

Praktikfall: Kondensatormätningar – faskompensering och likspänningsmellanled.

Det finns två fall där en kondensatormätbrygga (så kallad RCL-brygga) inte gärna kan användas vid mätning på industriutrustning. Det är vid kontroll av faskompenseringskondensatorer och mellanledskondensatorer i frekvensomriktare som sådana instrument fungerar dåligt.

Skälen är flera, det viktigaste är att utrustningen nästan alltid är i drift och därför inte kan mätas med vanliga metoder, det andra skälet är att man ofta har parallella urladdningsmotstånd eller andra komponenter som är svåra att koppla bort vid mätning. Ytterligare en orsak är att mätbryggor ofta använder frekvenser och signalnivåer som inte alls stämmer med dem som förekommer i anläggningen.

Genom att göra mätningarna med ARCUS kan många kontroller göras på ett enkelt och relativt riskfritt sätt. I den här laborationen ska vi kontrollera kondensatorers kapacitans, läckström och ESR (ekvivalent serieresistans) vid realistiska driftförhållanden och också visa hur man kan mäta under drift och utan att störa produktionen.

WARNING: Vi kommer att mäta på enheter med höga likspänningsnivåer och med mycket höga lagrade energimängder. Risken för elchock, brand eller explosion är stor. Se därför till att ta god tid på dig och att du har fullständigt klart för dig vilka risker som finns, var de finns och hur du undviker dem. Arbeta aldrig ensam och se till att alla i din närhet vet vad som ska göras om en olycka sker.

FASKOMPENSERINGSKONDENSATORER

Faskompenseringskondensatorer förekommer i alla storlekar och spänningar. Från några μF till enheter på 50 – 100 kvar. I den här laborationen ska vi mäta på några mindre enheter – de stora tar vi när vi hittar dem i anläggningar. De mätprinciper vi övar på i denna laboration kan utan undantag användas på godtyckligt stora kondensatorer och ofta (förutsatt att spänningstransformatorer och strömtransformatorer är installerade) på godtyckligt höga spänningar.

MATERIAL

ARCUS

Strömtång

Spänningsdelare, med avsäkrade mätsladdar

Labbsladdar, handverktyg etc

INSTÄLLNINGAR

Inga inställningar behöver göras. Zooma vid behov.

UPPKOPPLING

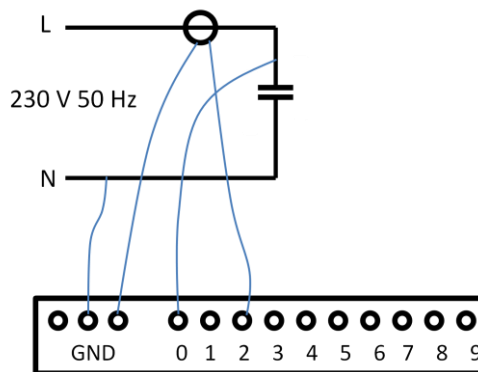


Bild 1. Kondensator ansluten till 230 V 50 Hz. Med inkoppling till ARCUS¹

MÄTRESULTAT

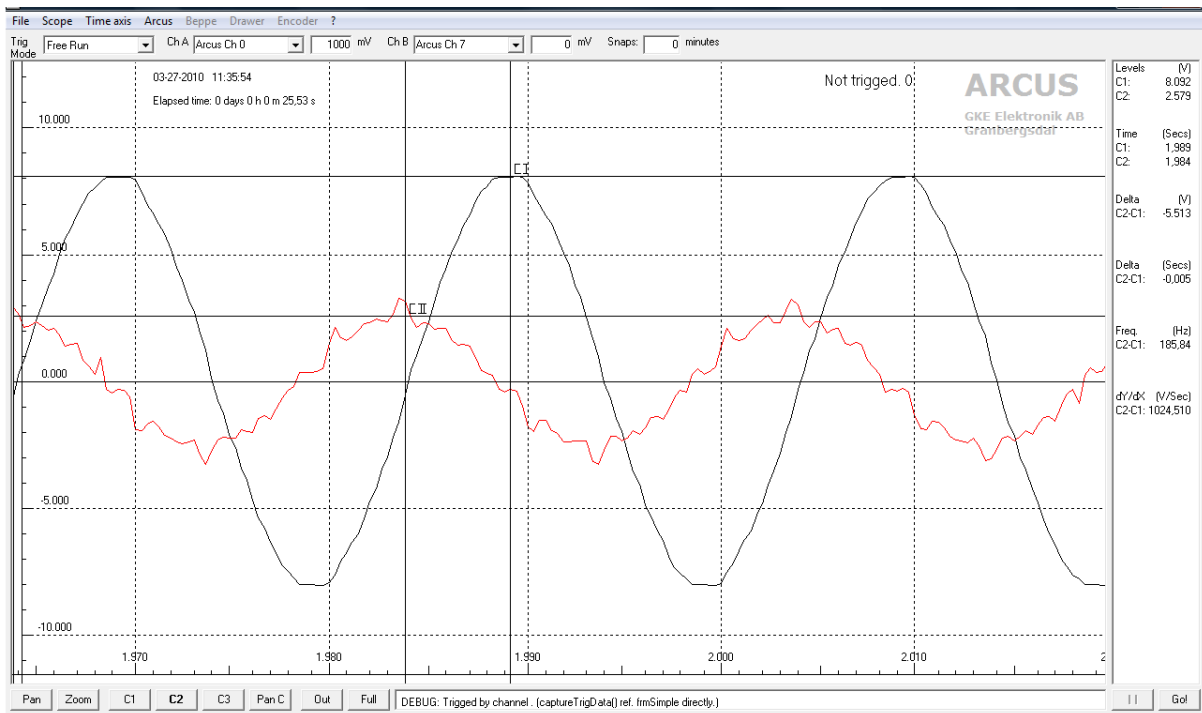


Bild 2. Spänning (svart) och ström (röd) i kondensator.

Det första man reagerar på i bild 2 är att strömmen ser mycket tråkig ut. Den är inte alls så slät och fin som spänningen. Spänningen har visserligen också en hel del övertoner, men inte alls i samma utsträckning som strömmen. Diskutera vad det kan bero på. Är det fel på kondensatorn?

¹ Använd avsäkrade mätsladdar och spänningsdelare 40:1 i kanal 0!

RÄKNA FRAM KAPACITANSEN

Man kan, trots att strömmen ser ganska otrevlig ut, skatta både spänningens och strömmens effektivvärde.

CI markerar toppen på spänningskurvan och värdet är 8,092 V. Ta värdet gånger 40 (spänningsdelaren) så får vi 324 V. Effektivvärdet är toppvärdet dividerat med $\sqrt{2}$ dvs 1,4142. Det ger effektivvärde 229 V, vilket är ganska nära nominell nätspänning.

CII markerar toppen på strömkurvan och värdet är 2,579 A. Här är 1 V lika med 1 A, så strömmens toppvärde är 2,579 A. Effektivvärdet blir $2,579/1,4142 = 1,824$ A.

Kondensatorns reaktans X_C är lika med U/I ('växelströmsmotståndet'). X_C är alltså lika med $229/1,824 = 125,5$ ohm. Slutligen, eftersom X_C är lika med $1/(2\pi fC)$ dvs $1/(314*C)$, blir $C = 1/(314*125,5)$ vilket ger resultatet $C = 0,0000254$ farad eller, om man multiplicerar med 1000 000, lika med 25,4 μ F.

Med tanke på att kondensatorn är stämplad 25 μ F och att kondensatorer vanligen har +/- 10 % tolerans kan man utan vidare vara nöjd med resultatet. Mycket av noggrannheten ligger i hur man placerar markören CII. I bild 2 är den inte placerad på den transienta toppen utan på toppen av den underliggande, tänkta, 50 Hz sinuskurvan.

ENKLARE SÄTT ATT RÄKNA FRAM KAPACITANSEN

Det känns inte riktigt bra att hålla på och bolla med en massa faktorer, divisioner och multiplikationer när man jobbar ute i ställverk och apparatskåp. Genom att koka ihop formlerna får man ett mycket enkelt uttryck för kapacitansen när man mäter på ett 50 Hz nät. Så här:

$$C = \hat{I}/\hat{U} * 79,6 \mu F \quad (\text{när man använder 40:1 spänningsdelare})$$

Man begår inga stora fel om man använder 80 i stället för 79,6 (felet blir ca 0,5 %)

Om man alltid använder 230 V och 50 Hz så blir det ännu enklare: $C = \hat{I} * 9,83 \mu F$

vilket gör att man utan alltför stora fel kan använda den synnerligen enkla 'vardagsformeln':

$$C = \hat{I} * 10 \mu F$$

Felet är fortfarande inte mer än ett par procent. Det räcker bra vid kontroll av kondensatorer som inte har bättre noggrannhet än +/- 10 %. **Här behöver man inte ens ansluta för spänningsmätning** – man förutsätter helt enkelt att spänningen är 230 V – och det är den i allmänhet vid 230 V nät². Man slipper fundera över om mätningen överhuvudtaget är giltig och man får också en bra bild av övertoner och transienter som kan finnas i kondensatorn. Vid faskompensering finns risk för resonans vid övertoner som skapas av strömriktare, frekvensomriktare, lågenergilampor, datorer och andra olinjära laster. Sådana övertoner avslöjas direkt i strömkurvans form.

² Om man har andra spänningar så byter man ut 10 mot 5,8 (vid 400 V), 4,5 (vid 500 V) och 3,3 (vid 690 V).

ELEKTROLYTKONDENSATORER

Elektrolytkondensatorer används så gott som uteslutande i likspänningsapplikationer. Skälet är att de är polariserade och inte tål att man lägger spänning med fel polaritet över dem³.

Elektrolytkondensatorer har ett antal möjliga felmoder som gör att de gör ett sämre jobb med tiden och ibland måste bytas ut innan den utrustning de sitter i nått sin tekniska eller ekonomiska livslängd i övrigt. De fel som kan uppstå (utöver total destruktions eller explosion) är kapacitansförlust, ökad läckström och förhöjd intern resistans, även känd som ESR (Ekvivalent Serie Resistans).

Elektrolytkondensatorer är känsliga för hög rippelström och vid kontroll av system där stora elektrolytkondensatorer ingår bör man därför kontrollera rippelström vid maximal belastning.

MATERIAL

ARCUS

'KUT' (kondensator under test)

Likspänningskälla anpassad till kondensatorns arbetsspänning

Seriemotstånd 100 – 1000 Ω

Diod med ca 800 V spärrspänning och 1 – 3 A märkström (ev. kan enkel diod i diodbrygga användas)

Diodbrygga med ungefär samma data som dioden

Labsladdar och handverktyg

UPPKOPPLING – MÄTNING MED ENVÄGSLIKRIKTAD VÄXELSPÄNNING

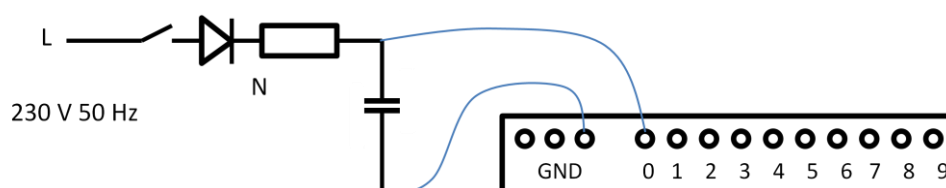


Bild 3. Enkel diodmatning via seriemotstånd.

Den här matningen kan användas när man mäter på spänningslös utrustning. Den har fördelen att man kan lägga minuspolen mot N och därför inte behöver använda isolerförstärkare. Den ger dock inte någon säker kapacitansmätning beroende av att laddningsströmmen pulserar.

³ Det finns opolariserade elektrolytkondensatorer. De används i vissa filter i ljudsammanhang men sällan eller aldrig i industrisystem.

ARCUS i praktiken – lär genom att använda ARCUS

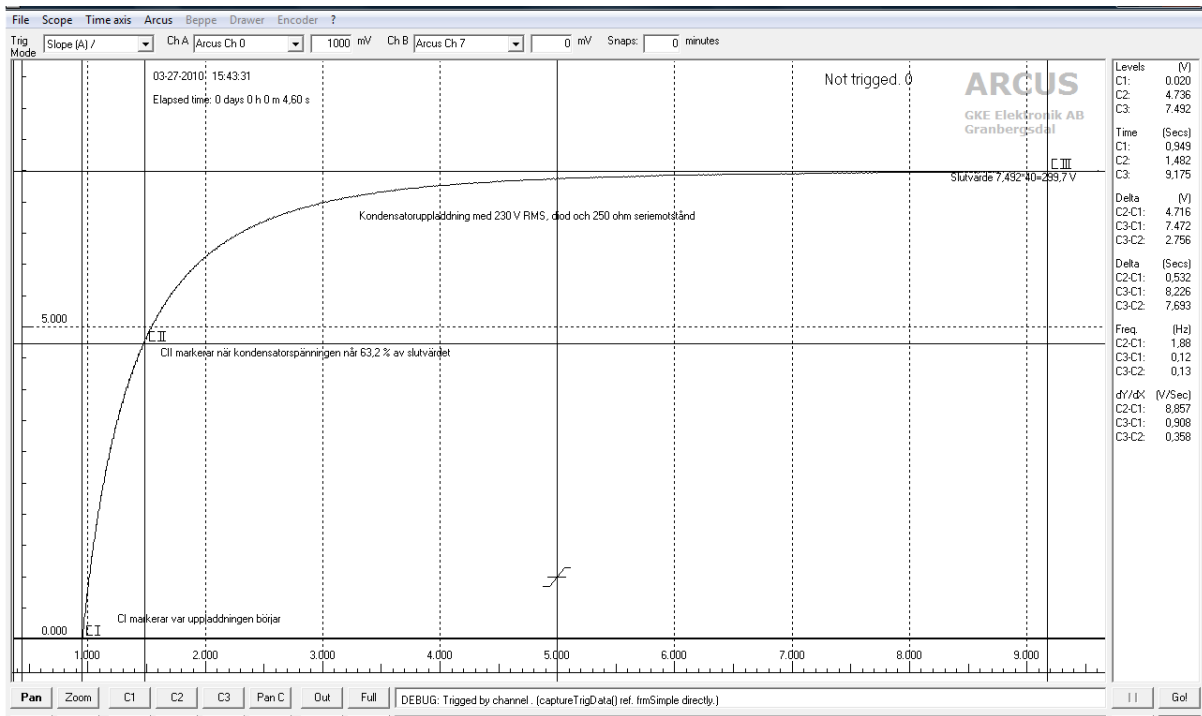


Bild 4. Kondensatoruppladdning vid koppling enligt bild 3.

De tre markörerna i bild 4 visar var uppladdningen startar (C1), hur stor slutspänningen är (CIII) och var punkten 63,2 % av slutspänningen⁴ ligger (CII)

Tidkonstanten kan läsas som skillnaden i tid mellan CII och C1 i resultatpanelen till höger. Den visar sig vara 532 millisekunder. Det använda motståndet har resistansen 250 ohm och, om man inte tänker sig för, kan kapacitansen beräknas till $C = t/R = 532/250 = 2,128$ millifarad, eller 2128 μF .

Den använda kondensatorn är stämplad 480 μF och även om elektrolytkondensatorer har vida toleranser så är en avvikelse med mer än 300 % något man inte bör acceptera utan vidare.

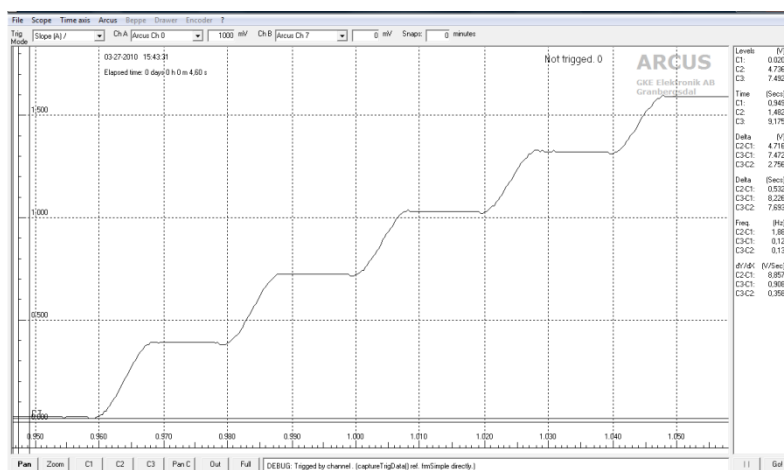


Bild 5. Zoom av bild 4 visar att uppladdningen inte sker kontinuerligt.

⁴ Tidkonstanten definieras som den tid det tar att ladda upp kondensatorn till 63,2 % av slutspänningen. 63,2 % är ett närmevärde till $1-1/e$, där e är naturkonstanten 2,718...

ARCUS i praktiken – lär genom att använda ARCUS

Bild 5 visar varför matematiken inte stämmer. Något enkelt sätt att korrigera för den sinusformigt pulserande strömmen finns inte. Det går alltså inte att kontrollera kapacitansen på detta sätt.

Att använda växelspänning, som vi gjorde i det tidigare avsnittet är inte heller möjligt eftersom elektrolytkondensatorer vanligen exploderar när man lägger växelspänning på dem.

Det är ändå inte kört. Man kan mycket väl mäta kapacitansen med den aktuella uppkopplingen. När man bryter växelspänningen kommer kondensatorn att laddas ur via den anslutna spänningsdelaren (med motståndet 40 kohm). Vi försöker:

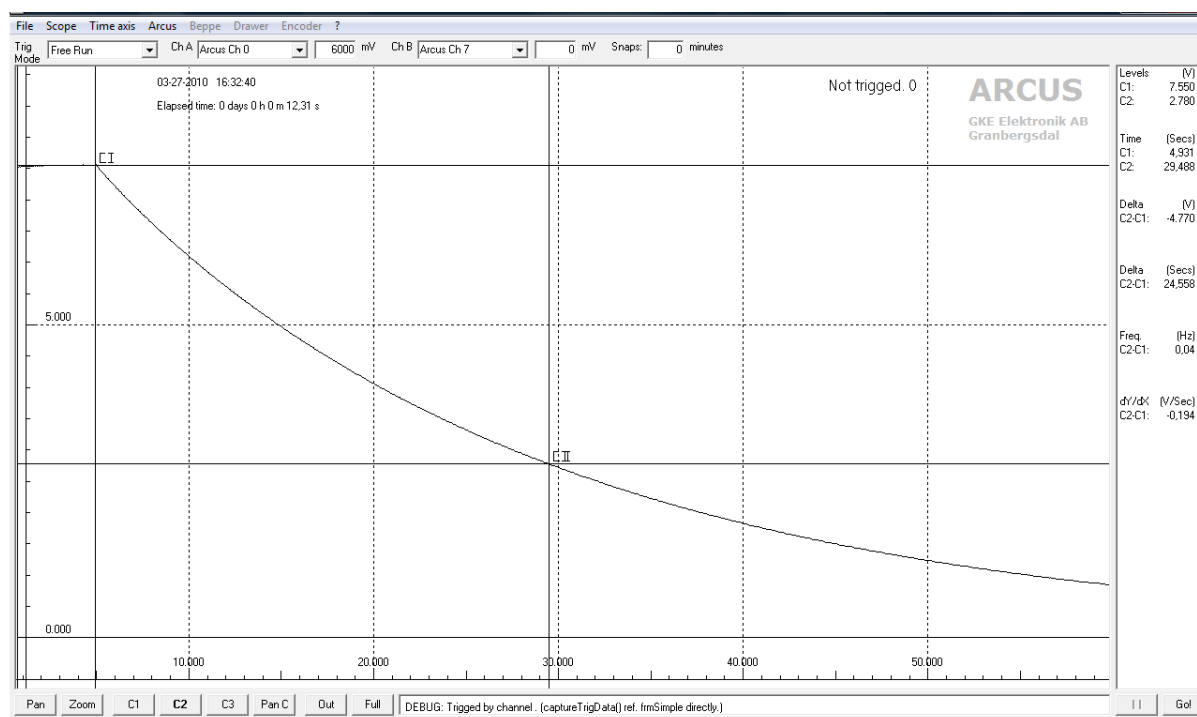


Bild 6. Kondensatorurladdning via 40 kohm.

Nu ser kurvan mycket bättre ut. Markör C I markerar urladdningens början och C II markerar 36,8 %, dvs den spänning som motsvarar tidkonstanten vid urladdning. C III behöver inte användas eftersom vi redan vet att slutvärdet kommer att vara 0 V.

Tidskillnaden mellan C II och C I kan avläsas i resultatpanelen och visar sig vara 24,558 sekunder⁵. Kapacitansen kan nu beräknas ur sambandet $t = RC$, dvs $C = t/R$. Med insatta siffror blir alltså kapacitansen $C = 24,558/40\ 000 = 614\ \mu\text{F}$. Det är ett värde som ligger mycket väl inom toleransgränserna för en elektrolytkondensator. Kontroll i Mallorys datablad visar att "Capacitance Tolerance: +50, -10%"

Värdet 614 μF är 28 procent mer än 480 μF . Det uppmätta värdet är därför med stor sannolikhet korrekt.

⁵ Vid den här mätningen har vi använt 60 sekunders mätområde. Ändra tidskala genom att klicka "Time Axis/Array Length" och välja tid. I den här registreringen valde vi 60 sekunder.

MÄTNING AV VÄXELSPÄNNINGSKONDENSATOR MED LIKSPÄNNING

Eftersom man inte kan lägga växelspanning på en elektrolytkondensator kan man tycka att det inte går bra med likspänning på en växelspanningskondensator. Men det är inga som helst problem. Det betyder att man kan använda metoden i bild 3 och 6 även på den tidigare uppmätta kondensatorn. Vi gör det, dels för att träna på användning av ARCUS men också för att se om vi får ungefär samma resultat. Uppkoppling som bild 3, men 25 μF i stället för 480 μF elektrolytkondensator.

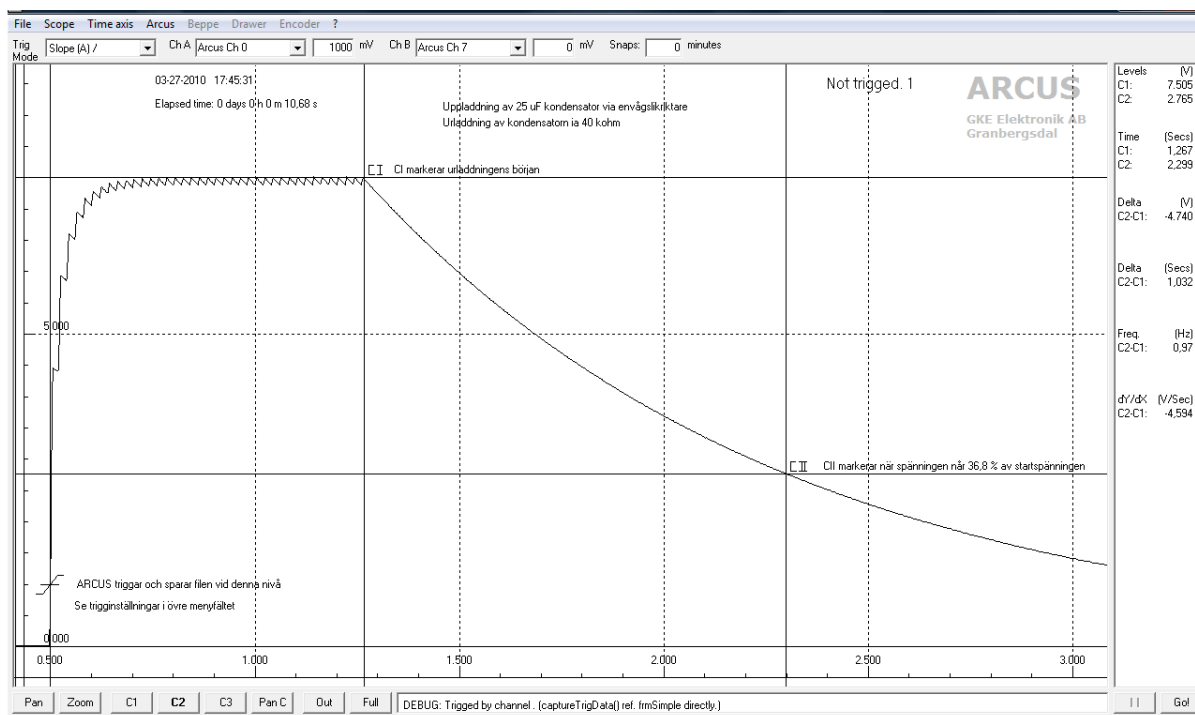


Bild 7. 25 μF kondensator urladdas via 40 k Ω .

Markörerna C.I och C.II placeras på samma sätt som tidigare. Tidskillnaden är nu 1,032 sekunder. Genom att dividera tiden med resistansen får vi $1,032/40\,000 = 25,8\ \mu\text{F}$ kapacitans i den kondensator som är stämplad 25 μF +/- 10 % och som vi tidigare mätt till 25,4 μF . Båda metoderna fungerar alltså bra.

Vid denna mätning har ARCUS triggssystem använts för att fånga och lagra förloppet. Triggfunktionen är 'Positiv Flank', vilket visas av symbolen på det vertikala triggstrecket vid 0,500 sekunder. Trignivå, triggkanaler och triggfunktion väljs i meny "Trig Mode" med tillhörande parameterintervall i skärmens överkant.

ESR – KOMMER SMYGANDE MED TIDEN

Kondensatorer i frekvensomriktares likspänningsmellanled lever ett hårt liv. De är utsatta för höga rippelströmmar och sitter ofta i relativt varm omgivning. Dessutom får de jobba dygnet runt och nästan 52 veckor /år. Det gör att även de bästa kondensatorerna åldras. Åldringen gör att den inre resistansen ökar och det innebär att rippelströmmen utvecklar mera värme så att man till slut kan råka ut för totalhaveri med otrevliga följder. Det är därför en bra idé att kontrollera ESR (Ekvivalenta Serie Resistansen) med regelbundna mellanrum.

Eftersom ökad serieresistans medför ökad effektutveckling i kondensatorn kan man använda produkten av rippelspänning och rippelström som ett mått på värmeutvecklingen och genom att sambandet $P = I^2 \cdot R$ gäller kan man också räkna fram ESR ur en sådan mätning.

UPPKOPPLING

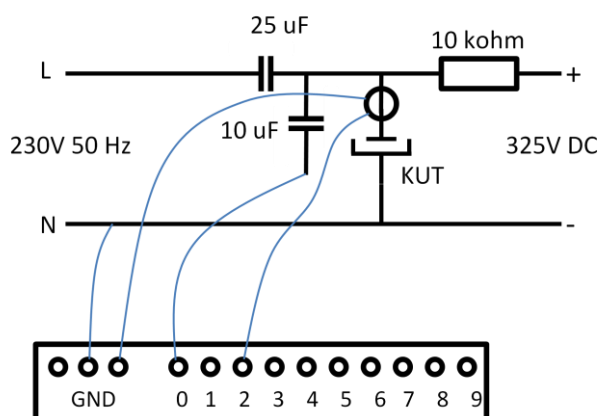


Bild 8. ESR-mätning på bänk.

Bild 8 visar hur ESR kan mätas utanför frekvensomriktaren. Det är i just denna mätning enklare att mäta under drift och med kondensatorn på plats i omriktaren.

Med valda komponentvärden blir registreringen som visas i bild 9.

ARCUS i praktiken – lär genom att använda ARCUS

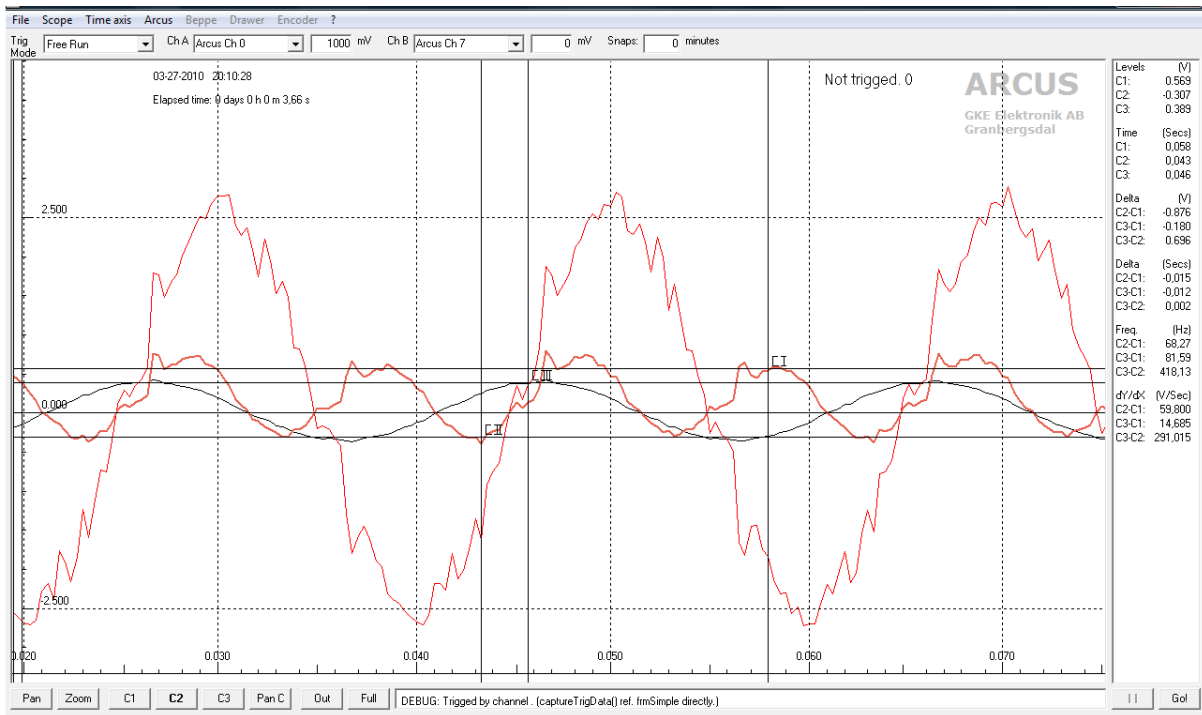


Bild 9. Mätning enligt bild 8. Svart: AC-komponent över kondensatorn. Röd: AC ström i kondensatorn.

I bild 9 visas, förutom växelspänningskomponenten över kondensatorn, även strömmen. Dessutom visas produkten av de båda med dimensionen $V \cdot A$ i den rödbruna, fetare kurvan. Som synes pendlar den kring nollnivån, vilket är ett resultat av att större delen av produkten $V \cdot A$ utgörs av reaktiv effekt. Att det finns en viss förskjutning mot plussidan tyder på att effekt förloras i kondensatorn. Som första kontroll kan denna insikt räcka, men för noggrannare värde på förlorad effekt i kondensatorn bör en beräkning göras i Excel eller Matlab.

För att få en uppfattning om metodens användbarhet kopplas ett motstånd med känt värde i serie med kondensatorn och en ny mätning görs.

Motståndet är 10 ohm och förväntas ge mycket tydligt utslag. Se bild 10.

ARCUS i praktiken – lär genom att använda ARCUS

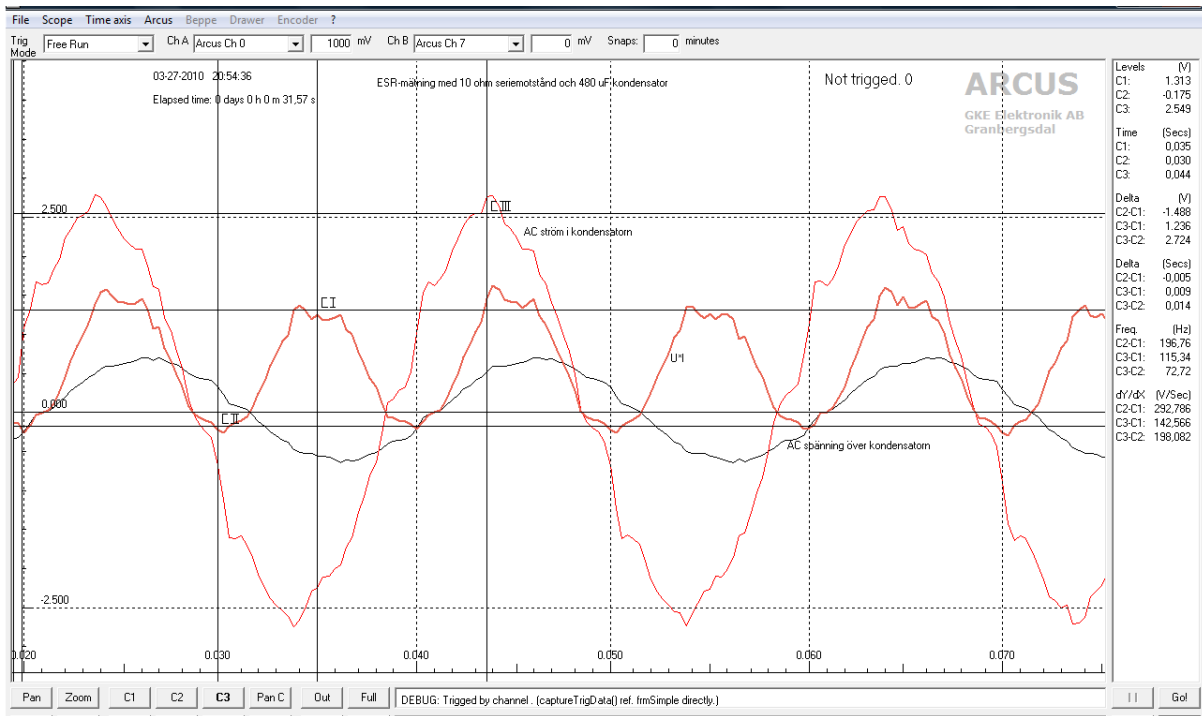


Bild 10. ESR-mätning med 10 ohm externt 'ESR'-motstånd.

Bilden visar att produkten av spänning och ström nu har flyttat uppåt och det tyder på att effektförlusten i kondensator + motstånd ökat betydligt. En försiktig skattning (med hänsyn tagen till spänningsdelare 40:1) ger cirka 30 W förlusteffekt. Strömmens effektivvärde är ungefär 1,8 A vilket enligt $P = R \cdot I^2$ ger $R = P / I^2$. Med värden insatta blir ESR då $R = 30 / 1,8^2$ vilket är lika med 9,3 ohm.

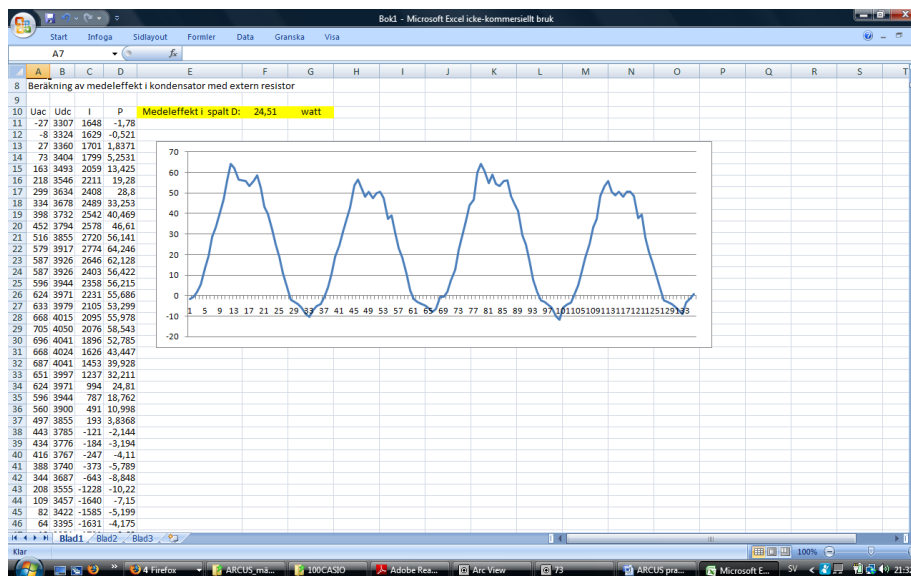


Bild 11. Excelblad med importerade data och beräknad medeleffekt.

Medeleffekt 24,5 W innebär att $R = 24,5 / 1,8^2 = 7,6$ ohm. Det är ett värde som visserligen ligger i rätt härad, men som ändå är cirka 25 % för lågt. Den troliga felorsaken är skattningen av strömmen som på grund av kvadreringen ger stort inflytande. Med 1,6 A blir $R = 24,5 / 1,6^2 = 9,6$ ohm, vilket är ett betydligt riktigare värde.

ÄNNU ETT SÄTT ATT MÄTA ESR

När en kondensator belastas med ett motstånd så laddas den ur med en hastighet som bestäms av kondensatorns och motståndets storlek. Se exempelvis bild 7 som visar en klassisk urladdning.

Om det finns ett seriemotstånd internt i kondensatorn så kommer urladdningsströmmen att orsaka ett spänningsfall i detta. Det innebär att spänningen inte bara kommer att sjunka exponentiellt när kondensatorn belastas utan även med ett språng som motsvarar spänningsfallet i den interna resistansen, dvs ESR-resistansen.

Bild 12 visar översikt av förloppet och bild 13 visar stark zoomning av spänningsprånget.

Bild 12

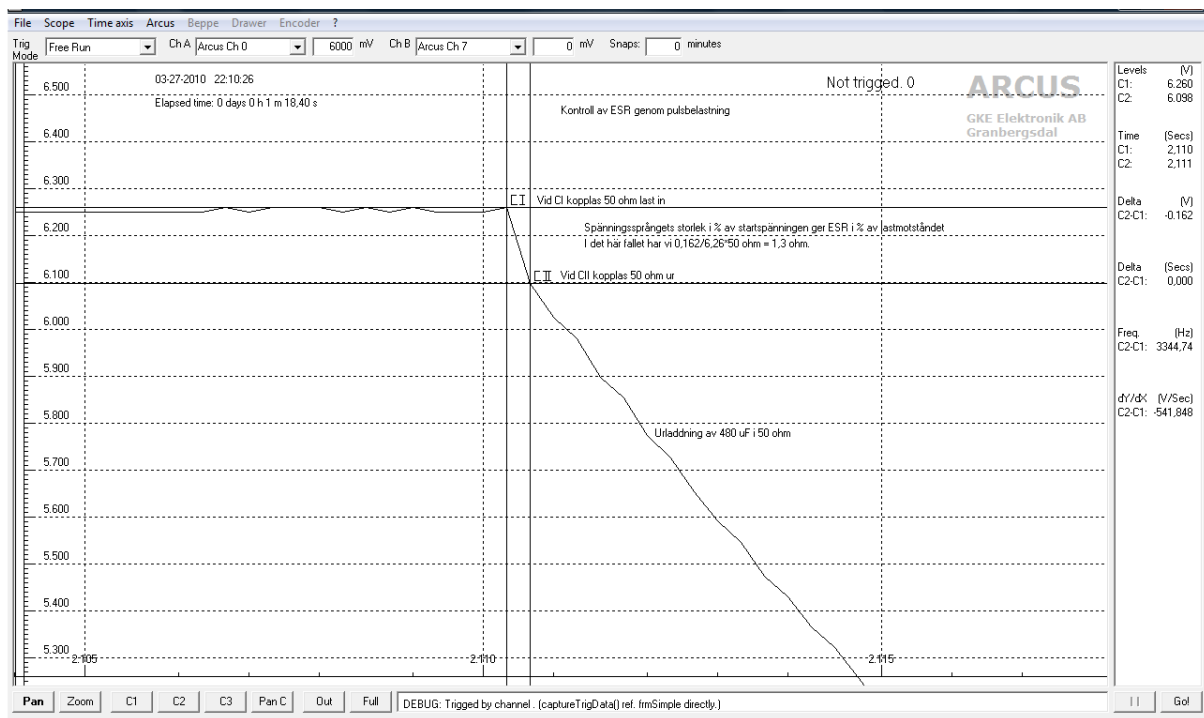
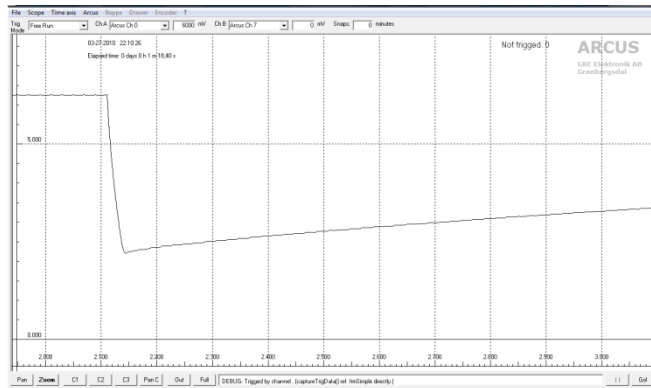


Bild 13. Zoomning av spänningsprånget.

Seriemotståndet är här 1 ohm exakt. Det erhållna värdet är 1,3 ohm, vilket troligen beror på att sladdresistansen adderas till det externa motståndet. Att vi nu mäter ner mot ARCUS undre gräns i tidsupplösning (Delta-t är avrundat till 0 ms) har säkert också betydelse. För denna typ av mätning kommer den uppsnabbade versionen av ARCUS (tio gånger snabbare vid enkanalsmätning) att vara bättre lämpad.