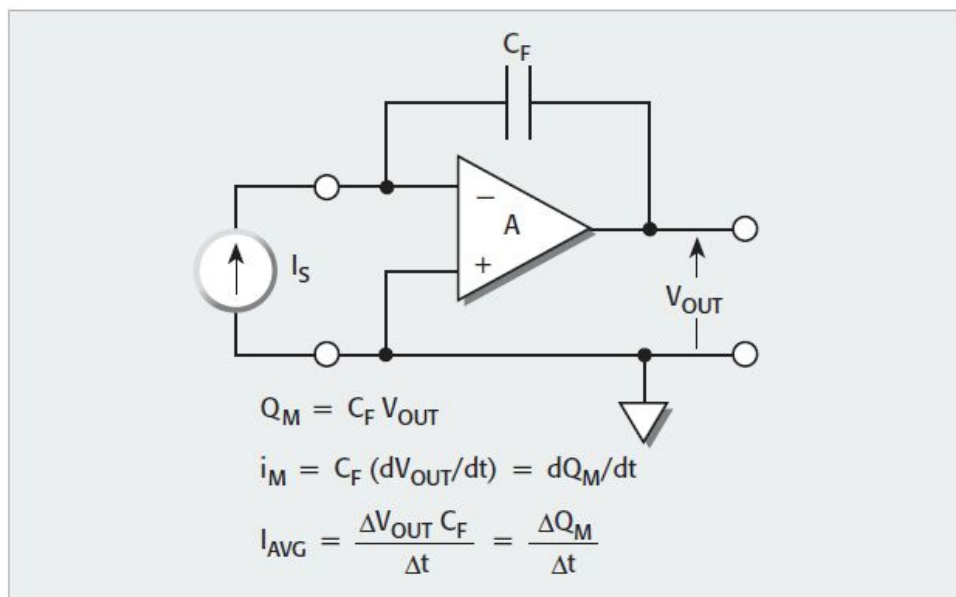
Figur 2. Techni-Tool. *Low Current Measurements*, s.2

3.5 Electrometer

Electrometern är en förfinad version av DMM, men med sin speciella karaktäristisk och höga känslighet kan den utföra mätningar som en DMM inte klarar av. Elektrometern har fyra funktioner. Voltmeter, ammeter, ohmmeter och coulombmeter.

Ammeter funktionen hos en electrometer har en något högre noggrannhet än picoammeteren och kan användas för att mäta strömmar så låga som 1 fA (10^{-15}). Ammetern fungerar enligt samma feedback-princip som förklaras i föregående avsnitt.

Ska strömmar i fA -storlek mätas kan det vara lämpligare att använda Coulombmeteren då den saknar brus från interna resistorer. Coulombmeteren mäter ändringen i laddningen över en tidsperiod och använder det för att bestämma strömmen. Strömmen kan också mätas direkt genom att använda en feedbackkopplad coulombmeter, se figur 3.



Figur 3. *Low Level Measurements Handbook, Precision DC Current, Voltage, and Resistance Measurements*. Keithley a Trektronix Company (2016). s.2-37.

3.6 Applikationer

I vilka sammanhang kan man då förvänta sig att behöva mäta låga strömmar? Det kan vara viktigt att ha koll på egenskaperna hos komponenter man använder vid byggandet av kretsar. Det innebär att genomföra tester på komponenterna för att fastställa deras egenskaper. Det är bland annat känt att kondensatorer läcker ström, något som egentligen inte är önskvärt. Generellt rör det sig om strömmar i storleken nA , men felaktiga komponenter kan läcka mer än så. Ett annat exempel är backströmmar hos dioder. En diod har syftet som en riktare vilket inte tillåter ström i mer än en riktning. I praktiken går det inte att göra en diod som riktar strömmen åt endast ett håll, och därför behöver man mäta den ström som går åt fel håll. Beroende på hur stor spänningen över dioden är blir backströmmen olika stor. Det kan röra sig om pA till mA i ett intervall från t.ex. 0-300V, detta varierar mellan olika sorters dioder. Transistorer skiljer sig också från ideala förhållande i teorin kontra verkligheten. Vid användandet av en transistor som en switch antas idealt sett att det inte går någon ström genom Gate-Source om inte tröskelspänningen uppnåtts. I själva verket går det en viss ström genom denna ändå. Denna ström är det som påverkar omslagstiden för transistorn.

4 Diskussion

Efter avslutat projekt har vi ökat vår kunskap om problematik vid mätning av låga strömmar, samt när dessa mätningar är applicerbara. Gällande tekniken för att mäta är det något vi hittills inte kommit i kontakt med, och det har därför tagit oss lite tid att förstå principen av hur mätinstrumenten fungerar, samt hur man effektivt skyddar sig mot de problem som kan uppstå. De strömmar vi mätt hittills i våra kurser har som lägst rört sig i μA -området. Detta projekt är dock något vi kommer att ha med oss i framtiden, och om vi hamnar i situationer där denna kunskapen är applicerbar kommer vi att ha en grundförståelse för konceptet. Vi lär dock behöva sätta oss in i det djupare då. Vi har uppfattat metoderna och informationen som generella exempel snarare än något som är praktiskt i alla mätsituationer. Huvudpoängen är att man vid mätning av låga strömmar ska ha kännedom om att det finns felkällor i samma mätområde som man är intresserad av och dessa kan vara viktiga att ta i beaktning.

5 Källförteckning

Keithley a Trektronix Company (2016). *Low Level Measurements Handbook, Precision DC Current, Voltage, and Resistance Measurements.*

Techni-Tool. *Low Current Measurements.*

http://www.techni-tool.com/site/ARTICLE_LIBRARY/Keithley-Low%20Current%20Measurements.pdf

Elektronik i Norden (2003). *Mät låga strömmar på rätt sätt.*

<https://m.eet.com/media/1184568/14sid38.pdf>