

Funktionskontroll med spänningssatt brytare

**Utvärdering av två metoder för
vibrationsmätning**

Elforsk rapport 02:28

Funktionskontroll med spänningssatt brytare

**Utvärdering av två metoder för
vibrationsmätning**

Elforsk rapport 02:28

Funktionskontroll med spänningssatt brytare

**Utvärdering av två metoder för
vibrationsmätning**

Elforsk rapport 02:28



Förord

Projektet har genomförts av Vattenfall Utveckling AB i nära samarbete med personal från finansiärernas nät- respektive underhållsorganisationer. Projektet genomfördes under perioden september 2000 till och med december 2001.

Elforsk har utsett en styrgrupp för projektet med följande sammansättning:

- Åke Sjödin, sammankallande ELFORSK AB
- Anders Vikman Vattenfall Östnät AB
- Per Larsson Svenska Kraftnät
- Alf Knutsson/Ulf Lager Sydkraft AB/Sycon AB
- Anders Petterson/Kjell Oberger Birka Energi AB

Följande företag har finansierat projektet: Birka Nät, Sydkraft Elnät, Programma, Vattenfall, Göteborg Energi, Umeå Elnät, Granninge Elnät, Ringsjö, Skellefteå kraft, Jämtkraft, Svenska Kraftnät

Stockholm i juni 2002-06-26

Åke Sjödin

Sammanfattning med slutsatser och rekommendationer

I en omfattande förstudie som genomfördes 1999 i ELFORSKs regi pekades bland annat på två metoder för funktionskontroll med spänningssatt brytare med hjälp av vibrationsmätning som skulle kunna rationalisera och minska totalkostnaden för brytarunderhållet. De två metoderna bedömdes dessutom vara de, i dagsläget, mest kommersiellt utvecklade. Föreliggande rapport redovisar resultaten av omfattande tester som genomförts med dessa två metoder. Brytare inom spänningsområdet 10 - 400 kV har testats och förekommande typer har varit oljeminimum-, vakuum- och SF₆-brytare. Förutom exemplifieringar av uppmätta vibrationssignaler redovisas två metoder för analys och utvärdering.

De två testade metoderna för vibrationsmätning har varit:

- Programma Electrics vibrationsmetod, och
- Kelman Profile P1+ från Kelman Ltd.

Kelmans mätutrustning har utvecklats som en fristående produkt och i första hand för funktionskontroll av brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna, exempelvis truckbrytare. Kelmans mätutrustning kan även användas för övriga brytartyper med ett separat manöverdon för varje fas men kräver då något mer arbete och fler kopplingar av brytaren. Utrustningen är handhållen och en uppmätning av en truckbrytare tar med viss vana högst 10 - 15 minuter i anspråk. Kelman erbjuder i sin mätmetod en metod för analys och utvärdering av vibrationssignalerna där jämförelse av energiinnehållet i de mest signifikanta händelserna i den uppmätta vibrationssignalen sker. Dessutom sker automatiskt en tidanalys av uppmätta strömkurvor av till- och frånslagsmagneterna samt en uppmätning och en automatisk analys av manöverspänningen. Kelmans mätutrustning kan även tillämpas utan vibrationsmätning för funktionskontroll med enbart uppmätning av funktionstider och spolströmskurvor. Kelman har aviserat att en "trefasversion" av Kelman Profile P1+ kan finnas kommersiellt tillgänglig under våren 2002. Detta bör göra Kelmans mätmetod intressant i framtiden för vibrationsmätning även på brytare i de högre spänningsområdena där brytarna är försedda med ett separat manöverdon för varje fas.

Programma har valt att utveckla sin produkt för vibrationsmätning av brytare som ett tillbehör till brytaranalysatorn TM1600. Mätutrustningen är något mer omfattande än Kelmans men erbjuder i gengäld också fler mätkanaler vilket gör att Programmas mätutrustning och mätmetod har fördelar vid funktionskontroll av brytare med ett separat manöverdon för varje fas. Utrustningen kan även tillämpas på brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faser. Fler mätkanaler möjliggör samtidig uppmätning av alla tre polerna för brytare med ett separat manöverdon för varje fas vilket medverkar till att antalet kopplingar av brytaren kan begränsas. I Programmas mätutrustning ingår en mycket kvalificerad mjukvara för analys- och utvärdering av vibrationssignaler (Programma DTW-analys). DTW-analysen (Dynamic Time Warping) medger att enkla

och exakta gränser kan sättas med avseende på tid och avvikelse. Såväl Programmas som Kelmans analysmetoder att datorbaserade.

Förutom möjligheten att genomföra mätningarna med brytaren spänningssatt, innehåller vibrationssignalerna tillsammans med uppmätning av funktionstider och spolströmskurvor mer information om händelser i brytaren och dess manöverdon än vad som erhålls vid traditionell funktionskontroll med enbart tidmätning. Såväl Programmas som Kelmans mätmetod har i de genomförda testerna och utvärderingen visat sig vara mycket praktiska i fält och ändamålsenliga för funktionskontroll av spänningssatt brytare. Funktionskontrollen av en brytare går snabbare eftersom man inte behöver ta brytaren ur drift en längre tid för att frångilja, jorda och koppla upp kablar till brytarpolerna, vilket sparar tid och därmed kostnader. Vidare kan stora kostnader sparas för minskad avbrottsplanering och minskade nätförluster för omkopplingar av nätet. Vid traditionell funktionskontroll, då en brytare är urkopplad under förhållandevis lång tid, måste nätet många gånger kopplas på ett icke-optimalt sätt. Detta kan orsaka väsentligt ökade nätförluster som i vissa fall vida överstiger kostnaderna för själva underhållet. För att genomföra vibrationsmätningar med de två metoder som utvärderats i detta projekt, erfordras dock en viss avbrottsplanering i och med att brytaren måste kopplas ett antal gånger i samband med mätningarna. I radialmatade nät och i ställverk med enkelbrytarscheman kan detta kräva en noggrannare avbrottsplanering. Båda metoderna möjliggör funktionskontroll med såi-manöver (från-till), vilket bör medverka till att den totala avbrottstiden för funktionskontrollen begränsas jämfört med traditionell funktionskontroll med brytaren spänningslös en längre tid. Båda metoderna möjliggör funktionskontroll av spänningssatt brytare med avståndsmanöver.

Sammantaget bör de båda testade metoderna bidra till att totalkostnaden för avbrottsplanering, driftomläggningar och genomförande av mätningar samt återställande reduceras. Några skillnader i mätresultat har inte kunnat påvisas vid mätning på spänningslös eller spänningssatt brytare. Prismässigt ligger Programmas tillbehör för vibrationsmätning och Kelmans mätutrustning ungefär lika (hösten 2001).

Rekommendationer

De två testade metoderna är tänkta att ersätta den idag traditionella funktionskontrollen, med enbart tidmätning och uppmätning av spolströmmar, och med brytaren ur drift. Detta innebär att man bland annat, vid funktionskontrollen av brytaren, får avstå från resistansmätning av brytarens huvudströmbanor och i stället förlita sig på termografering.

Som resultat av det genomförda projektet och vad som framkommit i utvärderingen rekommenderas att någon av eller båda metoderna införs vid kommande ordinarie funktionskontroll av brytare och då får ersätta de i dagsläget traditionella funktionskontrollerna med enbart tidmätning och uppmätning av spolströmskurvor. Dessa inledande funktionskontroller (vibrationsmätningar och tidmätning) får då utgöra

referens och fingeravtryck för de därefter återkommande funktionskontrollerna med vibrationsmätning och tidmätning.

Kelmans metod kan i första hand införas på brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna, exempel vid brytare i truckställverk. Dess handhållna instrument och enkla montage av mätgivare (accelerometer) förväntas medverka till snabba och enkla funktionskontroller. Kelmans metod kan naturligtvis även tillämpas på brytare med ett separat manöverdon för varje fas men kräver då något längre tid för att genomföra en funktionskontroll och kräver dessutom flera kopplingar med brytaren. Den programvara och analysmetod som ingår anses vara tillräcklig och möjliggör en enkel och snabb jämförelse av mätdata för att påvisa förändringar i brytarens prestanda. Det enkla montaget av mätgivaren, med brytaren fortfarande i drift, möjliggör att funktionskontroll vid första manöver (first-trip) kan ske. Kelmans metod kan även användas för funktionskontroll på traditionellt sätt (utan vibrationsmätning), d v s med enbart tidmätning och uppmätning spolströmkurva. I de fall där detta bedöms vara tillfylles rekommenderas i första hand Kelmans utrustning.

Programmas vibrationsmetod har största fördelarna på brytare med ett separat manöverdon för varje fas. De flera mätkanaler som Programmas mätutrustning erbjuder gör den fördelaktigare för funktionskontroll av denna bryartyp. En funktionskontroll kan genomföras relativt snabbt och enkelt samtidigt som antalet kopplingar med brytaren kan minimeras, vilket bör bidra till att eventuella störningar på nätet kan minimeras. Då mätmetoden introduceras första gången på ett brytarobjekt krävs dock en kvalificerad bedömning huruvida brytaren måste tas ur drift eller ej för förberedelse för montage av mätgivare (kräver ingrepp i manöverdonet). Programmas vibrationsmetod kan naturligtvis även tillämpas på brytare med gemensamt manöverdon, exempelvis på brytare i truckställverk, på samma sätt som Kelmans vibrationsmetod. I de fall där referensmätningar (Programmas vibrationsmetod) kan genomföras rekommenderas det att sådana görs för att ge ytterligare jämförelsematerial för kommande funktionskontroller. I Programmas mätutrustning ingår en mycket kvalificerad mjukvara för analys- och utvärdering av mätdata som medger att enkla och exakta gränser kan sättas med avseende på tid och avvikelse i vibrationssignalen. Referensmätningar (med olika typer av rörelsegivare enligt rekommendation från Programma) kräver som regel att brytaren måste tas ur drift för montage av givare, vilket medför att funktionskontroll vid första manöver (first-trip) av brytaren går förlorad vid det inledande provningstillfället. Referensmätningarna har dock ett stort värde för de efterföljande funktionskontrollerna, och utgör ett väsentligt hjälpmedel för att bedöma eventuella förändringar i brytarens prestanda.

Till detta genomförs också ett utbildningsprogram på båda metoderna tillsammans med respektive leverantör och underhålls罔reprenör.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	2
2	PROJEKTETS SYFTE OCH MÅL	3
2.1	ORGANISATION OCH UTFÖRARE	4
3	FUNKTIONSKONTROLL MED SPÄNNINGSSATT BRYTARE.....	5
4	BESKRIVNING AV DE UTVÄRDERADE METODERNA.....	7
5	GENOMFÖRDA PROVNINGAR	14
5.1	INLEDNING	14
5.2	ALLMÄNT OM VIBRATIONSMÄTNING	16
5.3	VIBRATIONSPROVNING AV BRYTARE	17
5.4	EXEMPEL PÅ VIBRATIONSSIGNALER UPPMÄTTA MED PROGRAMMAS METOD OCH TOLKNINGEN AV DESSA.....	25
5.5	EXEMPEL PÅ VIBRATIONSSIGNALER UPPMÄTTA MED KELMANS METOD OCH TOLKNINGEN AV DESSA.....	36
5.6	UPPMÄTNING AV FUNKTIONSTIDER OCH SPOLSTRÖMMAR	42
5.7	BRYTARE FÖRSEDDA MED SYNKRONISERINGSRELÄ.....	47
5.8	VIBRATIONSMÄTNINGAR MED SPÄNNINGSSATT (ON-LINE) KONTRA SPÄNNINGSLÖS BRYTARE (OFF-LINE)	50
6	REFERENSER.....	54

Bilagor

- A SAMMANSTÄLLNING ÖVER PROVADE BRYTAROBJEKT**
- B FUNKTIONSSÄTT FÖR ALLMÄNT ANVÄNDA ACCELEROMETRAR AV PIEZOELEKTRISK TYP**
- C SAMMANSTÄLLNING AV PROVADE BRYTAROBJEKT OCH REFERENSMÄTNINGAR GENOMFÖRDA MED PROGRAMMAS VIBRATIONSMETOD**
- D SAMMANSTÄLLNING AV PROVADE BRYTAROBJEKT GENOMFÖRDA MED KELMANS VIBRATIONSMETOD**
- E TOLKNING AV UPPMÄTT STRÖMKURVA PÅ EN FRÅNSLAGSMAGNET (PROGRAMMA)**
- F TOLKNING AV UPPMÄTTA SPOLSTRÖMKURVOR MED KELMAN PROFILE P1 (KELMAN)**
- G TIDSKRIFTSARTIKEL "DIAGNOSTIC TECHNIQUE FACILITATES TIMING AND CONDITION MONITORING OF CIRCUIT BREAKERS" (KELMAN)**

1 Inledning

Att prova/testa högspänningsbrytare spänningssatta (on-line) är en "nygammal" idé som har fått ökad aktualitet i samband med att elkraftindustrins underhållsarbete blir mer och mer inriktat mot tillståndsstyrt underhåll och införandet av RCM-metodik (funktions-säkerhetsinriktat underhåll). Flera större kraftföretag i världen (t.ex. Pacific Gas & Electric, San Francisco) inför redan nu rutiner för att delvis ersätta traditionella brytarmätningar med periodisk funktionskontroll med spänningssatt brytare. Fördelarna med funktionskontroll med spänningssatt brytare är i första hand de ekonomiska. Funktionskontrollen går snabbare eftersom man inte behöver ta brytaren ur drift en längre tid för att frånskilja, jorda och koppla upp kablar till brytarpolerna, vilket sparar tid och kostnader. Vidare kan stora kostnader sparas genom minskade nätförluster för omkopplingar av nätet. Vid traditionell funktionskontroll, då en brytare är urkopplad under en förhållandevis lång tid, måste nätet många gånger kopplas på ett icke-optimalt sätt vilket kan orsaka väsentligt ökade nätförluster, som i vissa fall vida överstiger kostnaderna för själva underhållsarbetet. Stora kostnader kan också sparas tack vare att en omfattande drift- och avbrottsplanering minskar. Funktionskontrollerna förläggs vanligtvis under sommarhalvåret då belastningen i många nät är som lägst, men då också tillgången på personalresurser är som minst. Denna problematik bör kunna reduceras avsevärt med hjälp av enkla och effektiva metoder för funktions- och tillståndskontroll med spänningssatt brytare.

En omfattande förstudie genomfördes 1999 i ELFORSKs regi [1] med en inventering av tillståndskontrollmetoder för kopplande apparater. I denna pekades på ett antal metoder för funktionskontroll med spänningssatt brytare som skulle kunna rationalisera och minska totalkostnaden för brytarunderhåll. I detta projekt har två av dessa metoder för vibrationsmätning för funktionskontroll med spänningssatt brytare utvärderats. De två testade metoderna har dessutom bedömts, i dagsläget, vara de mest kommersiellt utvecklade.

2 Projektets syfte och mål

I syfte att studera för- och nackdelar med att genomföra funktionskontroll på spänningssatta brytare (on-line-provning) med vibrationsmätning, har ett utvärderingsprojekt genomförts bestående av tester på ett antal utvalda brytare. Utvärderingen har byggt på tillgången till ett antal lämpliga brytare med hänsyn till förekomst och tillgänglighet. Testerna har i största utsträckning genomförts i samband med det ordinarie planerade underhållet ute på kraftbolagen.

De utrustningar och metoder för vibrationsmätning som testats och utvärderats i detta projekt har varit:

- Programma Electric's vibrationsmetod
- Profile P1+ från Kelman Ltd

Det totala antalet provade objekt har uppgått till 19 st inom spänningsområdet 10 – 400 kV. Val av lämpliga brytarobjekt och fördelning mellan kraftbolagen har skett i samråd med ELFORSK, respektive nätägare/kraftbolag, dess underhållsentreprenör och Vattenfall Utveckling AB. De bryarteknologier som de två metoderna har testats på har varit SF₆, oljeminimum, och vakuum.

I projektets inledning var syftet att genomföra 2 provomgångar på de valda brytarobjekten. Den första omgången skulle göras i samband med ordinarie underhållstillfälle på objektet i fråga och den andra provomgången ca 1 år senare, för att man skulle kunna genomföra jämförande mätningar för att påvisa eventuella förändringar i brytaren. Förutsättningarna ändrades dock i samband med det andra styrgruppsmötet då det beslöts att den andra provomgången skulle skjutas på framtiden och att projektet i stället skulle avslutas under 2001. Skälet till detta var att styrgruppen bedömde att någon signifikant förändring eller påverkan på en brytare inte sker under en så relativt kort tidsperiod som ca 1 år. Styrgruppen fann det angeläget att testerna och utvärderingen genomfördes snabbt och att resultaten redovisades så fort som möjligt.

2.1 Organisation och utförare

Projektet har genomförts av Vattenfall Utveckling AB i nära samarbete med personal från finansiärernas nät- respektive underhållsorganisationer. Projektet genomfördes under perioden september 2000 till och med december 2001.

Uppdragsansvarig har varit Anders Holm och projektledare Rolf Nordin, Vattenfall Utveckling AB. Från Programma Electric AB har Per Wennersten varit ansvarig. Fältproven har i genomförts av Rolf Nordin, Vattenfall Utveckling AB, samt Per Wennersten, Boel Ekberg och Stefan Råström från Programma Electric AB. Vattenfall Utveckling AB och Programma Electric AB vill rikta ett stort tack till de kraftbolag och underhållsföretag vilka har medverkat och varit behjälpliga med personal vid fältproven samt tillhandahållit lämpliga provobjekt. Tre stycken styrgruppsmöten har hållits. Vid det första styrgruppsmötet presenterade och demonstrerade Programma Electric AB sin produkt för vibrationsmätning av brytarprovning.

Vattenfall Utveckling AB avhöll i december 2000 ett seminarium där en representant från Kelman Ltd presenterade och demonstrerade deras produkt för brytarprovning, Kelman Profile P1+. Seminariet avslutades med ett ”skarpt” prov på en 12 kV truckbrytare i en närliggande fördelningsstation hos Birka Nät. I seminariet deltog representanter från de finansierade kraftföretagen.

3 Funktionskontroll med spänningssatt brytare

I tabellen nedan ges exempel på vad som kan provas/mätas vid funktionskontroll med brytaren frånskiljd ("off-line") respektive med brytaren spänningssatt ("on-line"). De markerade parametrarna/funktionerna är de som mäts i de testade metoderna. Det bör dock klargöras att vibrationsmätningen i sig inte ger svar på de markerade parametrarna/funktionerna. Vibrationsmätningen inklusive uppmätning av till- och frånslagstider samt till- och frånslagsspolarnas strömkurvor möjliggör, med tillhörande analysmetoder, att ställa diagnos och bedöma konditionen hos spänningssatt brytare.

Parameter/funktion	Brytaren frånskiljd Off-line	Brytaren spänningssatt On-line	Kommentar
Till- och frånslagstider, huvudkontakter	Ja	Ja	
Funktionstider för inkopplingsmotstånd	Ja	Nej	Förinkopplingstiden är viktigast. Kräver givare monterad på utsatt del. Ej provat i detta projekt då ingen av de provade metoderna tillämpar montage på utsatt del.
Tidsskillnader mellan individuella brytställen (flera brytställen i samma fas)	Ja	Nej	Off-line – mycket tidskrävande. Inga kända metoder finns f n för mätning direkt på spänningssatt eller utsatt del.
Tider för hjälpkontakter	Ja	Ja	
Till- eller frånslagstid vid "första manöver"	Nej	Ja	"first-trip". Ger information om brytarens kondition vid utlösning.
Strömmar för TM och UM	Ja	Ja	TM – tillslagsmagnet/spole UM – utlösningmagnet/spole
Rörelsemätning eller mätning av rörelse i dämpdon	Ja	Ja	On-line – beroende på säkerhetsföreskrifter och manöverdonets utformning.
Kontaktresistans	Ja	Ja	Vid on-line: Termografering Vid off-line: Vid brytarprovning
Tid för fjäderspänning	Ja	Ja	Inga kända metoder finns f n. Vib.mätning ger ingen uppgift om detta.
Dynamisk resistansmätning	Ja	Nej	Det är inte känt i vilken utsträckning detta tillämpas i Sverige.
Vibrationsmätning	Ja	Ja	
Isolationsmedium	Ja	Nej	Olja: Genomslagshållfasthet, syratalt m m SF ₆ : Densitet, fukthalt m m Vakuum: Vakuumhalt
Termografering	Nej	Ja	Här avses termografering av brytaren och dess strömbanor.
Smörjning	Ja	Nej	Rekommenderas ej vid spänningssatt brytare.
Minspänningsprov, manöver-spänning	Ja	Ja	Rekommenderas ej vid spänningssatt brytare.

För att genomföra funktionskontroll med spänningssatt brytare, med de två metoder som utvärderats i detta projekt, erfordras en viss avbrottsplanering i och med att brytaren

måste kopplas ett antal gånger i samband med mätningarna. Radiella nät och anläggningar med enkelbrytarscheman kan kräva en noggrannare avbrottsplanering. I maskade nät eller i anläggningar där en parallellbrytare finns tillgänglig bör avbrottstiden vid kopplingen av brytaren i samband med funktionskontrollen kunna reduceras avsevärt eller helt elimineras.

Analys av vibrationer från en brytare och dess manöverdon bygger på att den aktuella mätningen jämförs med en referenssignatur. Referenssignaturen bör vara registrerad vid ett tillfälle när man vet, eller i alla fall är nästan säker på, att brytaren är felfri och funktionstider uppfyller tillverkarens krav på felfri brytare. Det lämpligaste tillfället är naturligtvis då brytaren är ny. Annars bör referenssignaturen tas upp då brytaren genomgått underhåll eller blivit renoverad. Grava fel i ett manöverdon bör kunna ses direkt av vibrationerna utan jämförelse med referenssignatur.

En genomgång och beskrivning för placering av accelerometer för vibrationsmätning redovisas i kapitel 5.2, 5.3 och i referens [9]. Där redovisas också skäl till varför accelerometer bör monteras på eller vid manöverdonet.

Båda de provade metoderna medger funktionskontroll med spänningssatt brytare med avståndsmanöver.

4 Beskrivning av de utvärderade metoderna

Detta kapitel ger en kort presentation av de två metoderna/utrustningar som har utvärderats:

- Programma Electric's vibrationsmetod.
- Profile P1 från Kelman Ltd med vibrationstillbehör (Profile P1+).

Båda metoderna (Programmas och Kelmans) mäter, med något undantag, samma storheter, d v s vibrationerna från brytarens manöverdon vid kopplingsförloppet, funktions-tiderna vid till- respektive frånslag samt spolströmskurvan för till- respektive frånslags-magneten.

Kelmans metod mäter dessutom manöverspänningen kontinuerligt under kopplings-förloppet med en automatisk analys av max- och minvärdena samt genomför även en automatisk tidanalys av spolströmskurvans form under kopplingsförloppet, se kapitel 4.1.2 och 5.5.

Programma och Kelman erbjuder väsentligt olika metoder att analysera de uppmätta vibrationssignalerna. Analysmetoderna beskrivs utförligare längre fram i rapporten.

Båda metoderna möjliggör mätning på brytaren i drift och spänningssatt (on-line) av följande parametrar:

- Till- och frånslagsspolens strömkurva under kopplingsförloppet
- Tidpunkten för huvudkontakternas första elektriska kontaktberöring vid slutning
- Tidpunkten för huvudkontakternas sista elektriska kontaktberöring vid öppning
- De mekaniska vibrationerna (ljudet) vid tillslag och frånslag
- Manöverspänningen under kopplingsförloppet men ingår inte som standard i vibrationsmetoden.

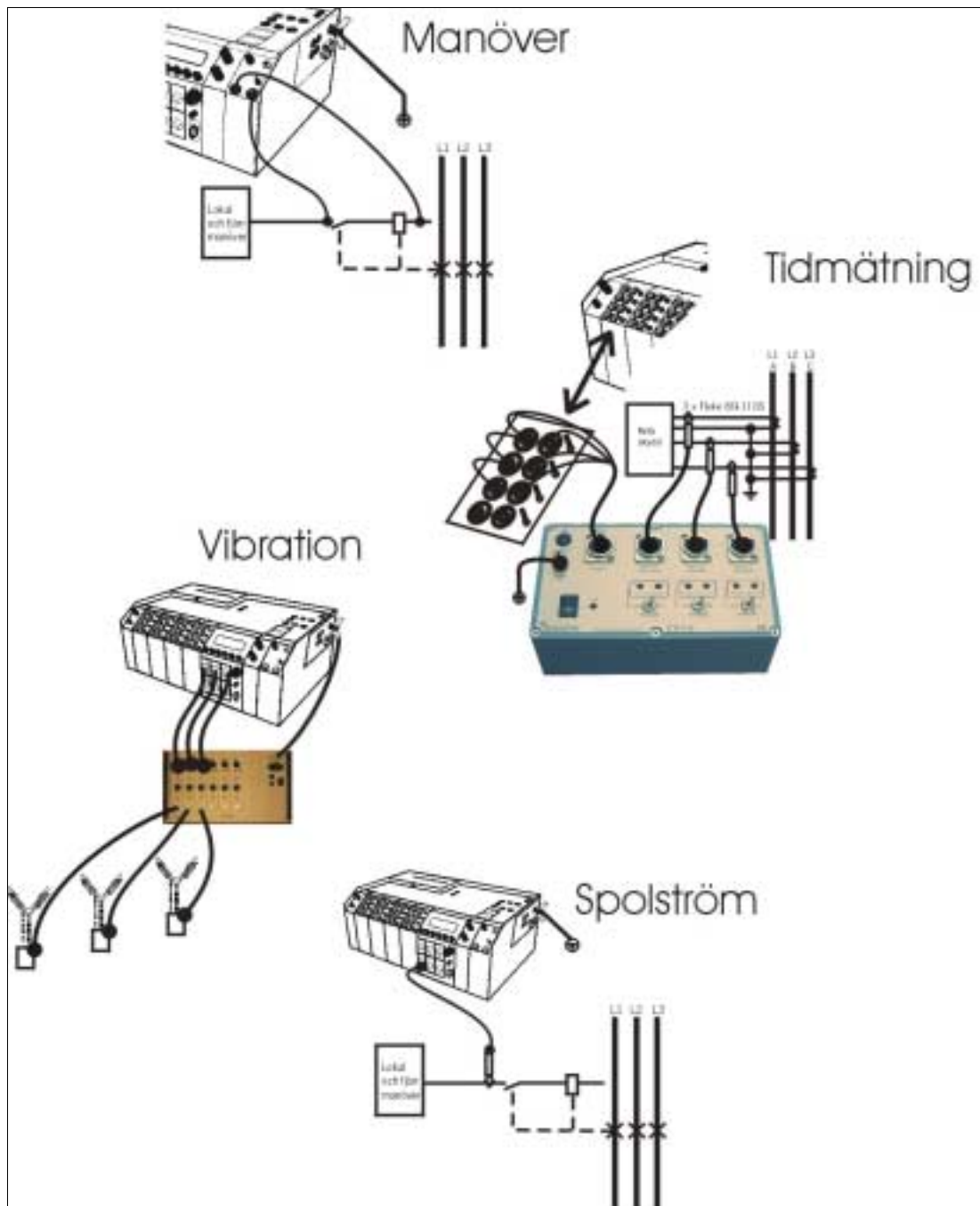
Båda metoderna har fördelen av att mätningarna (av ovanstående funktioner/händelser) kan genomföras med brytaren i drift och spänningssatt. Mätningar kan även ske vid sål-manöver (från-till).

Programmas utrustning och metod för vibrationsmätning kräver anslutning av en bärbar PC för att vibrationsmätningar skall kunna genomföras och för att genomföra analys och utvärdering av dessa.

Kelmans utrustning kräver i sitt koncept i princip ingen anslutning till PC för att genomföra provningarna på brytarobjektet i fråga. Under projektets gång har det dock visat sig att en PC väsentligt har underlättat arbetet i samband med provningarna. En PC med tillhörande program är dock nödvändig för att genomföra analys och utvärdering av vibrationsmätningarna.

4.1.1 Programma Electric

Programmas utrustning för vibrationsmätning består av brytarprovsningsanalysatorn TM1600, MA61 utrustad med 40 kHz analoga kanaler för vibrationsmätning samt signalkonditioneraren SCA 600. Figur 4.1 visar i princip hur Programmas mätutrustning kopplas in.



Figur 4.1 - Principiell inkoppling av Programmas utrustning för mätning av funktionstider och vibrationer vid brytarmanöver.

I mätutrustningen ingår det Windows-baserade brytaranalysprogrammet CABA WIN som med uppgraderingsmodul (CABA Vib) används för provning med vibrationsmätning. CABA Vib-modulen är nödvändig för att analysera och utvärdera vibrationsmätningarna (DTW-analys). DTW står för "Dynamic Time Warping" och innebär att tidsskalan komprimeras och töjs ut längs tidsaxeln. DTW-analysen beskrivs närmare i kapitel 5.3.6 och i bilaga B.

I stället för att utveckla vibrationsmetoden som en egen fristående produkt har Programma valt att integrera vibrationsmetoden som ett tillbehör till sin befintliga brytaranalysutrustning TM1600. Mätningar kan ske på brytare med samtidig tid-, spolström- och vibrationsmätning i alla tre faserna på brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna, och på brytare med ett separat manöverdon för varje fas.

Genom att accelerometern skruvas fast i chassiet på manöverdonet finns möjligheter att mäta vibrationer med frekvenskomponenter upp till 15 kHz.

Första gången en mätning skall utföras på en brytare måste ett hål borraras och gängas för att montera accelerometern (vibrationsgivaren) på manöverdonet eller trucken. Då många storheter (mätkanaler) mäts på brytaren vid uppmätning av referenssignaturer blir det ett relativt omfattande kablage. Däremot då endast vibrationssignatur ska mätas behövs den eller de accelerometrar som ska användas samt sladdar till dessa. Dessutom måste manöversignalen till brytaren vara tillgänglig.

Programmas brytaranalysator TM1600 redovisar spolströmskurvan på traditionellt sätt med tid/ström-diagram. Någon analys av spolströmskurvans utseende eller kurvform görs inte i TM1600.

Programmas mätutrustning kan kompletteras för mätning av:

- Hjälpkontakter mäts med existerande tidmoduler i TM1600, inga kompletterande utrustningar/tillbehör krävs.
- Brytaranalysatorn TM1600 tillsammans med spänningsdelare, VD401, kan mäta manöverspänningen. (Under de avslutande mätningarna loggades manöverspänningen med en multimeter.)

För en diskussion angående montage och val av givarplacering se kapitel 5.3.1 och 5.3.2.

4.1.2 Kelman Profile P1+

Kelman har utvecklat sin Profile P1+ som en helt fristående produkt. I mätutrustningen ingår ett Windows-program för PC (Replay-Pro) för nedladdning av mätdata och för grafisk presentation av tid-, ström- och vibrationsdata. I detta program ingår dessutom analys av den uppmätta vibrationssignalen.



Figur 4.2 - Kelmans Profile P1+ utrustning, som är handhållen, ryms komplett i en väska. Från vänster: Profile P1+, anpassningsmodul för accelerometer, strömtänger för mätning av till- och frånslagstider och spolströmmar. Nedtill syns accelerometern för mätning av vibrationer. I utrustningen ingår även en streckkodsläsare.

Kelmans mätutrustning utvecklades med utgångspunkt från följande:

- att kunna genomföra en funktionskontroll på en brytare snabbt och enkelt. Med viss vana tar det högst 10-15 minuter att genomföra en funktionskontroll på en truckbrytare.
- att kunna utföra funktionskontroll vid första manöver (first-trip).
- funktionstiden för brytarens första manöver efter en längre period av inaktivitet kan mätas ("first-trip"), vilket ger information om brytarens kondition vid exempelvis en felutlösning.
- montage av accelerometern (vibrationsgivaren) kräver inga ingrepp på brytaren (non-invasive). Accelerometern placeras direkt på exempelvis brytartruckens ram eller i manöverdonet med hjälp av en magnetfot medan brytaren fortfarande är i drift. Inga speciella verktyg eller åtgärder behövs för montaget. Om brytaren måste

tas urdrift för att montera accelerometern går möjligheten att mäta vid första manöver förlorad.

För vibrationsmätningen använder Kelmans mätutrustning en samplingsfrekvens på 5 kHz, vilket Kelman anser vara fullt tillräckligt för att bedöma konditionen på en brytare. Denna bandbredd motsvarar ungefär det naturliga hörselområdet hos en erfaren bryartekniker vilken kan detektera om något är på tok i brytaren. Se bilaga G för en djupare beskrivning av bland annat bakgrunden till och utvecklingen av Kelmans mätutrustning.

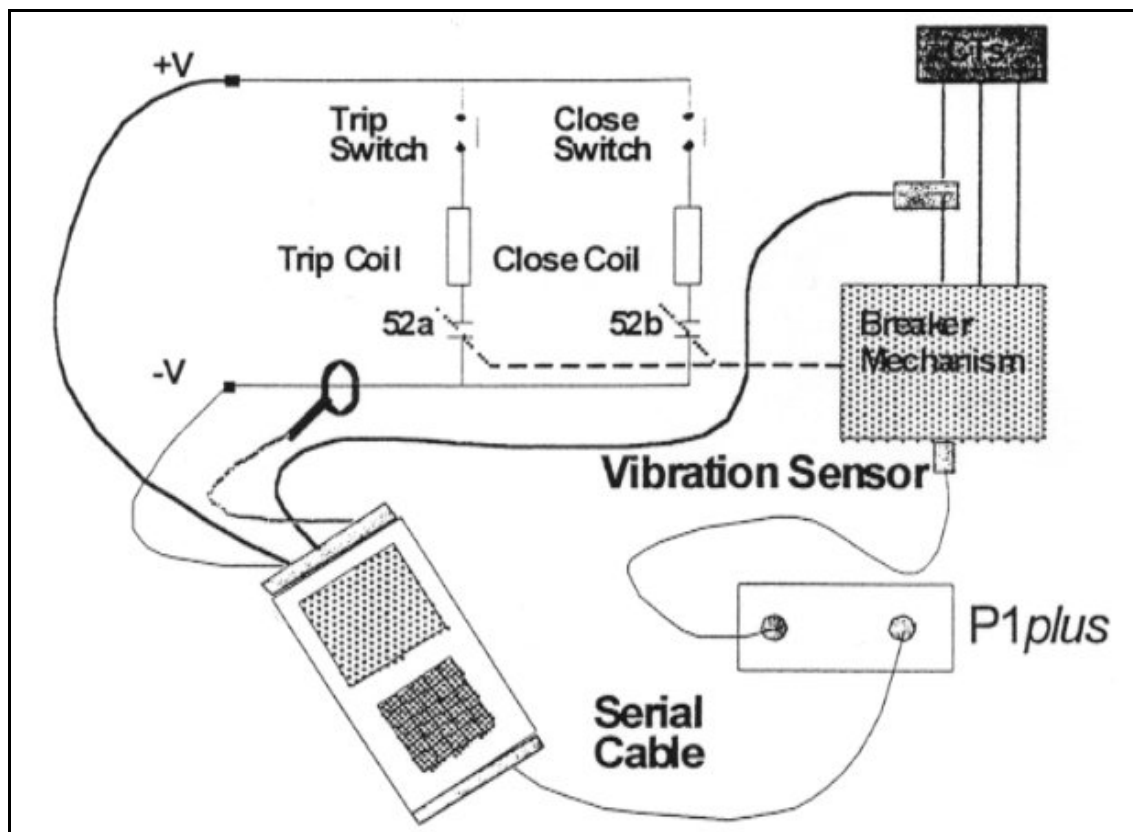
Till Kelman Profile P1+ ingår ett Windows-program för PC (Replay-Pro) för nedladdning av mätdata och för grafisk presentation av tid-, ström- och vibrationsdata. I detta program ingår dessutom analys av den uppmätta vibrationssignalen.

Kelmans utrustning mäter manöverspänningen kontinuerligt under kopplingsförloppet och genomför automatiskt en analys av manöverspänningens max- och minvärden samt mäter och genomför en tidanalys av spolströmskurvans form under kopplingsförloppet. Manöverspänningens min- och maxvärden under kopplingsförloppet ger en indikation på statusen hos lokalspänningsmatningen, växelriktaren och stationsbatterierna i anläggningen samt om manöverspänningen ligger inom riktlinjerna, se även 5.5. Manöverspänningens kurvform kan även ge en indikation på eventuell kärvhet i manöverdonets mekanismer. Exempel redovisas i bilaga F.

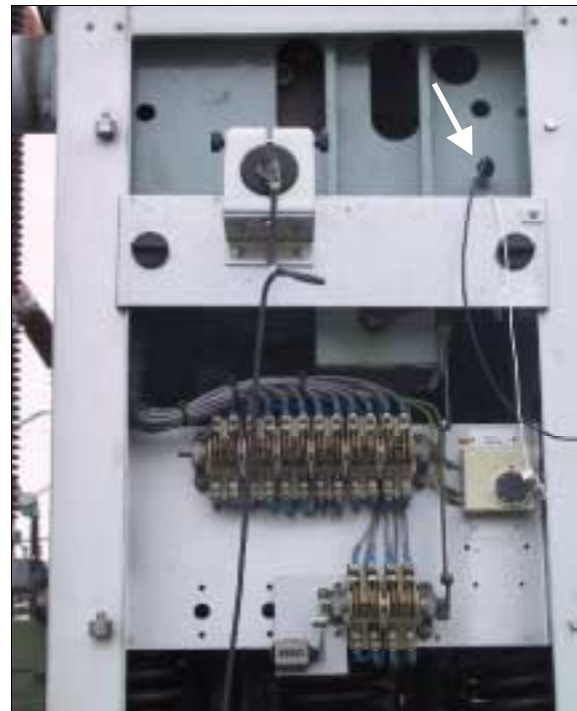
Profile P1+ utvecklades ursprungligen för provning av distributionsbrytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna. Tidmätning av huvudkontaktarna och mätning av spolströmmar på brytare med ett separat manöverdon för varje fas kan därför endast ske för en fas i taget. För tidmätning av alla tre faserna erfordras således tre separata mätningar/brytarkopplingar. Kelman har aviserat att det pågår en vidareutveckling av Profile till en "tre-fas-version" vilken beräknas finnas kommersiellt tillgänglig under våren 2002. Kelmans mätutrustning förutsätter att tillgången till en strömtransformator (för tidmätning) finns i samma kopplingsskåp där manöverkretsarna till brytaren finns tillgängliga eller i dess omedelbara närhet (1 – 2 m). Om strömkretsen finns tillgänglig på annat håll kan strömmätning ske genom att anslutningen till strömtången förlängs.

För en diskussion angående montage och val av givarplacering se kapitel 5.3.1 och 5.3.2.

Figur 4.3 visar den principiella inkopplingen av Kelmans mätutrustning. Figur 4.4 visar ett exempel på inkoppling på en brytare i fält (Asea HLR 420 kV).



Figur 4.3 - Principiell inkoppling av Kelman Profile P1+ utrustning för mätning av till- och frånslagstider, till- och frånslagsspolens strömkurva samt vibrationsmätning.



Figur 4.4 - Inkoppling av Kelmans mätutrustning för funktionskontroll på en Asea HLR 400 kV brytare. Strömtången var placerad vid tillslags- och fränslagsmagnetens återledare. Accelerometern var placerad vid pilen. Bild: Vattenfall Utveckling AB.

5 Genomförda provningar

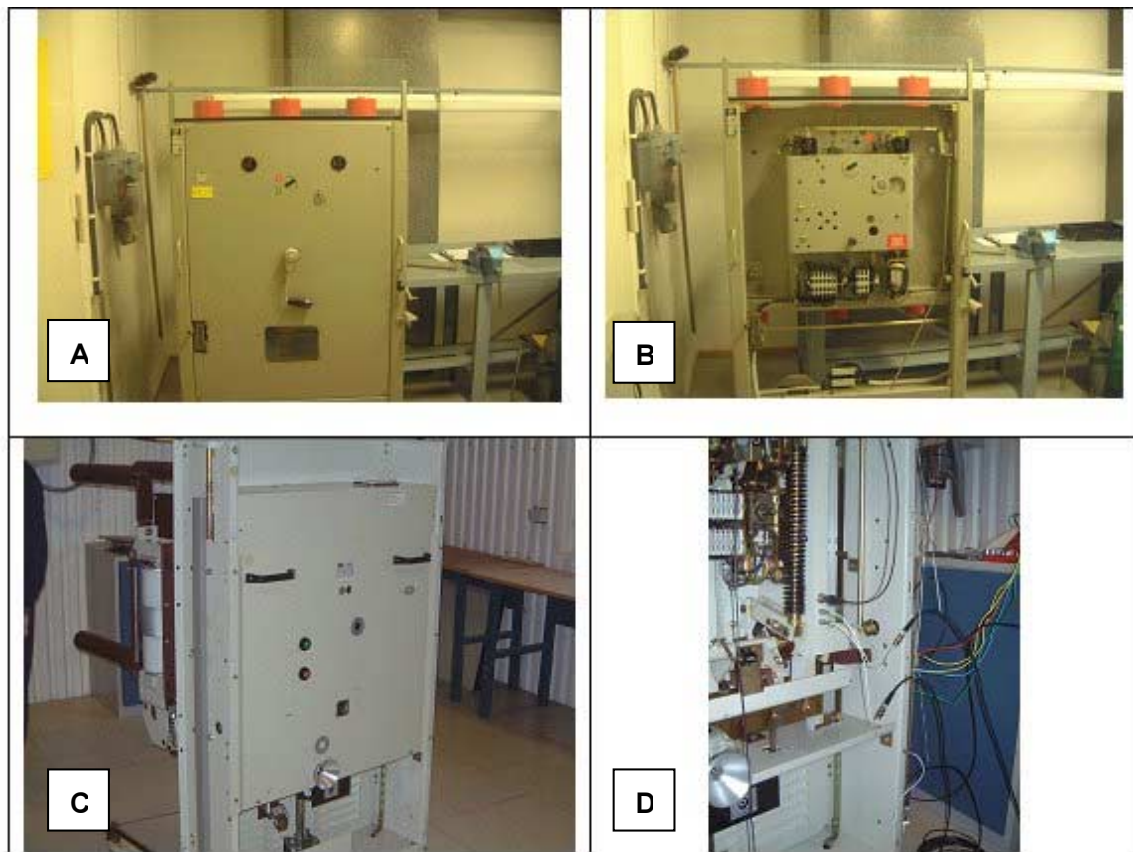
5.1 Inledning

Det genomförda projektet har byggt på tillgång till ett antal lämpliga brytare med hänsyn till förekomst och tillgänglighet. Prov med vibrationsmätningar har genomförts på totalt 19 st brytare. Merparten av mätningarna har kunnat genomföras i samband med ordinarie planerade underhållstillfällen ute på respektive kraftbolag. Av bilaga A framgår i detalj vilka brytarobjekt som vibrationsmätningar har genomförts på.

Brytarna kan delas in i två kategorier 11 - 33 kV (distributionsbrytare) och 50 - 400 kV (region- och stamnätsbrytare). När det gäller mätning av funktionstider och spolströmmar för tillslagsmagnet (TM) och frånslagsmagnet (UM) föreligger ingen skillnad mellan grupperna. Däremot är förutsättningarna för vibrationsmätning olika. Gemensamt för alla brytarkategorierna är att en god referens möjliggör en enkel beslutprocess för att bedöma en brytares kondition. Detta innebär att ju fler parametrar som inkluderas i referensmätningen, desto enklare och tillförlitligare blir det fortsatta arbetet.

Distributionsbrytare (11 - 33 kV)

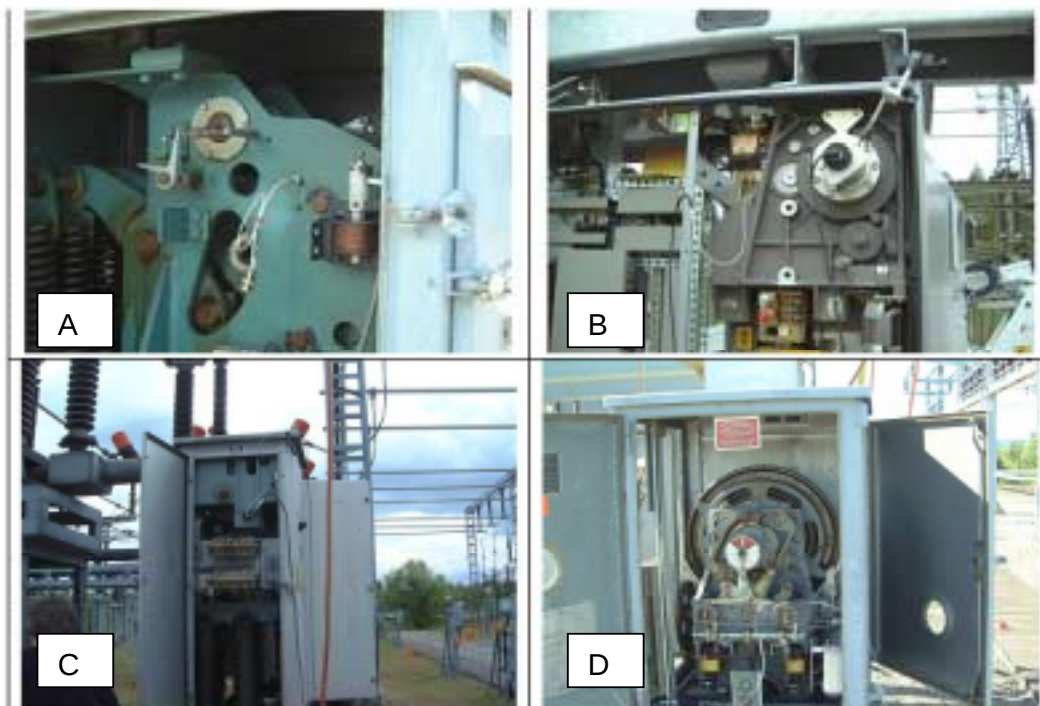
Dessa brytare i studien är av typen oljeminimum eller vakuum. Brytarna är ofta kompakt byggda, i truckutförande och med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna. Brytartypens konstruktion kan i många fall göra det svårt att lokalisera en lämplig plats för vibrationsmätning. Bilderna i figur 5.1 visar i vänstra kolumnen den sida som är åtkomlig när brytaren är i drift, och i den högra hur mekanismen ser ut när frontplåten är borttagen. Bakom frontplåten sitter manöverdonet och det är vibrationerna från det som ska mätas. Att ta bort frontplåten under drift är normalt inte tillåtet och att montera vibrationsgivaren i frontplåten är utesluten av mättekniska skäl. Om det i sidostolparna är möjligt att sätta en vibrationsgivare kan det vara en lösning. Dock har detta inte varit en bra position på de typer som ingått i projektet p g a att stolparna saknat god mekanisk förbindelse med de rörliga delarna. Lösningen i dessa fall kan vara att ta upp hål i frontplåten så att vibrationsgivaren kan monteras på en position i mekanismen som kan förväntas ge en god vibrationssignal.



**Figur 5.1 - Bild A och B: Sprecher & Schuh HPtw 307g/spez 36 kV (Brommaplan, Birka Nät).
Bild C och D: Calor Emag VD4M 1280 P 25 KU, 10 kV (Skanstull, Birka Nät)**

Region- och stamnätsbrytare (50 - 400 kV)

Brytarna i den här kategorin som ingått i projektet har varit av typen oljeminimum och SF₆. Brytarna har vanligtvis manöverdonet monterat i ett separat skåp som är lätt åtkomligt för betjäning även under drift. Donen som används är robusta och med ett rejält gods där alla rörliga delar under en manöver har god mekanisk kontakt. Det är oftast inget problem att lokalisera en position för att placera vibrationsgivaren. Se figur 5.2.



*Figur 5.2 – Bild A: ASEA HKEYC 60/1600, m-don BHFYE 674, 50 kV, (Tågarp, Sydkraft).
 Bild B: Siemens 3API FG 145, 130 kV, (Tälle, Vattenfall Östnät).
 Bild C: ASEA HLR 245/2004 A3, m-don BLG 302, 220 kV, (Bredäng, Birka Nät).
 Bild D: Oerlikon TOFQ 6012, 50 kV, (Tågarp, Sydkraft).*

Då vibrationsmätning första gången ska introduceras på ett brytarobjekt, bör brytaren tas ur drift och frångiljas alternativt blockeras om det senare är möjligt. Anledningarna är att för brytare i truckbrytarställverk måste fackdörren öppnas och för montering av Programmas accelerometer måste hål borraras i godset på brytaren, vilket också gäller utomhusplacerad brytare. Att utföra denna typ av arbete på en spänningssatt apparat bör undvikas. Dels föreligger risk för felutlösning av den spänningssatta brytaren, dels kan obefogad utlösning ske i samband med att arbetet utförs. Normalt sker ju manöver av brytare via avståndsmanöver. Såväl Programmas som Kelmans mätmetod medger uppmätning av brytaren med avståndsmanöver. Se även kapitel 5.3.2.

För brytare med ett separat manöverdon för varje fas ska accelerometern monteras på samma punkt på respektive manöverdon. Gäller såväl Programmas som Kelmans metod.

5.2 Allmänt om vibrationsmätning

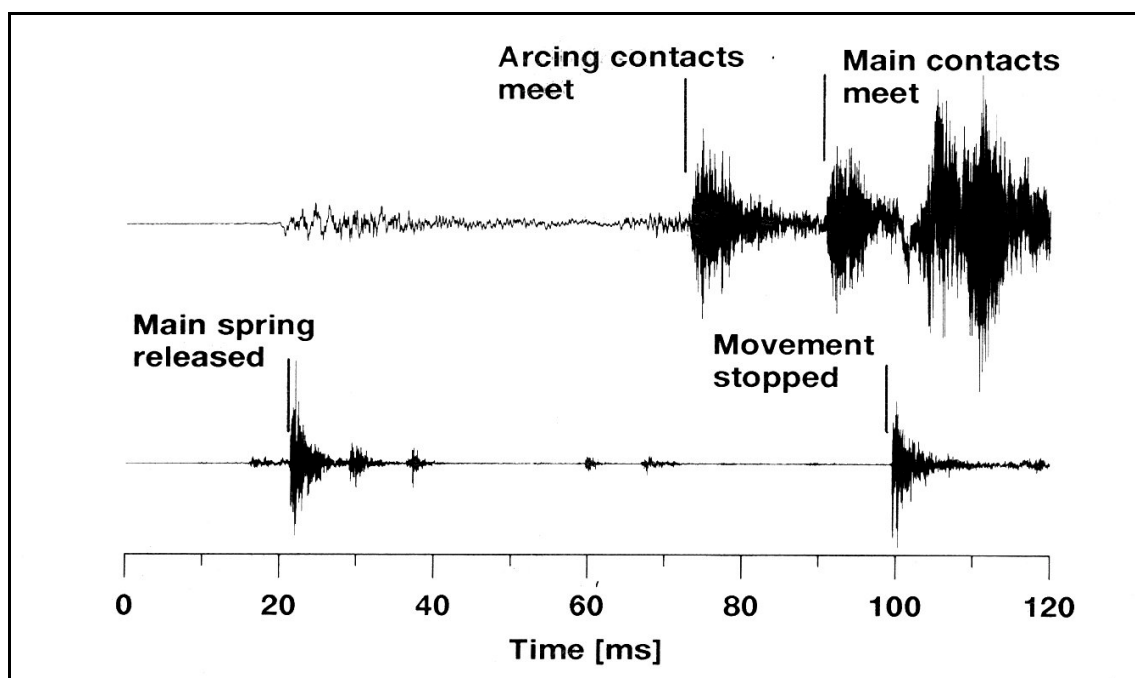
Mätning av vibrationer har traditionellt använts för att ställa diagnos på roterande maskiner, t.ex. kul- eller bärlager. En vibrationsgivare (accelerometer) monteras då nära det lager som ska kontrolleras och signalen från givaren analyseras vad gäller frekvensinnehåll. Med kännedom om lagertyp går det då med stor säkerhet att säga i vilket tillstånd lagret är utan att ta anläggningen ur drift och montera isär lagret.

När det gäller vibrationsmätning på brytare är idén densamma. Genom att lyssna på brytaren (som med stetoskop) vill man kunna ställa diagnos på den. Detta kan göras genom att sätta givare på väl valda platser och spela in signalen då brytaren manövreras. De platser som är lämpliga att lyssna på, är platser med mekaniska händelser. Främst är det manöverdonet som kan granskas på detta sätt, men även huvudkontakten kan analyseras. Huvudkontakten är dock inte tillgänglig vid mätning på spänningssatt brytare.

För att den inspelade vibrationssignalen ska kunna användas för diagnos måste den behandlas och analyseras. De olika metoderna Programma respektive Kelman använder här olika algoritmer. Rätt behandlad innehåller vibrationssignaturen mer information om händelser i brytaren än vad som erhålls idag med traditionella funktionskontroller med tidsmätning.

5.3 Vibrationsprovning av brytare

Vibrationsprovning av brytare bygger på det faktum att mekanismen i brytaren avger kraftiga vibrationer i samband med att utlösningmekanismen frigörs och därmed kraftiga akustiska vibrationssignaler. Med hjälp av accelerometrar ("mekaniska mikrofoner") som fästs på brytaren på lämpligt ställe, kan en direkt mätning av brytarens akustiska vibrationer ge detaljinformation om olika mekaniska händelser, se figur 5.3.

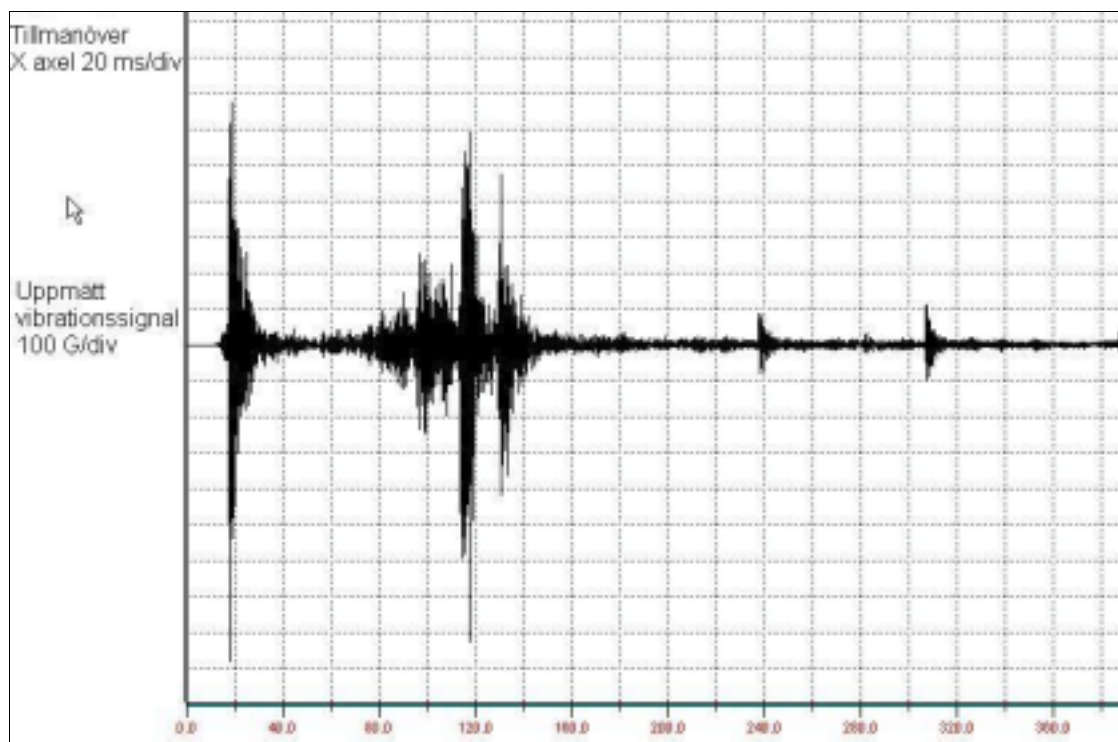


Figur 5.3 - Vibrationsmönstret består av en serie händelser i tiden vars källa kan identifieras. För den övre kurvan var accelerometern placerad på brytarpolen på utsatt del. För den undre kurvan var accelerometern placerad på manöverdonet. Bild: Programma/SINTEF.

5.3.1 Betydelsen av accelerometers placering

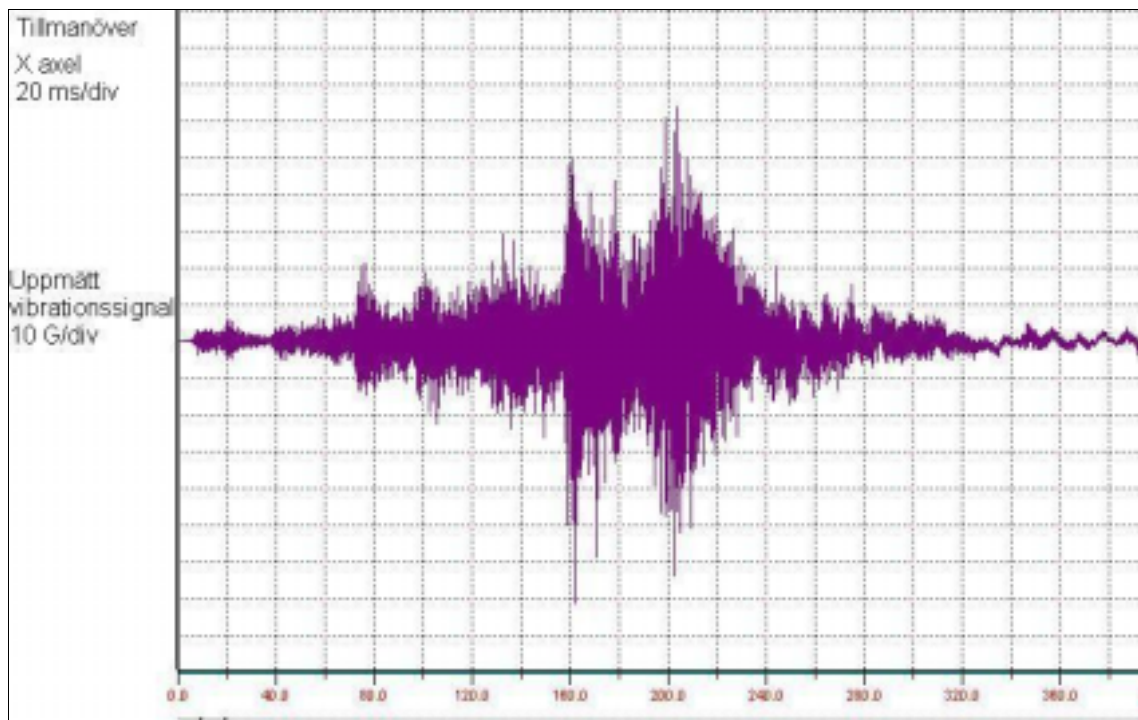
För att registrera rätt vibrationer från mekaniska händelser i brytaren, måste accelerometern placeras med omsorg. Viktigt är att energin från de mekaniska händelserna transmittas fram till givaren. Det betyder att den bör monteras på någon del av den mekaniskt bärande strukturen, som har god mekanisk förbindelse med brytarens rörliga delar.

För att i någon mån förvissa sig om att accelerometern sitter bra/acceptabelt ska det gå att tydligt urskilja händelser i vibrationsmönstret, se figur 5.4.



Figur 5.4 - Vibrationsmätning där tydliga händelser kan urskiljas. Brytare ASEA HLR 245 2004 A3 med BLG 302, Bredäng, Birka Nät (Programma).

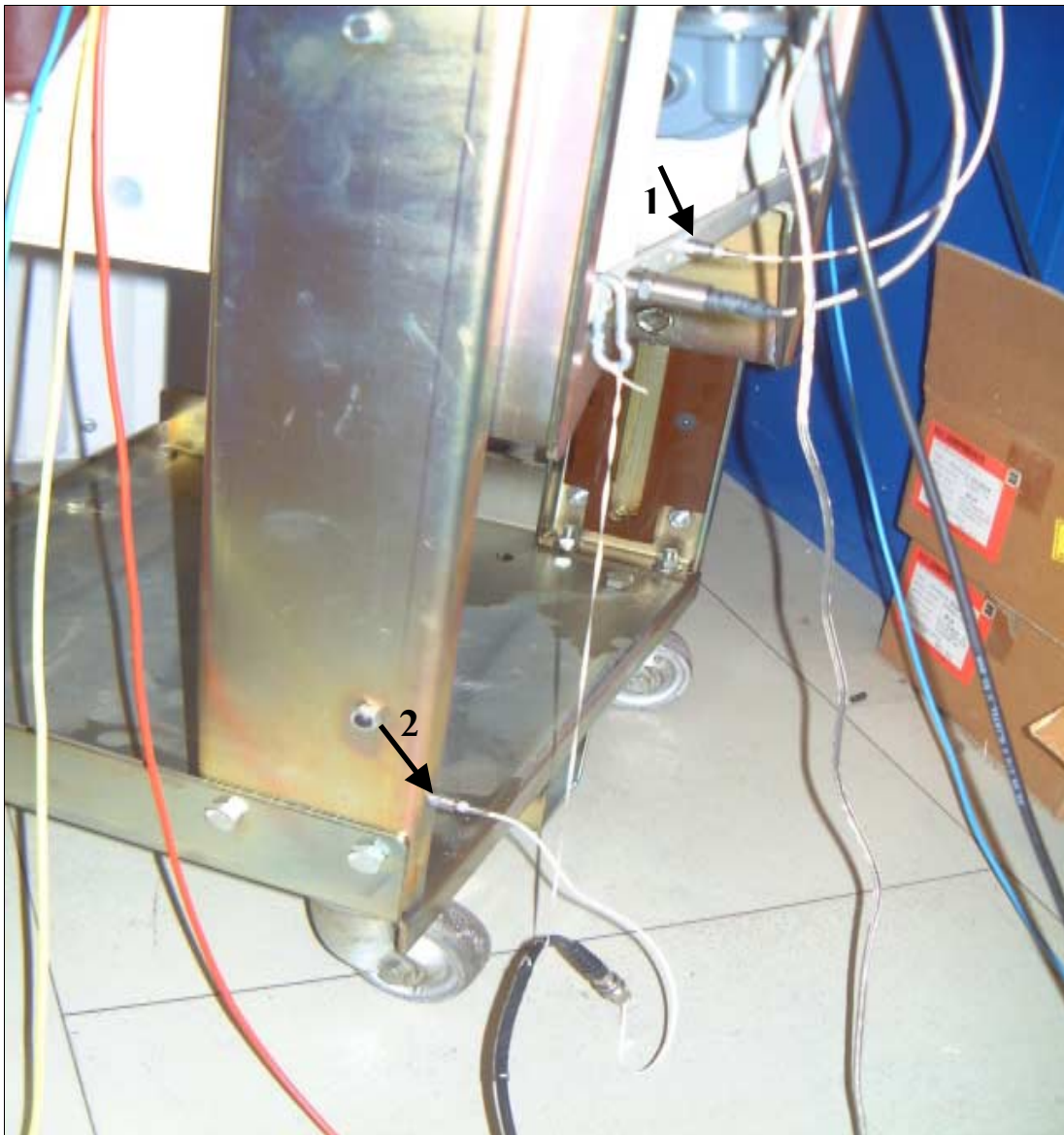
Om däremot mönstret ser ut som i figur 5.5 så finns inga tydligt markerade händelser och då går inte signaturen heller att använda för analys. Vibrationerna från brytarens mekanik maskeras här av ett brus vars ursprung är svårt att bestämma.



Figur 5.5 - Vibrationsmätning där händelser maskeras av brus. Brytare Sprecher & Schuh HPTw 307g/spez 36 kV oljeminbrytare, Bromma, Birka Nät (Programma).

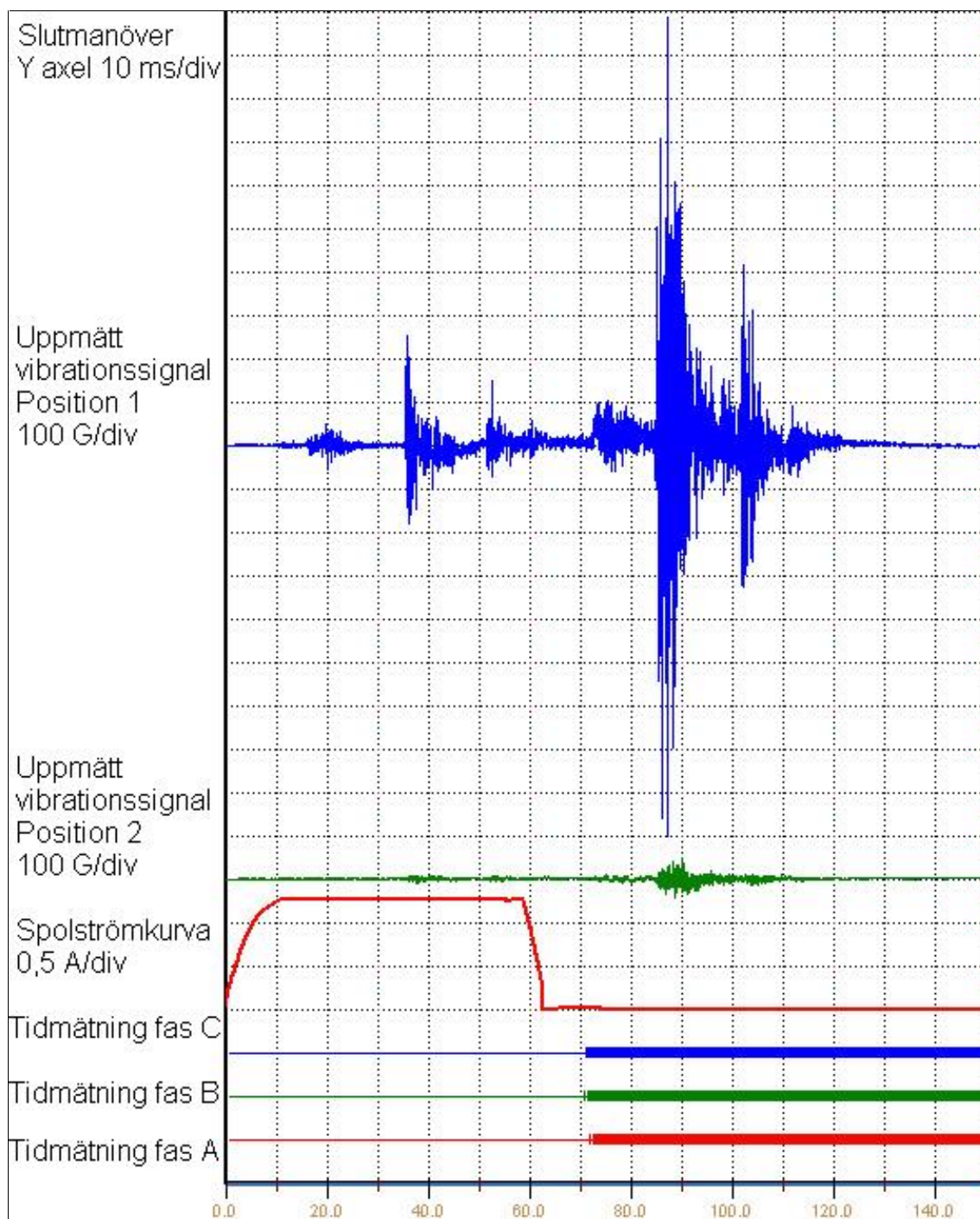
I projektet har fokus legat på att undersöka hur det går att mäta vibrationerna från manöverdonet på spänningssatt brytare. Anledningen till detta är att vid undersökningar som genomförts inom Cigré uppstår ca 80 % av alla fel på en brytare just i manöverdonet [4]. Det skulle naturligtvis vara av intresse att veta mer om tillståndet på kontakterna, både huvudkontakter, avbränningskontakter (ljusbågskontakter) och resistorkontakter, men det är inte praktiskt möjligt att mäta vibrationerna från dessa under spänning. Enligt studier på SINTEF i Norge visar det sig att vibrationerna inte sprider sig särskilt långt i brytarna [9]. Även om man skulle sätta givaren direkt under stödporslinet, skulle inte vibrationerna från kontakterna tillförlitligt kunna registreras.

För att belysa hur viktigt det är att hitta rätt position för vibrationsgivarna, accelerometrarna, togs två positioner på en Calor Emag VD4M 1208 P25KU brytare. Denna brytartyp är monterad i ett truckutförande. Då frontplåten monteras av och mekanismen granskas så går det att hitta en position där accelerometern kommer att sitta bra och ha god mekanisk kontakt med de rörliga delarna i manöverdonet. Denna position är markerad som position 1 i figur 5.6. Vid en första anblick kan en position i brytartruckens ram vara den position som är enklast att borra och gänga i och den positionen tillåter även att accelerometern monteras då brytaren är spänningssatt. Denna position är markerad som position 2 i figur 5.6.



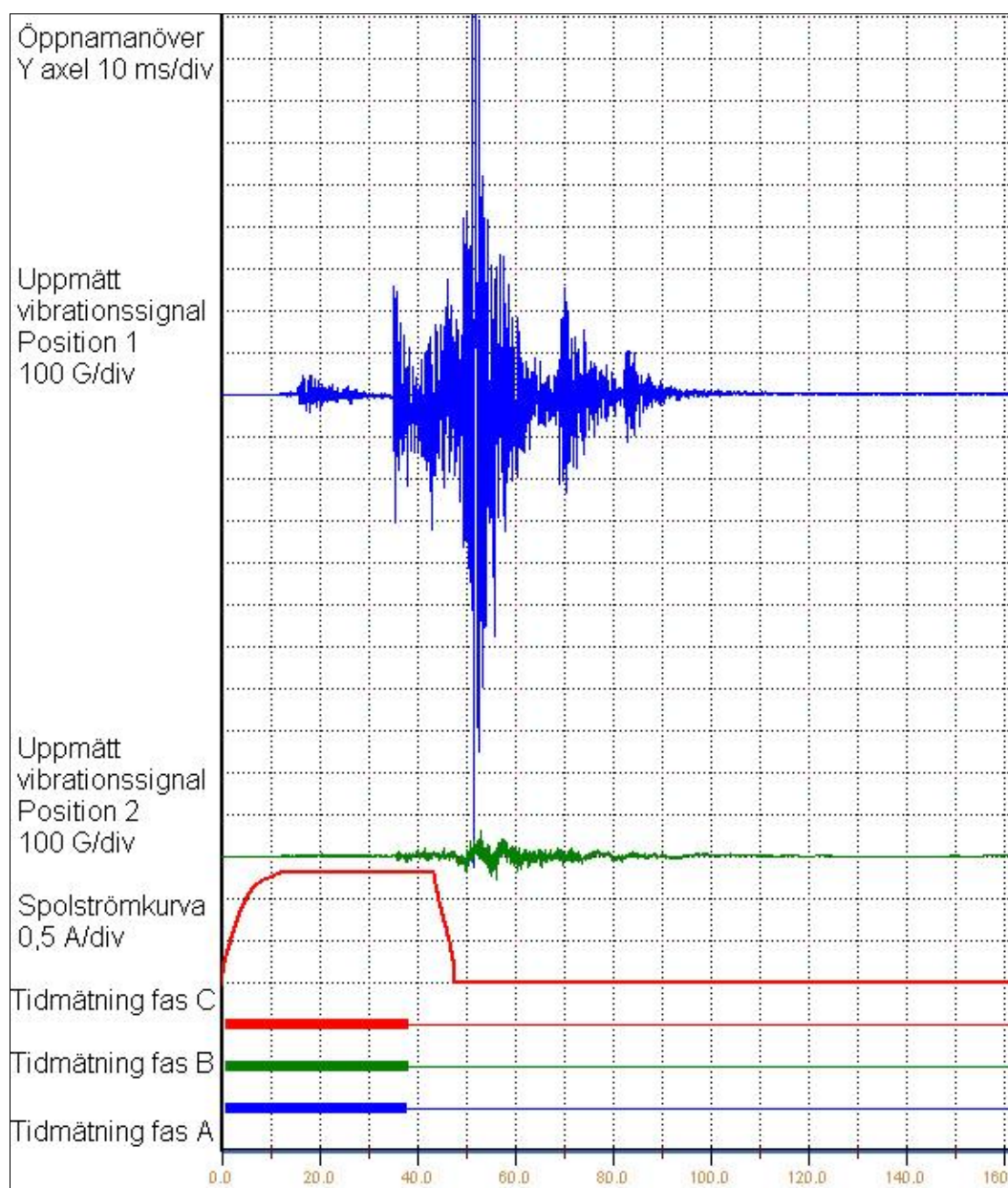
Figur 5.6 - Calor Emag VD4M 1208 P25KU med två accelerometrar monterade i två skilda positioner.

Båda positionerna mättes i samma manöver, både en till- och en frånmanöver mättes och i figur 5.7 och 5.8 visas resultaten.



Figur 5.7 - Calor Emag VD4M 1208 P25KU, tillmanöver.

I figur 5.7 framgår det tydligt att position 1 ger en mycket väl definierad vibrationssignatur där tydliga händelser kan urskiljas. Position 2 ger dock en oacceptabel vibrations-signatur som består av mycket svag signal utan tydliga händelser. Detta beror på att vibrationerna dämpas i mekanismen mellan källan och mätpunkten. En mätning endast i position 2 ger således inte en acceptabel mätsignal.



Figur 5.8 - Calor Emag VD4M 1208 P25KU, frånmanöver.

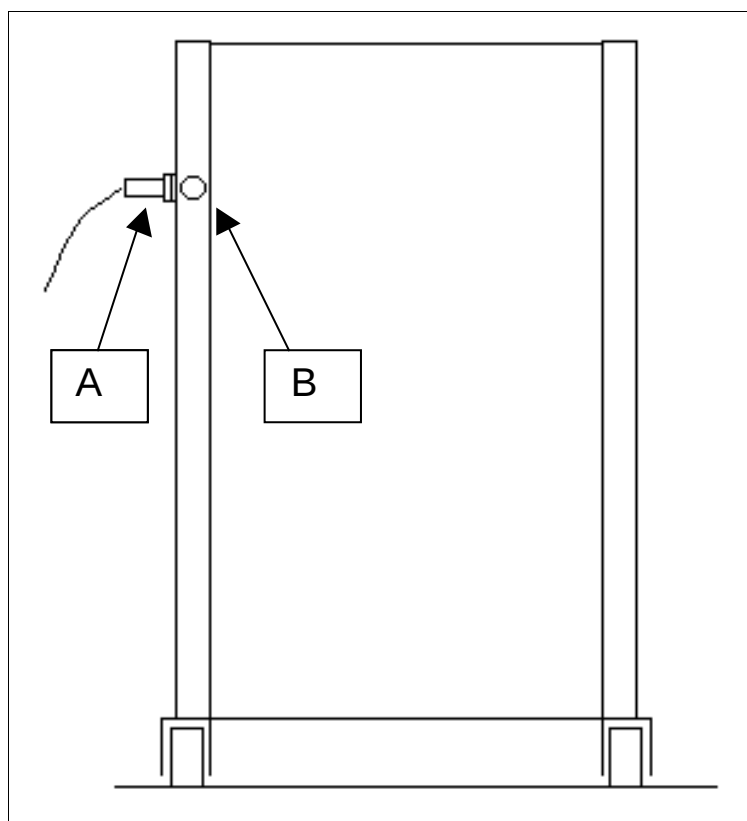
I figur 5.8 visas samma sak vid en från manöver. Position 1 uppvisar en god vibrations-signatur medan position 2 uppvisar en icke acceptabel.

Som slutsats kan dras att det finns positioner som inte är lämpade för vibrationsmätning. Dock ska det påpekas att det är mycket enkelt att inse detta genom att följa vissa grundregler då en vibrationsmätning ska genomföras. Accelerometern ska registrera mekaniska vibrationen, ljudet som uppstår vid rörelse i manöverdonet. Ljudet fortplantar sig i den mekaniska konstruktionen men blir svagare, dämpas och blir svårare att identifiera ju längre bort de kommer från källan. Även delar i den mekaniska konstruktionen inverkar på dämpningen. Om den mekaniska kontakten mellan källan och mätpositionen är

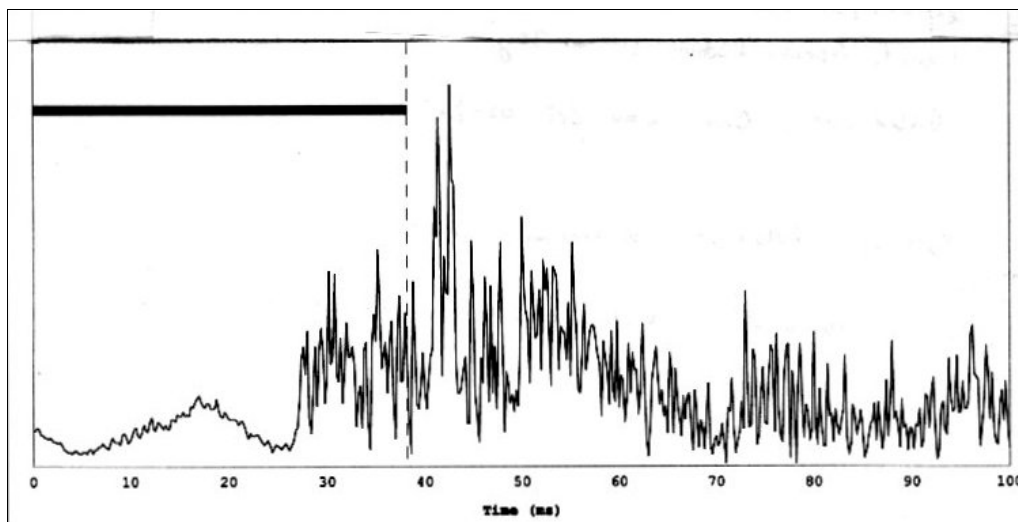
dålig, d v s innehåller skruvförband etc. dämpas signalen ännu mer vilket ger en sämre mätsignal. Som exempel kan tas det gamla sättet att lyssna på ventiler i äldre bilar. Om en skruvmejsel eller en metallstång sätts mot motorblocket och örat emot andra sidan hör man hur ventilerna rör sig. Med kunskap och erfarenhet om hur det ska låta kan man på så sätt avgöra om det är rätt eller fel. Om däremot skruvmejseln eller metallstången sätts mot bilens kaross, så kommer troligen inte ens det mest tränade örat att kunna avgöra om bilens ventiler rör sig rätt eller fel.

Figurerna 5.10 och 5.11 visar ytterligare exempel på vibrationssignaler med olika placering av accelerometern. Av figurerna 5.10 och 5.11 framgår att signalnivån är marginellt högre vid punkt A än vid punkt B.

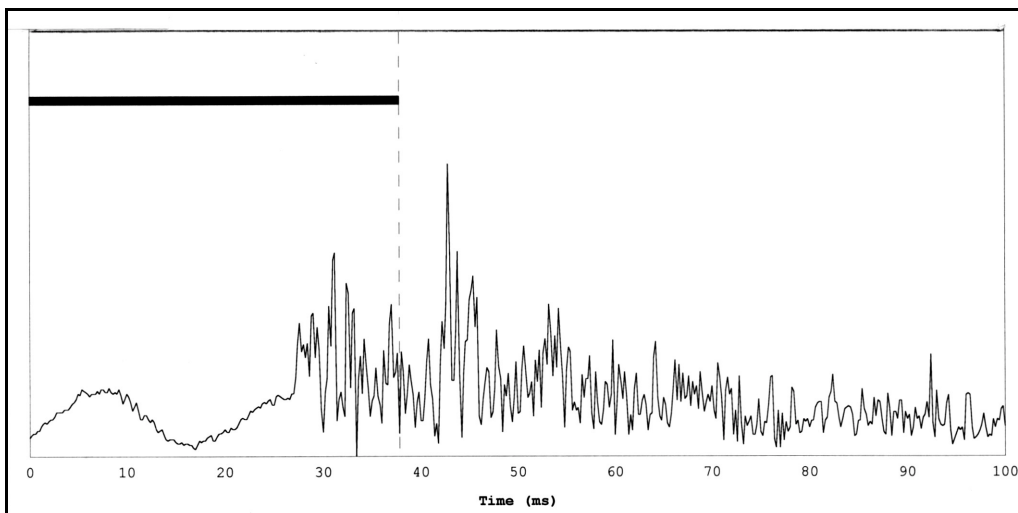
Emellertid är det väsentligt att notera att accelerometern måste placeras vid samma punkt vid varje återkommande mätning. Detta gäller såväl Programmas som Kelmans metod. Att försöka hitta den absolut optimalaste placeringen där signalnivån är som högst är inte nödvändigt.



Figur 5.9 – Brytare Sprecher & Schuh HPTw 307g/spez 36 kV (Brommaplan, Birka Nät). Prov med alternativa accelerometer-placeringar, punkt A och punkt B. (Kelman)



Figur 5.10 - Accelerometern placerad vid punkt A.



Figur 5.11 - Accelerometern placerad vid punkt B.

I detta fall torde endast placering B vara tillgänglig då brytartrucken är inskjuten i facket.

5.3.2 Montering av accelerometer

Tillverkare av givare (accelerometrar) påpekar att monteringen av accelerometern är bland det viktigaste när det gäller att mäta vibrationer tillförlitligt. Görs montaget inte på ett riktigt sätt, så reduceras avsevärt den högsta frekvens som kan detekteras [5, 6, 7].

Accelerometern från Programma rekommenderas att man skruvar fast. På gängen ska först ett tunt lager av siliconfett läggas och sedan ska den dras fast med momentnyckel till det moment som tillverkaren rekommenderar. På brytares manöverdon finns ofta gängade hål på något lämpligt ställe som kan utnyttjas. Det går då att använda en

gängadapter som accelerometern kan sättas i. Detta ger inte riktigt samma tillförlitlighet som att sätta accelerometern direkt i godset, men ger generellt ett bra resultat. Om man inte vill borra och gänga, så kan accelerometern limmas fast med ett tunt lager tunnflytande epoxy- eller superlim. Det har dock nackdelen att accelerometern inte så lätt kan tas bort för kalibrering eller för att användas på andra brytare.

Accelerometern från Kelman fästes med den medföljande magnetfoten. Val av lämplig punkt på godset sker med samma urvalskriterier som med Programmas.

Vid monteringen av givaren, gäller för båda metoderna, att det är viktigt att accelerometers hus har direktkontakt med godset. Det betyder att ojämnheter från borrar och gängning måste avlägsnas och även färg från kontaktytan avlägsnas innan accelerometern fästes i manöverdonet. För montage av Kelmans accelerometer tillses att ytan är så jämn och plan som möjligt samt fri från överflödigt ytbehandling, svetsloppor etc. Dessutom måste materialet som Kelmans accelerometer monteras på var magnetiskt.

5.3.3 Informationen i vibrationssignalen

Vilken information kan då utläsas ur vibrationskurvan? De vibrationer som registreras kommer från mekaniska delar i rörelse. Det kan vara spärrar som släpper, kontaktytor som möts eller mekaniska rörelser som dämpas upp i dämpdonet. Alla dessa händelser genererar sitt eget vibrationsmönster. Följden av alla vibrationsmönster från händelserna i brytaren kallas för en vibrationssignatur.

5.4 Exempel på vibrationssignaler uppmätta med Programmas metod och tolkningen av dessa

Att titta på en vibrationssignatur med tydliga händelser på en datorskärm eller på en utskrift säger oftast ingenting om brytarens kondition, då de består av ett antal händelser, som visualiseras med en högre amplitud vid vissa tidpunkter under en manöver, se figur 5.4.

En vibrationssignatur kan dock i många fall tolkas om kunskap och erfarenhet finns om funktionen i manöverdonet för en bryartyp. För att åskådliggöra detta görs här en närmare analys av vibrationssignaler, tillslagstid, öppningstid, rörelse, dämpdonets rörelse och spolström från en brytare Asea HLR 245 med BLG 302-don (Bredäng, Birka Nät) som har ett mycket väl definierat händelseförlopp vid både till- och frånmanöver.

Denna referensmätning utfördes på en icke spänningssatt brytare och därför har även andra storheter såsom tillslagstid, öppningstid, rörelse, dämpdonets rörelse och spolström mätts samtidigt som vibrationsmätningen utfördes. Att mäta samtliga parametrar är inte ett krav, men för att underlätta analys och förståelse samt att utnyttja vibrationsmätningens kapacitet till fullo är detta att föredra. Referensmätningen ligger i ett senare skede som grund för Programmas DTW-analys, se kapitel 5.4.1.

Tillslagstid/Öppningstid:

Mäts traditionellt med TM1600 över faserna på brytaren.

Då brytaren är spänningssatt, mäts sluttid/bryttid med Programmas CTI kopplad till TM1600 och tiden mäts genom att man mäter strömmen på sekundärsidan av strömtransformatorerna.

Spolström:

Mäts med DC strömtänger i spolkretsen, punkt 1 och 7 i skissen nedan, kopplade direkt till TM1600/MA61. Går att mäta även när brytaren är spänningssatt.

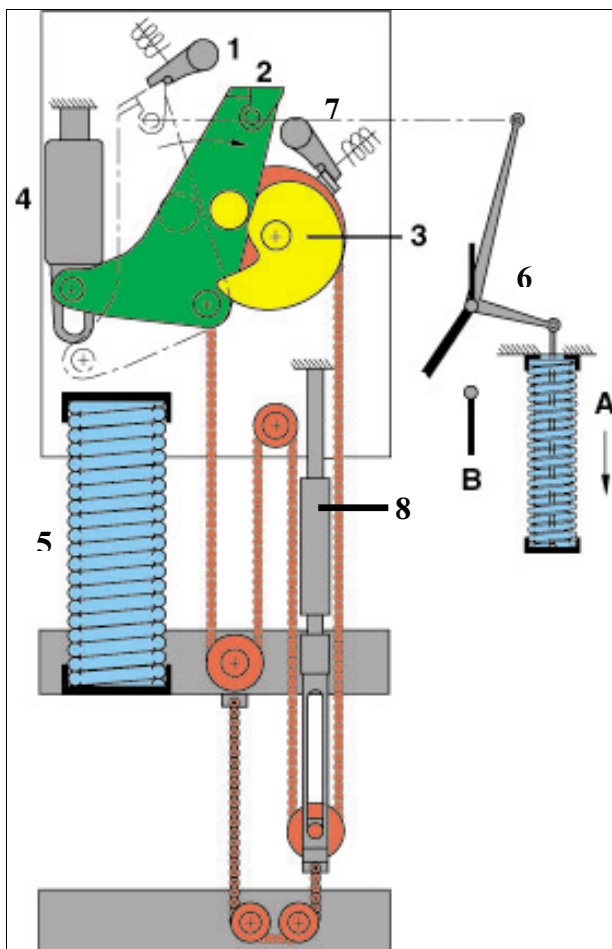
Rörelse:

Mäts med roterande givare i mekanismhuset, punkt 6 i skissen nedan, vid polen på brytaren. Se figur 5.12. Går ej att mäta när brytaren är spänningssatt.

Dämpdon (tillmanöver):

Mäts med roterande givare i manöverdonet, punkt 3 i skissen nedan på brytaren. Se figur 5.13. Vad som visas i figur 5.15 är en konverterad rörelse som beskriver tillståndet på dämpdonet för tillmanöver, punkt 8 i skissen. Se specifik Asea information för mer detaljerad förklaring.

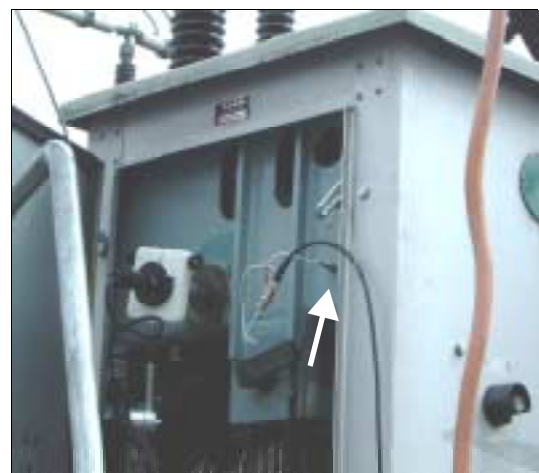
Nedan visas en principskiss över Asea BLG-dons mekaniska komponenter och en kort förklaring till dessa. I Figur 5.14 och 5.15 visas vilka händelser i brytarens manöver som kan identifieras i vibrationssignaturerna för från- resp. tillmanöver med utgångspunkt från den information principskissen ger samt inhämtad kunskap och erfarenhet.



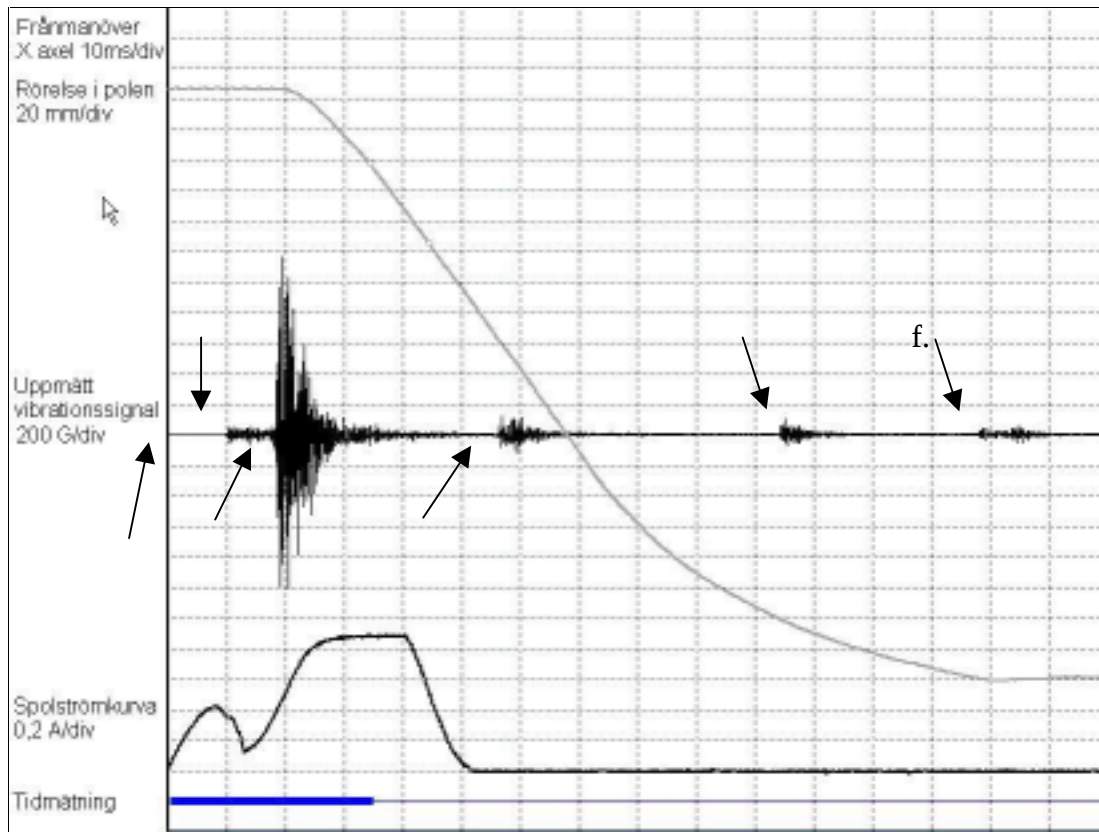
- 1. Spärrpaket för frånmanöver**
Består av en elektromekanisk spole och en utväxlingsmekanism i tre steg.
 - 2. Manöverarm, frånmanöver**
Rör sig frånsparren 1 till ett mekaniskt stopp i donet vid frånmanöver. Vid tillmanöver återgår den till spärren 1.
 - 3. Kamskiva, tillmanöver**
Rör sig 360° motsols då spärren 7 frigörs.
 - 4. Dämpdon, frånmanöver**
Denna dämpfunktion är placerad i polen för BLG 302.
 - 5. Fjäderpaket, tillmanöver**
Kraften frigörs genom kedjan till kamskivan då spärren 7 frigörs.
 - 6. Pol (Mekanismhus)**
Mät punkt för rörelsen
 - 7. Spärrpaket för tillmanöver**
Består av en elektromekanisk spole och en utväxlingsmekanism i tre steg.
 - 8. Dämpdon, tillmanöver**
Oljefylld cylinder som bromsar upp kraften efter att huvudkontakten gått till.
- A. Fjäderpaket, frånmanöver**
B. Brytkammare



Figur 5.12 - Mätning av rörelsen i mekanismhuset med roterande rörelsegivare (Programma).

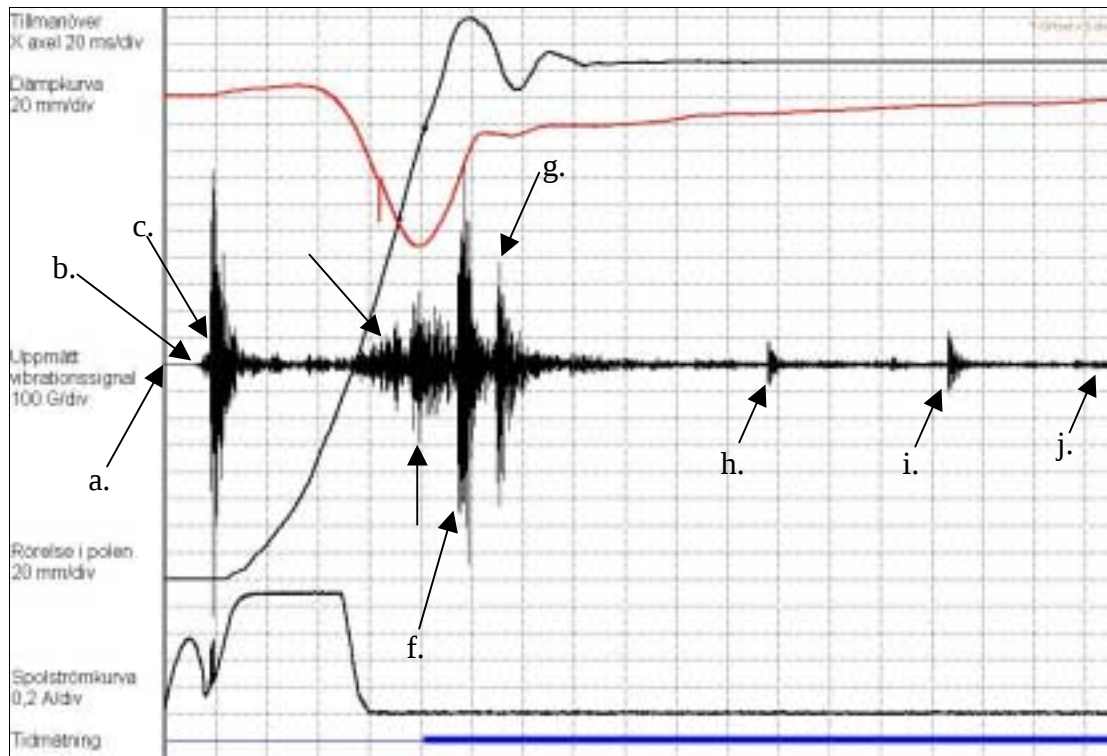


Figur 5.13 – Mätning av rörelse i dämpdonet vid tillslag med roterande givare. Accelerometer placerad i godset för vibrationsmätning (Programma).



Figur 5.14 - Vibrationssignatur vid frånmanöver (Programma).

- a. Impuls till frigivning av spärrpaket ges. Strömmen i spolkretsen börjar, se spolströmskurvan. Dock ingen mekanisk rörelse, ingen vibration.
- b. Frånspolens elektromagnet drar, vilket startar den första mekaniska rörelsen. Vibrationskurvan indikerar att elektromagneten nu rör sig och ger en vibration. Även spolströmskurvan visar att rörelsen påbörjats genom att denna punkt sammanfaller med en dipp i kurvan. Fortfarande ingen rörelse i polen.
- c. Storspärren i donet frigörs (1). Manöverarmen (2) påbörjar sin rörelse vilket medför att rörelsen i mekanismhuset påbörjas, se rörelsekurva. Vibrationskurvan indikerar med en tydlig händelse.
- d. Dämpdonet för frånmanöver (4) påbörjar sin dämpning som avspeglar sig i form av en tydlig händelse i vibrationskurvan.
- e. Dämpdonet för frånmanöver (4) dämpar i sitt andra steg.
- f. Mekaniskt stop i manöverdon. Rörelsen avstannar.



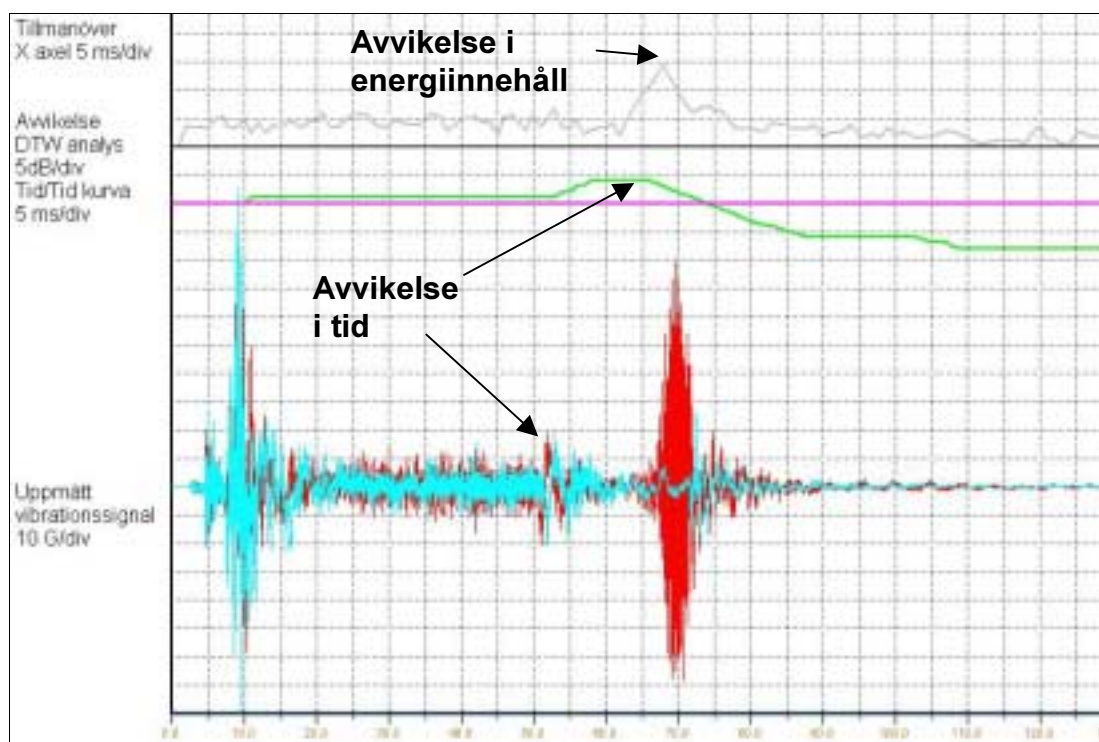
Figur 5.15 - Vibrationssignatur vid tillmanöver (Programma)

- a. Impuls till frigivning av spärrpaket ges. Strömmen i spolkretsen börjar, se spolströmskurvan. Dock ingen mekanisk rörelse, ingen vibration.
- b. Tillspolens elektromagnet drar vilket startar den första mekaniska rörelsen. Vibrationskurvan indikerar att elektromagneten nu rör sig och ger en vibration. Även spolströmskurvan visar att rörelsen påbörjats genom att denna punkt sammanfaller med en dip i kurvan. Fortfarande ingen rörelse i polen.
- c. Storspärren i donet frigörs (7). Kamskivan (3) påbörjar sin rörelse vilket ger att rörelsen i mekanismhuset påbörjas och manöverarmen trycks tillbaka av kamskivan (3), se rörelsekurva. Vibrationskurvan indikerar med en tydlig händelse.
- d. Kamskivans (3) successivt ökande diameter trycker tillbaka manöverarmen (2) och ger upphov till vibrationer.
- e. Dämpdonet för tillmanöver (8) påbörjar dämpningen.
- f. Manöverarmen (2) passerar spärren (1) genom att läppen trycks ned och en viss överrörelse görs. Ses tydligt på rörelsekurvan.
- g. Manöverarmen (2) lägger sig mot spärren (1) och rörelsen i polen avstannar. Rörelsekurvan visar en insvängning och vibrationskurvan ger motsvarande vibrationer för detta.
- h. Egensvängningar i kedjan som överför kraften från fjäderpaket (5).
- i. Se h.
- j. Rörelsen i manöverdonet avstannar genom att kamskivan (3) lägger sig mot spärren.

För en mer teoretisk diskussion om accelerometrar och frekvensanalys, se bilaga B (Programma-specifikt).

5.4.1 Programmas metod för analys av vibrationssignalerna (Programma DTW-analys)

Målet med Programmas DTW-analys är att det ska gå att se i vilken omfattning vibrationssignaturen avviker från referenssignaturen. Avvikelsen kan utläsas dels som en avvikelse i tid mellan samma händelse i de två mätningarna, dels som skillnader i energiinnehåll i olika frekvensband för samma händelse vid de olika mätningarna. Dessa båda uppgifter presenteras relaterat till varje tidpunkt i referenssignaturen. Det ger en möjlighet att se under vilket skede av manövern som tidsskillnader uppkommer samt om vibrationsmönstret för någon händelse har förändrats. En sådan förändring kan vara orsakat av t.ex. förslitning av detaljer, dämpdon som inte fungerar som tidigare etc. Med ett exempel nedan åskådliggörs detta.



Figur 5.16 - Brytare ABB 420 kV ELK SP 3-2. Inte en brytare från referensmätningar i projektet då ingen av mätningarna påvisade avvikelser, Programma.

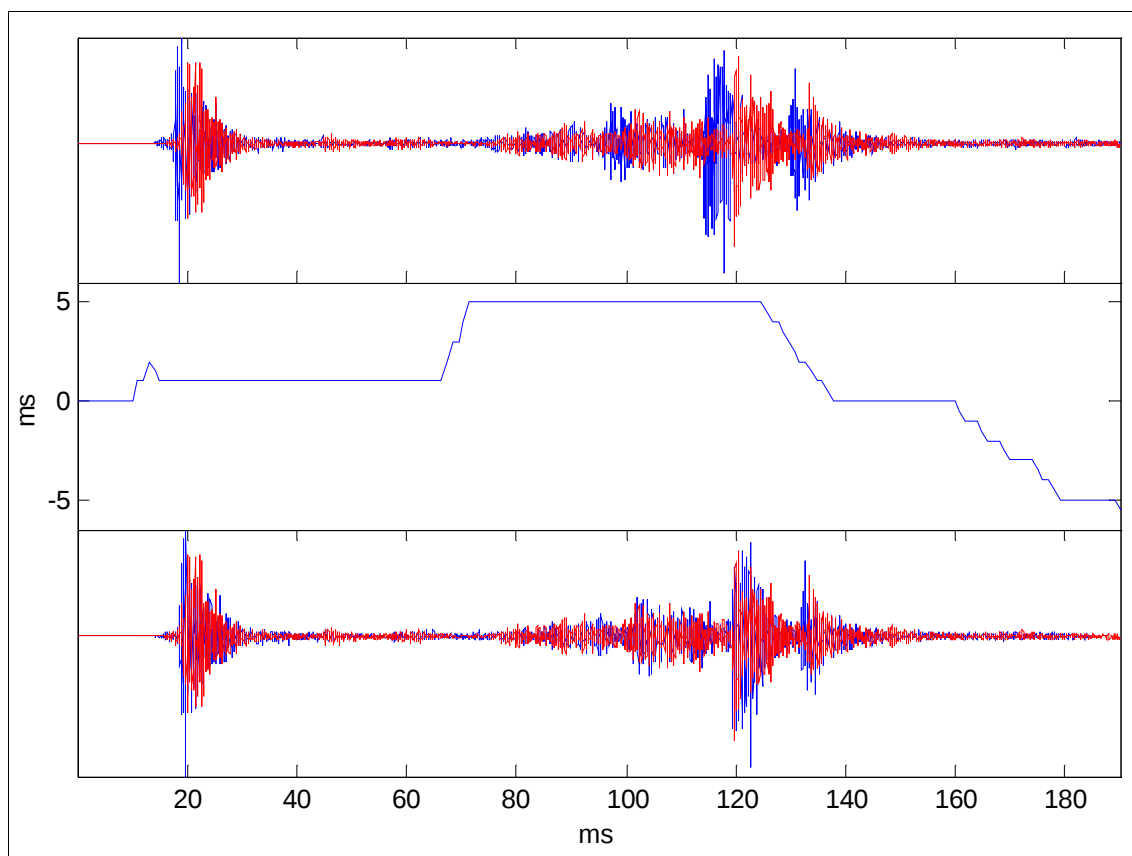
Allmänt om DTW-tekniken

Två manövrer från samma brytare, även om de sker direkt efter varandra, ger inte samma vibrationssignatur. Det skiljer alltid lite i tid och frekvens/amplitud-innehåll. Eftersom det alltid skiljer lite i tid för samma händelse i två olika manövrer, så måste händelsernas läge i tid justeras så att de stämmer överens. I figur 5.17 visas överst de två ursprungliga vibrationssignaturerna, och nederst de tidsjusterade signaturerna så att

samma händelse i de olika signaturerna överensstämmer. När denna justering görs erhålls ett tid/tid-diagram som visar hur mycket den aktuella testsignaturen avviker i tid från referensen, se mitten på figur 5.17. När händelserna överensstämmer går det att beräkna hur stor skillnaden är mellan olika händelser. Denna skillnad presenteras med en egen kurva som beskriver skillnaden i dB för varje tidpunkt mellan referensen och testsignaturen, se figur 5.16.

Tolkning av kurvor

Tid/tid-kurvan visar vid vilken tidpunkt under manövern som den testade brytaren opererar snabbare eller långsammare än referensen. Avvikelser större än brytartilverkarens rekommendationer på funktionstider indikerar att brytaren bör analyseras närmare för att avgöra vilket underhåll som är nödvändigt. Man måste dock vara observant på att tidsavvikelser som uppträder efter att brytarmanövern är klar inte ska beaktas. I figur 5.17 bör man bortse från tid/tid-kurvan efter 140 – 150 ms.



Figur 5.17 - Tidsjustering av vibrationssignatur. Brytare i Bredäng, ASEA HLR 245 2004 A3 med BLG 302 (Programma).

Kurvan som visar avvikelser (deviation) beskriver om vibrationerna från brytaren avviker på annat sätt än i tiden. Det kan vara att något nytt ljud har kommit till eller om vibrationerna är kraftigare eller svagare vid någon tidpunkt under manövern. Kurvan är graderad i dB vilket här är ett mått på avvikelserna mellan signaturerna.

Erfarenhetsmässigt har man på SINTEF i Norge kommit fram till att värden under 5 dB är normala variationer mellan olika manövrer på samma brytare och tyder på att brytaren är i samma kondition som då referenskurvan togs upp. Värden över 12 dB tyder på att något har inträffat i brytaren som gör att den behöver undersökas närmare. Värden däremellan är svåra att uttala sig om generellt, dessa måste avgöras från fall till fall, hur man ska agera.

5.4.2 Exempel på tolkning av vibrationssignaler

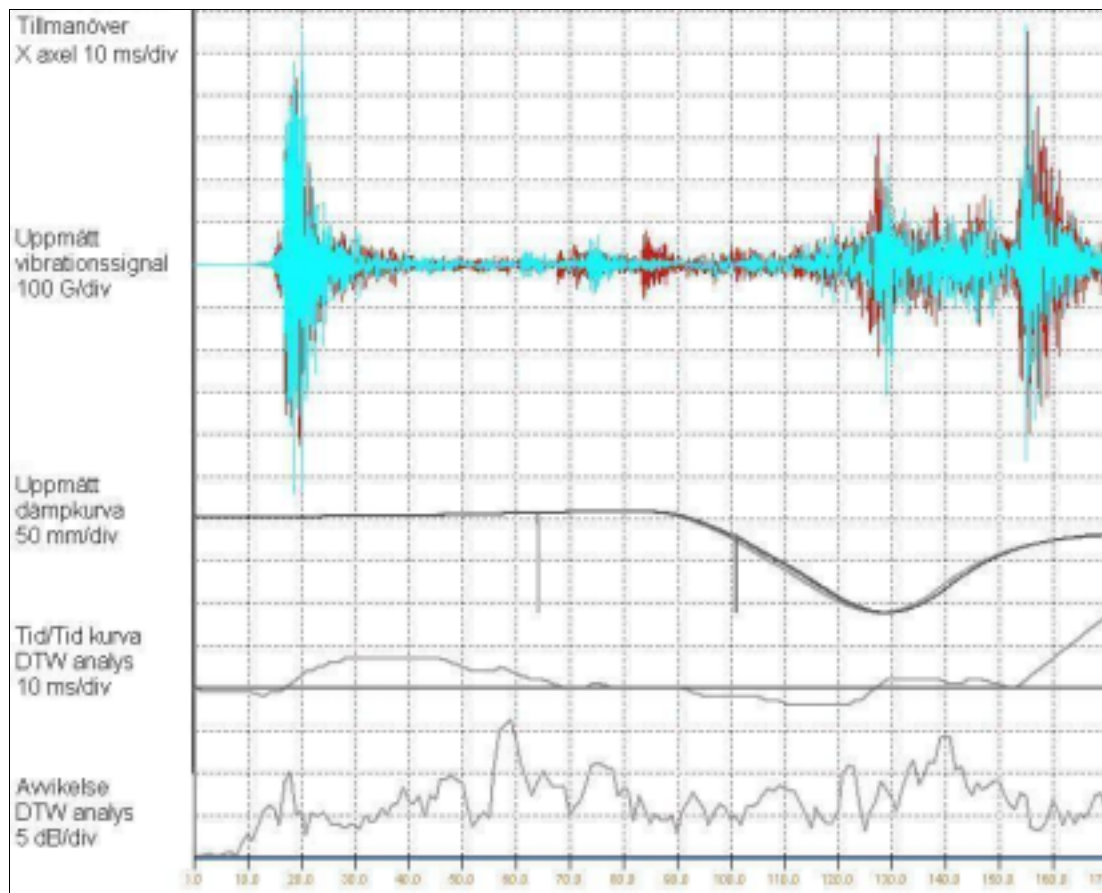
Exempel 1

Tid/tid 10 ms/skaldel

Avvikelse i dB 5 dB/skaldel

Jämförelse mellan två olika faser på samma brytare.

Genom att analysera vibrationssignalerna direkt emot varandra fås intrycket att de två signalerna är lika. Tidsavvikelsen är dock för stor för att vara acceptabel. Vid 30 ms är tidsavvikelsen ca 8 ms och vid 170 ms är den ca 15 ms. Avvikelsen i dB är ca 14 dB vid 60 och 140 ms. Om detta hade varit en analys på samma fas på samma brytare, men vid två olika tillfällen, hade dess kondition inte varit tillfredsställande.



Figur 5.18 - ASEA HLR 420/2505B2, BLG 352 (Hagby, SvK) Programma.

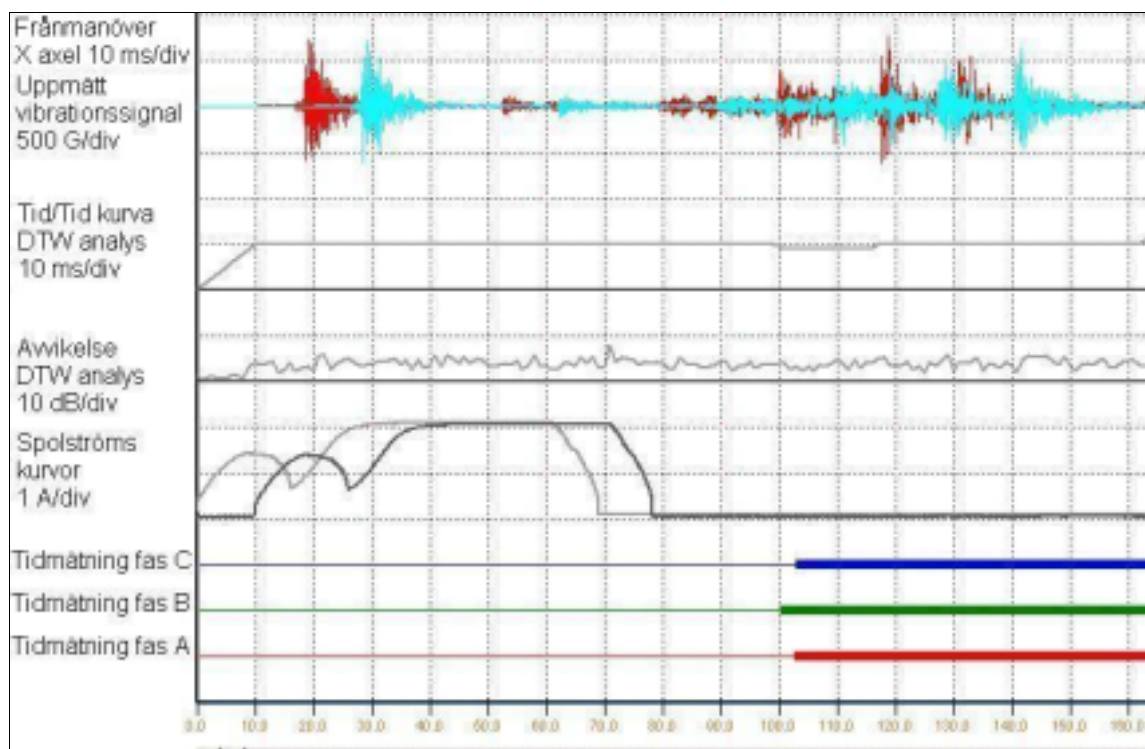
Exempel 2

Tid/tid 10 ms/skaldel

Avvikelse i dB 10 dB/skaldel

Jämförelse mellan samma fas vid samma tillfälle, men med ett simulerat tidsfel.

Genom att analysera vibrationssignalerna direkt emot varandra fås intrycket att de två signalerna är lika, men att brytaren är sen. Tidsavvikelsen 10 ms under hela förloppet är alltför stor för att vara acceptabel. Avvikelsen i dB är acceptabel upp till ca 8 dB. Om detta hade varit en analys på samma fas på samma brytare, men vid två olika mättillfällen, hade inte resultatet varit tillfredsställande. Dock är det tydligt att felet ligger innan brytarens manöver påbörjas.



Figur 5.19 - Asea HLR 420/2505B2, BLG 352 brytare (Hall. SvK) Programma.

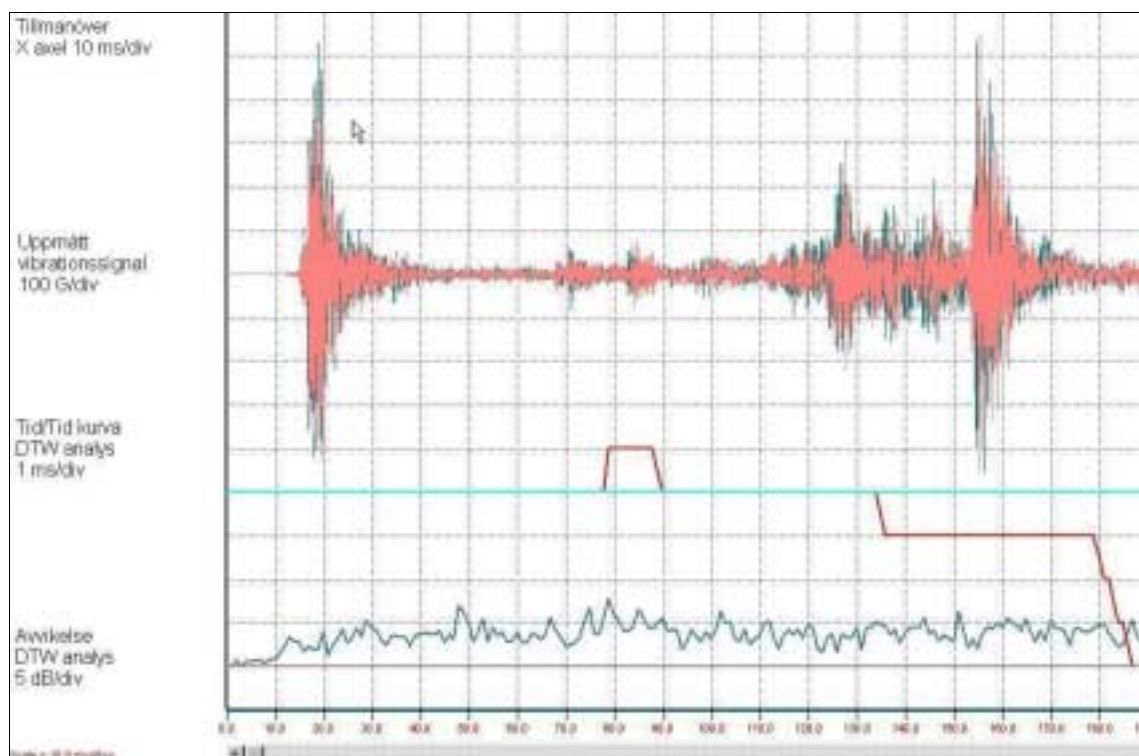
Exempel 3

Tid/tid 1 ms/skaldel

Avvikelse i dB 5 dB/skaldel

Jämförelse på samma fas vid samma tillfälle.

Genom att analysera vibrationssignalerna direkt emot varandra fås intrycket att de två signalerna är lika. Tidsavvikelsen är 1 ms vid 80 ms och 4 ms vid 190 ms och avvikelsen i dB är mellan någon dB upp till ca 8 dB. Resultatet är godkänt - Brytarens kondition är tillfredsställande.



Figur 5.20 - ASEA HLR 420/2505B2, BLG 352 (Hagby, SvK) Programma.

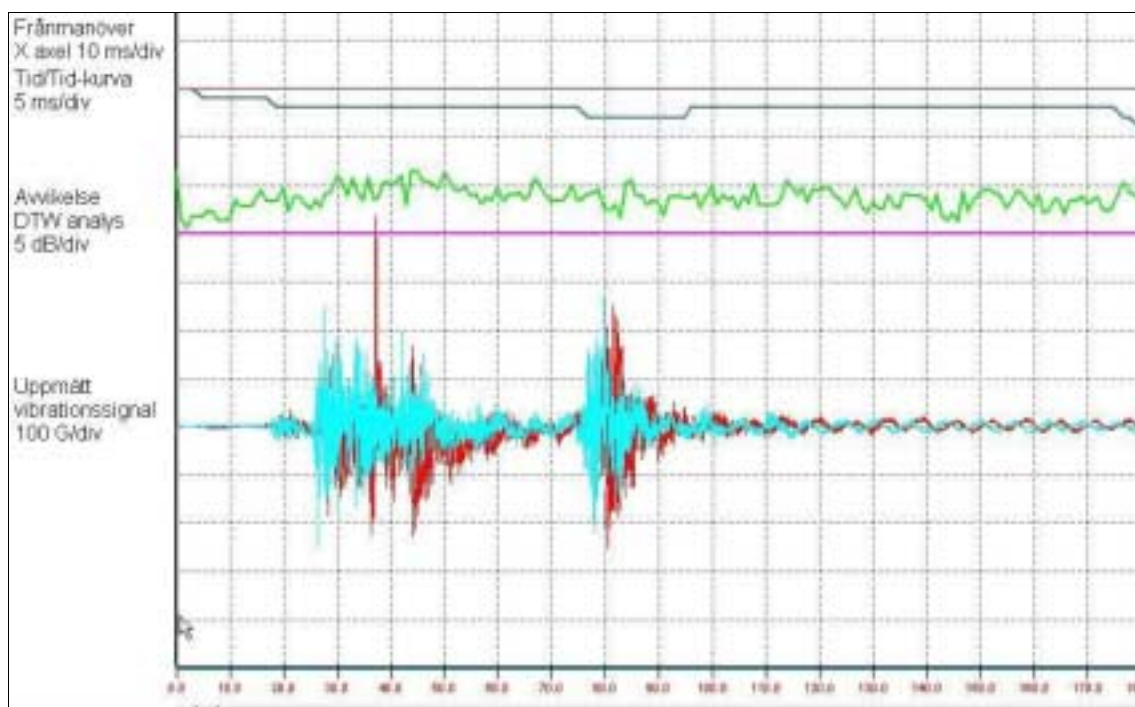
Exempel 4

Tid/tid 5 ms/skaldel

Avvikelse i dB 5 dB/skaldel

Jämförelse mellan samma fas vid samma tillfälle.

Genom att analysera vibrationssignalerna direkt emot varandra fås intrycket att de två signalerna är lika, men att de avviker en hel del. Tidsavvikelsen är under 5 ms och avvikelser i dB är under 6 dB under hela brytarens manöver. Resultatet är godkänt. Brytarens kondition är tillfredsställande.

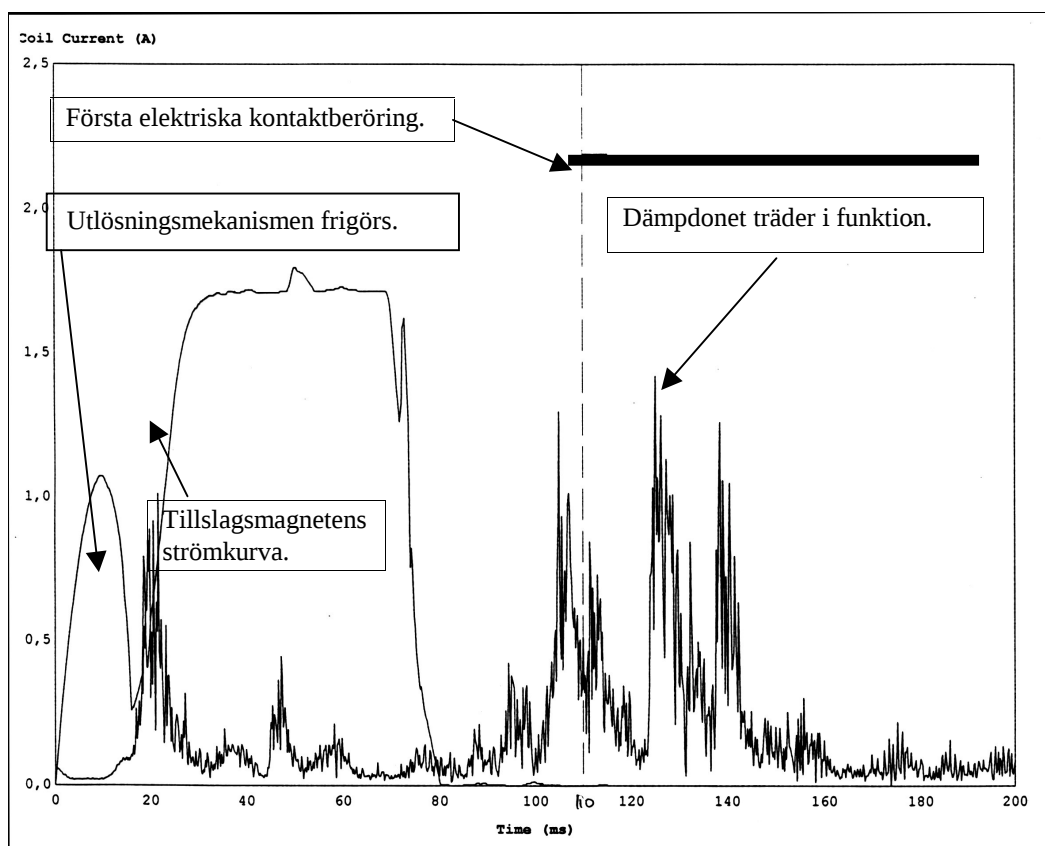


Figur 5.21 - Calor Emag 12 kV brytare nr 10641 (Hässelby, Birka Nät) Programma.

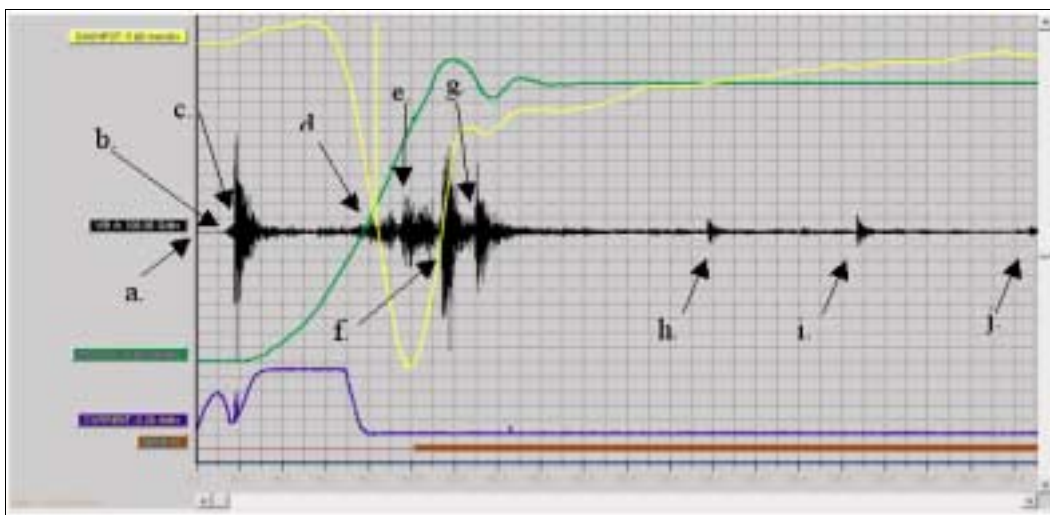
I bilaga C redovisas genomförda fältprov på olika brytarobjekt med Programmas vibrationsmetod.

5.5 Exempel på vibrationssignaler uppmätta med Kelmans metod och tolkningen av dessa

Figur 5.23 och 5.24 visar ett exempel på en vibrationssignal vid tillslag uppmätt med Kelmans utrustning (figur 5.23) och med Programmas mätutrustning (figur 5.23) på samma brytare och manöverdon. Samma händelser kan identifieras i båda figurerna. Notera att Kelman presenterar vibrationssignalen på ett annat sätt än Programma.



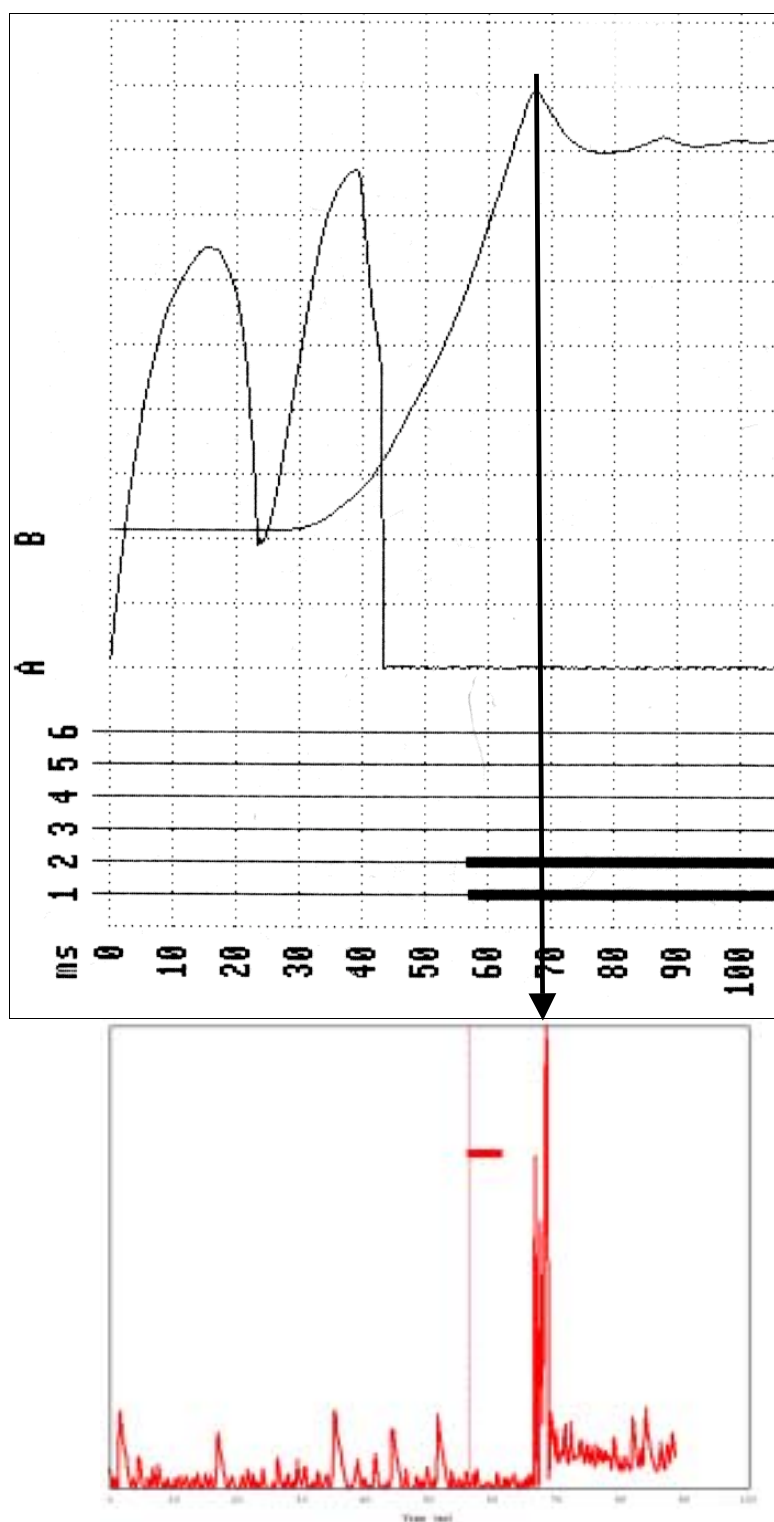
Figur 5.23 – Exempel på en vibrationssignal vid tillslag. ABB HLR 245/2004 A3, m-don BLG 302. Bredäng, Birka Nät (Kelman).



Figur 5.24 – Exempel på en vibrationssignal vid tillslag. ABB HLR 245/2004 A3, m-don BLG 302. Bredäng, Birka Nät (Programma). Lika som figur 5.15.

Figur 5.25 visar ett exempel på uppmätt vibrationssignal med Kelman Profile P1+ och med samtidig referensmätning med rörelsemätning med Programma TM1600, figur

5.26. En tydlig händelse kan ses när dämpdonet har nått sitt bottenläge. Vibrationssignalen avklingar när rörelsen dämpas ut och rörelsen avstannar.



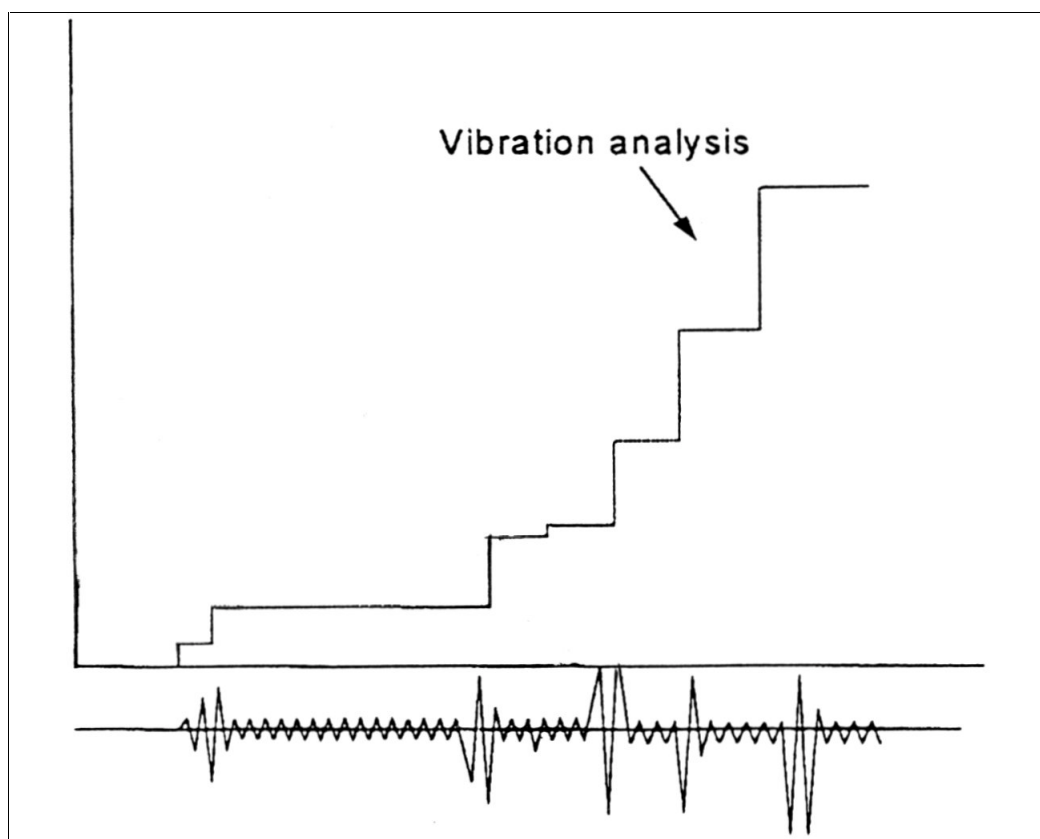
Figur 5.25 – Övre figuren: Uppmätning av rörelsekurva, spolström och tillslagstider med Programma TM1600. Figuren nedtill: Samtidig mätning av vibrationssignal och tillslagstid, med Kelman Profile P1+. ASEA HKK 12/1225KM. Tidsaxeln (X-axeln) är 100 ms i båda figurerna. (Torsvik, Birka Nät)



Figur 5.26 – Placering av linjärgivare för uppmätning av rörelsekurva med Programma TM1600. ASEA HKK 12/1225 KM (Torsvik, Birka Nät).

5.5.1 Kelmans metod för analys av vibrationssignaler

Kelmans metod för analys av vibrationssignalen baseras på att man i analysen fångar upp de mest signifikanta pulserna eller händelserna i vibrationssignalen. Analysresultatet presenteras i en steg eller trappfunktion som är en integrering (summering) av energin i de mest signifikanta pulserna. Trappstegsfunktionen, som visas direkt på displayen på Kelmans mätutrustning, är den summerade energin av de mest signifikanta händelserna i vibrationssignalen under kopplingsförloppet, se figur 5.27.



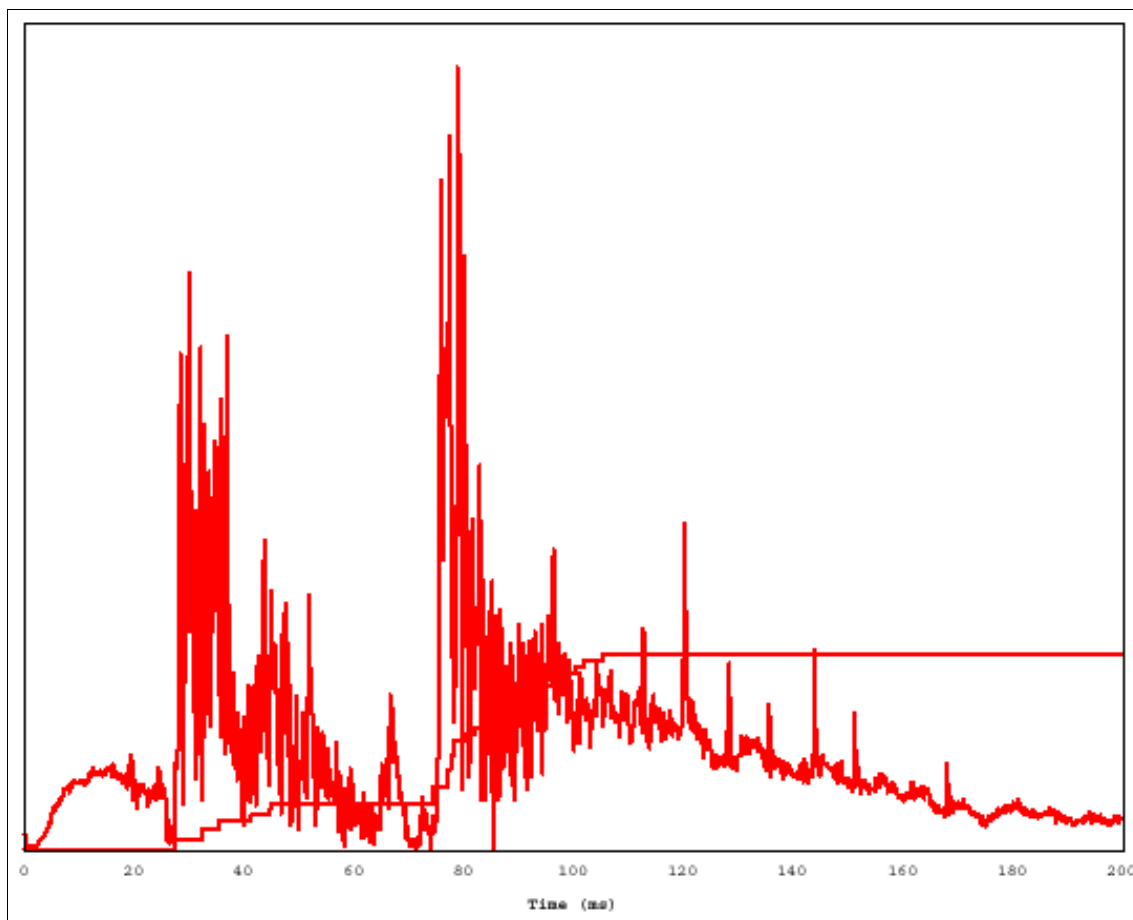
Figur 5.27 – Principskiss av Kelmans metod för analys av vibrationssignalen. Ju signifikantare händelser i vibrationssignalen desto större blir trappsteget. Trappstegsfunktionen integreras (summeras) över hela kopplingsförloppet. Källa: Kelman.

För vibrationsmätningen använder Kelmans mätutrustning en samplingsfrekvens på 5 kHz vilket Kelman anser vara fullt tillräckligt för att bedöma konditionen på en brytare. Denna bandbredd (frekvensområde) motsvarar ungefär hörselområdet hos exempelvis en erfaren bryartekniker vilken kan detektera om något är på tok i brytaren. Genom att studera den uppmätta spolströmkurvan och vibrationssignalen, och jämföra dessa med tidigare mätningar kan man med Kelmans metod sluta sig till om några kritiska förändringar har skett i brytarens prestanda eller inte. Stegfunktionen har utvecklats i avsikt att underlätta denna bedömning. Informationen i spolströmkurvan och vibrationssignalen är tillsammans med tidmätningen, enligt Kelman, tillräcklig för att påvisa ändringar i brytarens prestanda, såsom till- och frånslagstider samt manöverhastighet, vilka är de två allra viktigaste parametrarna för brytarens funktion och tillförlitlighet. Stegfunktionen underlättar väsentligt vid bedömningen av eventuella avvikelser.

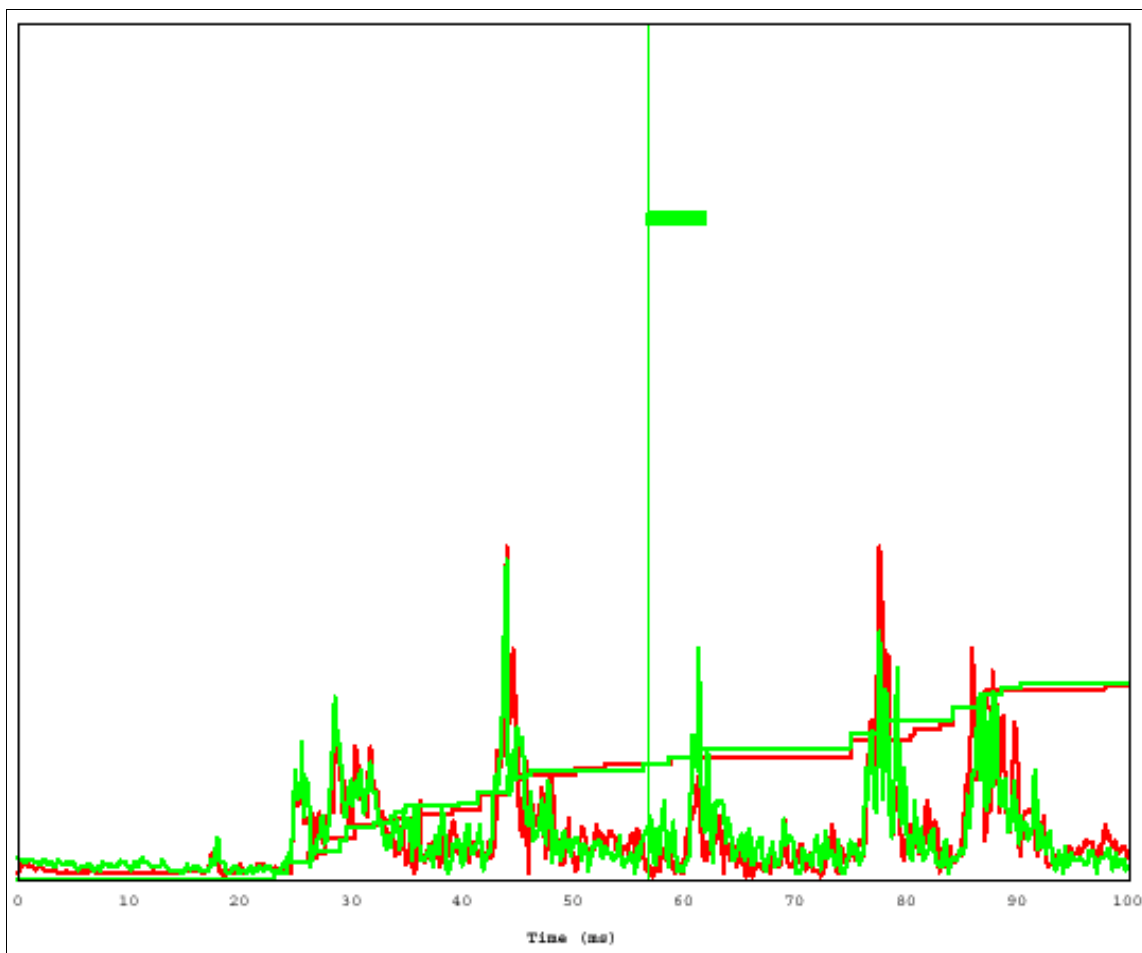
Figur 5.28a visar uppmätt vibrationssignal på brytare Calor Emag OD3M 12 med stegfunktionen inlagd. Signifikanta signaländringar ger en integrerad trappstegsfunktion och mindre signaländringar ger ingen eller en liten trappstegsfunktion.

Figur 5.28b visar uppmätt vibrationssignal på två efter varandra följande kopplingar på en ny brytare Siemens 3AP1FG 145 kV. Vibrationssignalerna och olika händelser överensstämmer med endast små avvikelser. Tidsskillnaden är endast 1-2 ms. Detta medför att också stegfunktionerna har små avvikelser mellan kopplingarna. Stegfunktionen visar att denna brytare är mycket jämn mellan individuella kopplingar.

I bilaga D redovisas genomförda fältprov på olika brytarobjekt med Kelmans mätutrustning.



Figur 5. 28a – Vibrationssignal med stegfunktionen inlagd uppmätt på Calor Emag OD3M 12 kV brytare nr 10641 (Hässelby, Birka Nät). Spolströmskurvan och tidmätningen visas ej, detta för att tydliggöra vibrationssignalen och stegfunktionens utseende.



Figur 5. 28b – Vibrationssignaler från två olika tillslagsmanövrar med stegfunktionen inlagd uppmätt på brytare SIEMENS 3Aa1FG 145 kV (Tälle, Vattenfall Östnät). Tillslagsmagnetens spolströmskurva visas ej, detta för att tydliggöra vibrationssignalen och stegfunktionens utseende.

5.6 Uppmätning av funktionstider och spolströmmar

5.6.1 Uppmätning av funktionstider

Princip

Den normala belastningsströmmen genom brytaren används för att detektera när kontakterna bryter eller sluter. Belastningsströmmen mäts med strömtång applicerad på strömtransformatorns sekundärkrets. Signalen från strömtången används sedan för att bedöma om kontakterna är slutna eller öppna.

Fördelar

- Brytarens funktionstid kan mätas utan att brytaren behöver tas ur drift under en längre period.
- Ingen mätutrustning behöver appliceras på brytarens utsatta delar vilket gör att dessa inte behöver vara åtkomliga.
- Funktionstiden för brytarens första manöver efter en längre period av inaktivitet kan mätas ("first-trip"), vilket ger information om brytarens kondition vid exempelvis en felutlösning.

Bilaga E ger en allmän beskrivning av spolströmskurvans klassiska utseende (Programma).

Bilaga F redovisar flera exempel på tolkning av uppmätta spolströmskurvor med Kelmans mätutrustning. Här redovisas också exempel på och tolkning av uppmätta matningsspänningskurvor.

Programma

Sekundärströmmen måste vid mätning med Programma vara i intervallet 150 mA – 10 A. Om strömmen är lägre än 150 mA går det inte att tillförlitligt avgöra om kontakterna är slutna eller ej. Känsligheten kan inte heller ökas p g a att ställverksmiljön ger alltför stora störningar.

Kelman

Sekundärströmmen måste vid mätning med Kelman vara i intervallet 100 mA -10 A. Om strömmen är lägre än 100 mA går det inte att tillförlitligt avgöra om kontakterna är slutna eller ej. Känsligheten kan inte heller ökas p g a att ställverksmiljön ger alltför stora störningar

Gemensamt

Brytaren bör vara kopplad parallellt med annan matningsväg som ljusbågsströmmen kan kommuteras mot, detta för att inte någon ljusbåge ska uppträda då kontakterna öppnar eller sluter på den brytare man mäter på. Ljusbågstiden kommer annars att vara med i brytarens funktionstid då strömmätningen sker. Detta bör beaktas i ställverk med enkelbrytarschema eller då parallell brytare saknas.

Sammanfattningsvis – för uppmätning av funktionstiderna krävs att brytaren i fråga har tillräcklig strömbelastning i samband med provet. För att genomföra vibrationsmätningar har det dock ingen betydelse om brytaren är strömbelastad eller inte.

Uppmätning av brytarens slut- och öppningstid samt till- och frånslagstid

Enligt IEC 62271-100, definitioner:

Tillslagstid (Closing time) – Definieras som tiden från det att manövern initieras till mekanisk kontakt.

Öppningstid (Opening time) – Definieras som tiden från det att manövern initieras till mekanisk kontaktseparation.

Sluttid (Make-time) – Definieras som tiden från det att manövern initieras till dess att ström flyter i huvudkretsen.

Bryttid (Break-time) – Definieras som tiden från att manövern initieras till ljusbågen avslutats.

Detta innebär att vid uppmätning av tider på spänningssatt brytare så provas sluttid och bryttid och vid provning på icke spänningssatt brytare provas tillslagstid och frånslagstid. Dessa tider skiljer sig mer eller mindre åt p g a att sluttid och bryttid är beroende av lasten vid provtillfället. Projektet har inte utvärderat detta, och därför bör de värden som uppmätts vid spänningssatt brytare behandlas som en indikation på brytarens kondition. Stora avvikelser i detta värde bör medföra kompletterande prov och då på icke spänningssatt brytare.

Såväl Kelmans som Programmas mätutrustning stödjer båda typerna av tidmätning.

För uppmätning av till- och frånslagstider med Kelmans mätutrustning krävs en extern strömmatningskälla vilken inte ingår som standard.

5.6.2 Uppmätning av spolströmmar

Spolströmmen magnetiserar spolen, som mekaniskt påverkar spärren så att kraften, som manövrerar brytaren, frigörs. På högspänningsbrytare finns det ofta fler än en spole per manöver, detta för att säkerställa att brytaren kan utföra sin manöver även om en av dessa inte fungerar.

När brytaren är i drift, så mäts denna ström med en AC/DC tång, en s. k. Halleffekt-tång som ansluts till brytaranalysatorn. Vid praktisk tillämpning är det lämpligt att ansluta tången på spolarnas återledare, för att inte behöva flytta den mellan till- och från manöver.

Spolströmmens tidsvariation ger information om brytarens förmåga att utföra en manöver, d v s tillståndet på spolen och spärrsystemet. Dess dynamiska signatur är en mycket viktig parameter som bör mätas och tas med som en del av analysen. Spolströmmen ger dock ingen information om brytarens förmåga att genomföra en korrekt manöver efter att kraften frigjorts. Spolströmskurvan ger dock information om konditionen på spolen i sig, tillhörande hjälpkontakter, anti-pumprelä och i viss mån

även friutlösningens mekanismens kondition. Det senare dock avhängigt av den aktuella brytarens konstruktionsutförande.

Kelmans mätutrustning startar mätningen (triggas) då ström börjar flyta genom spolen. Triggnivån är inställningsbar och lägsta funktionsvärde är 0,1 A.

Uppmätningen av spolströmmar skiljer sig inte från den traditionella mätningen som görs med Programmas TM1600 eller med Kelmans mätutrustning. Det som skiljer metoderna åt är att Kelmans mätutrustning automatisk genomför en analys av spolströmskurvan. Se kapitel 5.6.3 och exempel i bilaga F.

För en diskussion kring spolströmmens klassiska utseende se bilaga E.

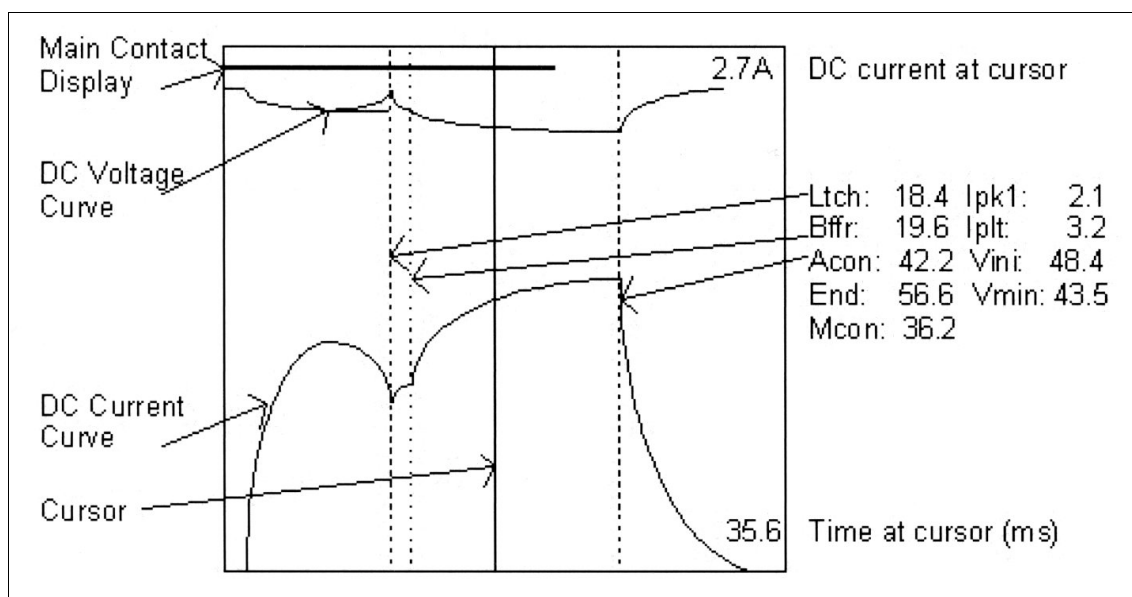
5.6.3 Exempel på spolströmskurva uppmätt med Kelmans metod och tolkningen av denna

Figur 5.29 nedan visar ett exempel från en uppmätning på en brytare vid frånslag (dock inte från någon brytare provad i detta projekt) med Kelmans mätutrustning. När en mätning på en brytare har utförts görs, automatiskt en analys av spolströmskurvans utseende. Spolströmskurvan analyseras genom att denna delas upp i tre regioner:

- tidpunkten för friutlösning av spärrpaketet (Ltch),
- tidpunkten på elektromagnetens plugg når sitt slutläge (Bffr), och
- tidpunkten då hjälpkontakten bryter strömmen till spolen (Acon).

Resultatet av denna analys visas på mätinstrumentets display. Övriga uppmätta parametrar som visas på displayen är:

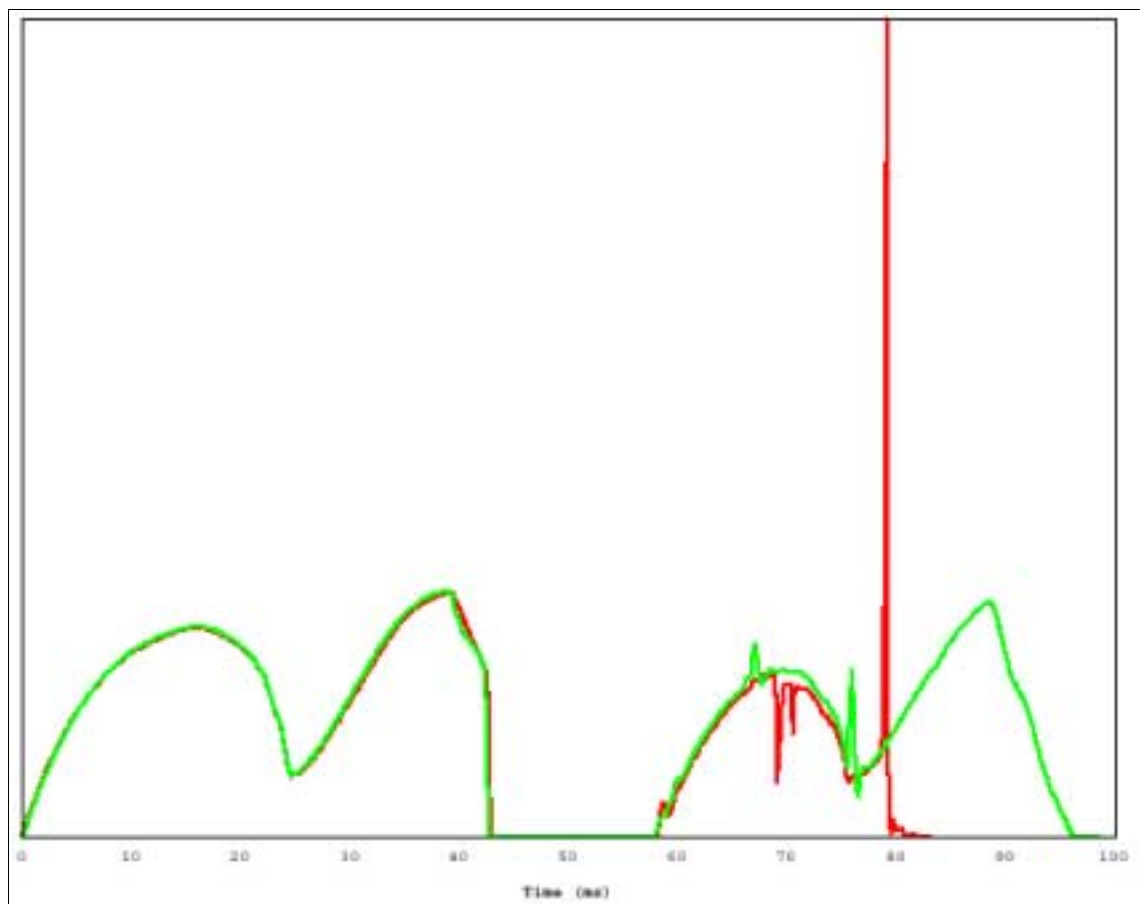
- Tidpunkten då spolens strömvärde är noll (End)
- Tidpunkten då huvudkontaktarna öppnas eller sluts (Mcon)
(D v s tidpunkten för sista elektriska kontakt respektive första elektriska kontakt.)
- Amplituden för första strömtopp på spolströmskurvan (Ipk1)
- Högsta amplitudvärde för spolströmmen under kopplingsförloppet (Iplt)
- Manöverspänningen initialvärde innan brytaren får utlösningssimpuls (Vini)
- Manöverspännings minvärde under kopplingsförloppet (Vmin)



Figur 5.29 – Exempel på en uppmätning på en brytare vid fränslag (ej från någon i detta projekt provad brytare). Överst huvudkontakten, matningsspänningen, fränslagsspolen strömkurva. Kelmans mätutrustning analyserar spolströmskurvan omedelbart och automatiskt efter kopplingen. (Kelman).

Erfarenheter har visat att ändringar i spolströmskurvan utseende mellan olika brytarprov indikerar avvikelser i brytarens funktionssätt. Genom att Kelmans mätutrustning analyserar spolströmskurvans karaktäristiska form bör detta ge ytterligare underlag till att ställa diagnos på brytarens tillstånd. Den bästa metoden är att jämföra kurvor på en och samma brytare från olika tillfällen. Även små avvikelser kan peka på begynnande fel och bör ge tillräckligt underlag för att underhåll kanske måste utföras. En annan mindre precis metod, men kanske fullt tillräcklig, är att jämföra med kurvor från andra brytare av samma typ, men eftersom inte alla brytare är exakt lika i tillverkningen passar en sådan jämförelse bättre för vissa brytartyper än för andra.

Figur 5.30 nedan visar ett realistiskt exempel på uppmätta spolströmmar vid en sålmanöver (från-till) på en ASEA HKK 12/1225 KM (Torsvik, Birka Nät), uppmätt med Kelman Profile P1+. Brytaren var urtagen ur facket för planerad funktionskontroll. Den röda kurvan, för utlösningsspole avviker kraftigt från normalt "utseende" vilket orsakades av en trasig diod (erfarenhet från denna brytarmodell). Dioden byttes ut mot ny och en förnyad mätning företogs, motsvarande den gröna kurvan, som visar ett normal utseende.



Figur 5.30 – Uppmätta strömmar på till- och frånslagsmagnet vid såi-manöver. Den röda kurva visar på avvikande spolströmskurva orsakad, i detta fall, av en trasig diod. Dioden byttes ut och en förnyad såi-manöver genomfördes, med normalt utseende, grön kurva, på frånslagsspolen ström. För en bedömning av spolströmskurvans avvikande utseende i detta exempel erfordras en omfattande genomgång av manöverdonets strömkretsar vilket bör ske i samråd med brytartillverkaren. Här konstateras endast att kurvorna avviker från varandra.

5.7 Brytare försedda med synkroniseringsrelä

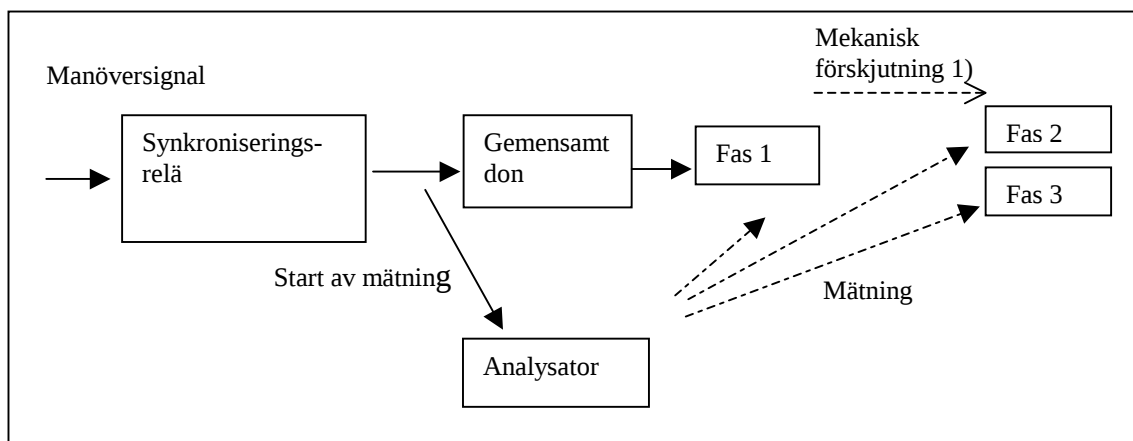
Brytare vilka är styrda tidsmässigt med avseende på till och/eller frånslag kan provas spänningssatta dock är det vissa förutsättningar som även ger viss information om synkroniseringsreläet.

5.7.1 Mätning med Programmas mätmetod

Eftersom analysatorn antingen styr brytaren eller startas av en manöver från reläet finns det inga problem att ta upp referens eller att prova brytaren i drift. Det finns några saker att titta närmare på när man tar upp en referens och senare provar brytaren.

Brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna och med mekanisk åstadkommen tidsförskjutning mellan faserna

Ingen av denna typ har provats i projektet men tas upp för att belysa testmetoden. När det är ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna finns det endast en spole som startar manövern för alla tre faser. Vid referensupptagning så manövreras brytaren med analysatorn och vibrationer mäts i donet. När brytaren provas spänningssatt styrs brytaren av en fjärr- eller lokal manöver och analysatorn startar sin mätning på samma signal. Detta ger att det inte är någon skillnad på dessa brytare och en utan styrd koppling. Eftersom vibrationerna mäts i donet så kommer den tidsskillnad som den mekaniska tidsförskjutningen ger upphov till mellan faserna att kunna utläsas som skillnader i vibrations signaturen för de tre faserna. Om funktionstiderna mäts på den spänningssatta brytaren kommer relationen mellan fasernas funktionstider att visas.



1) Mekanisk förskjutning = I manöverdon med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna mekanisk åstadkommen tidsförskjutning mellan polerna.

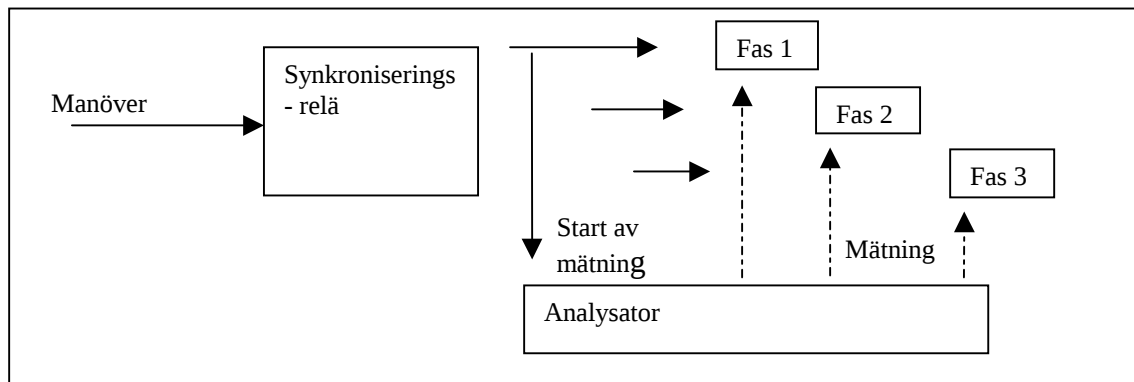
Brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna med mekanisk åstadkommen tidsförskjutning mellan faserna har inte provats i projektet.

Brytare med ett separat manöverdon för varje fas

Eftersom synkroniseringsreläet ger tre separata manöversignaler ut och analysatorn endast startar på en så finns det två alternativ.

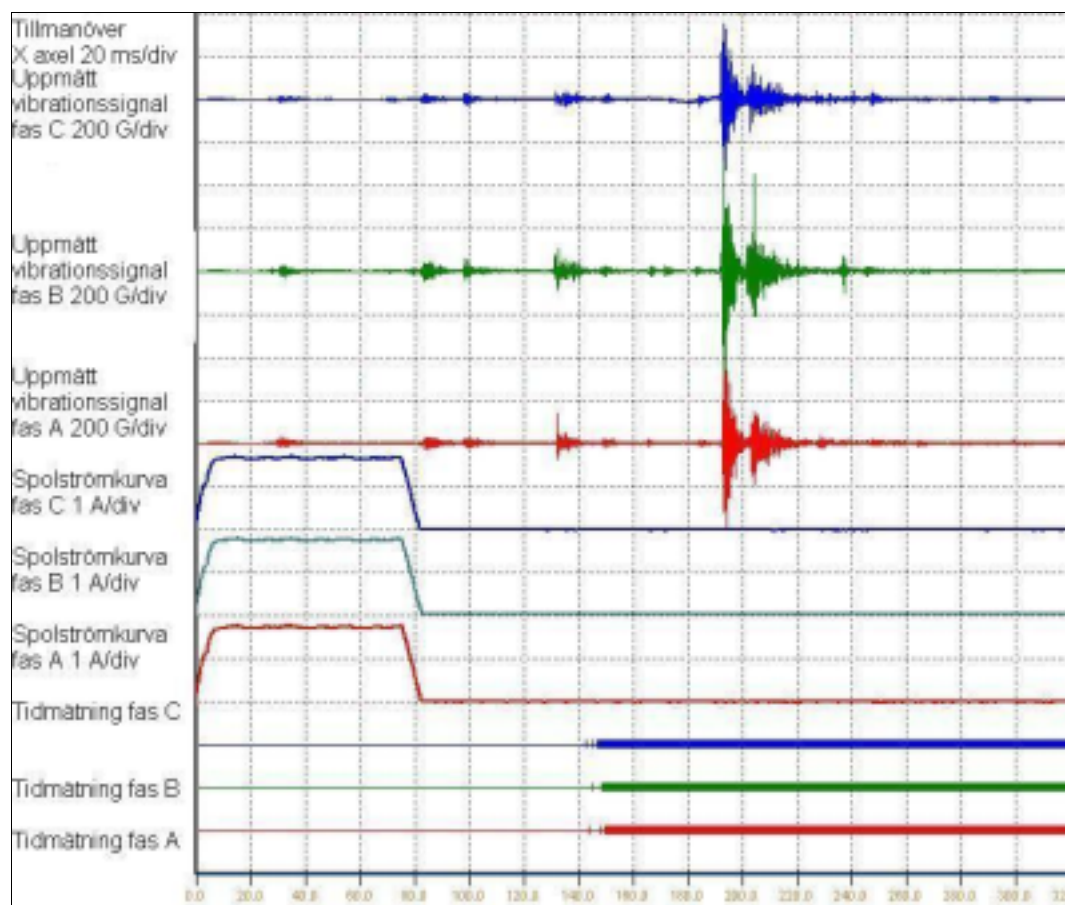
Alternativ ett är att testa den enfasigt och låta analysatorn mäta en fas i taget. Då tas tre separata referenser upp och mätningen på spänningssatt brytare sker enfasigt.

Andra alternativet är att mäta trefasigt. Då måste fasföljden för manövern vara känd och analysatorn måste starta på den manöver som kommer först. Om vibrationen mäts i alla tre donen kommer relationen mellan de tre faserna att utläsas i vibrationssignaturerna. Referensen för en trefasig manöver måste då tas på samma sätt som en mätning på den spänningssatta brytaren d v s synkroniseringsreläet ger manöversignalen.

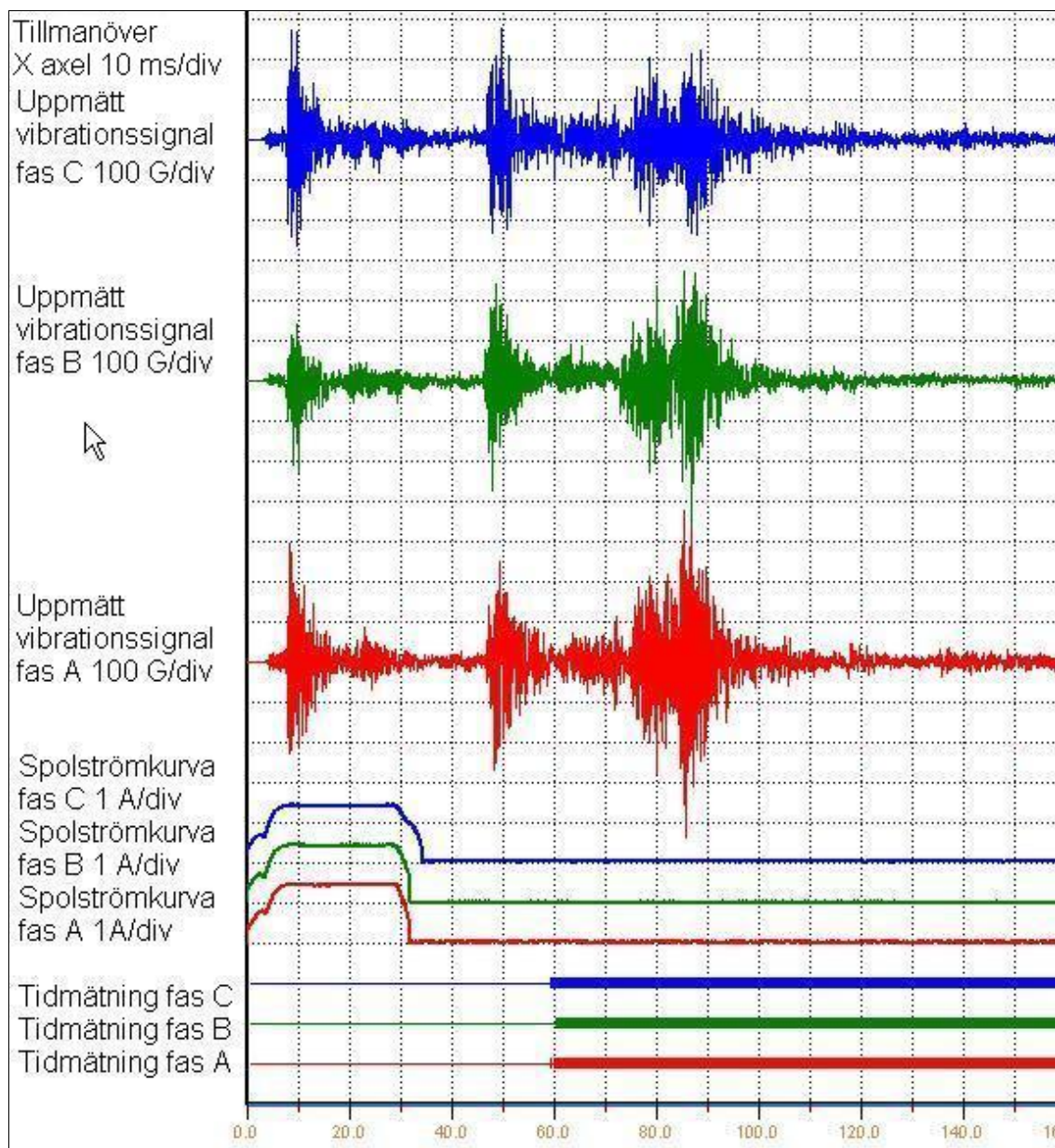


De mätningar som utförts i projektet

Figur 5.31 och 5.32 visar en mätning på en icke spänningssatt brytare med ett separat manöverdon för varje fas där faserna startades samtidigt. Då ingen provning på spänningssatt brytare utfördes så kunde inte synkroniseringsreläet kopplas.



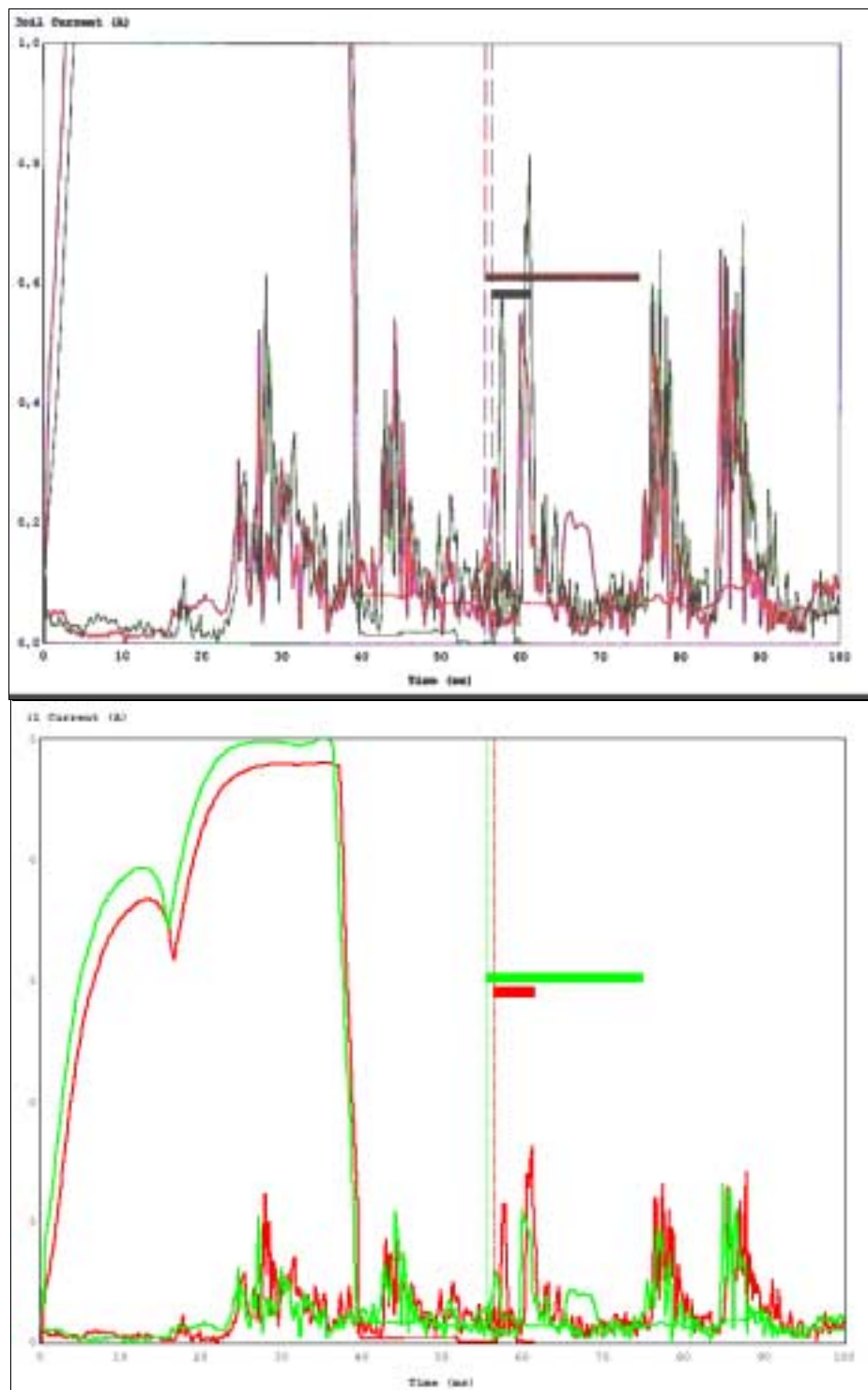
Figur 5.31 - Sprecher Energie HGF 116/2B 420 kV, FKF 2-6.(Hamra, SvK) Programma.



Figur 5.32 - ABB HPL 420/31B2, BLG 1002 (Hamra, SvK) Programma.

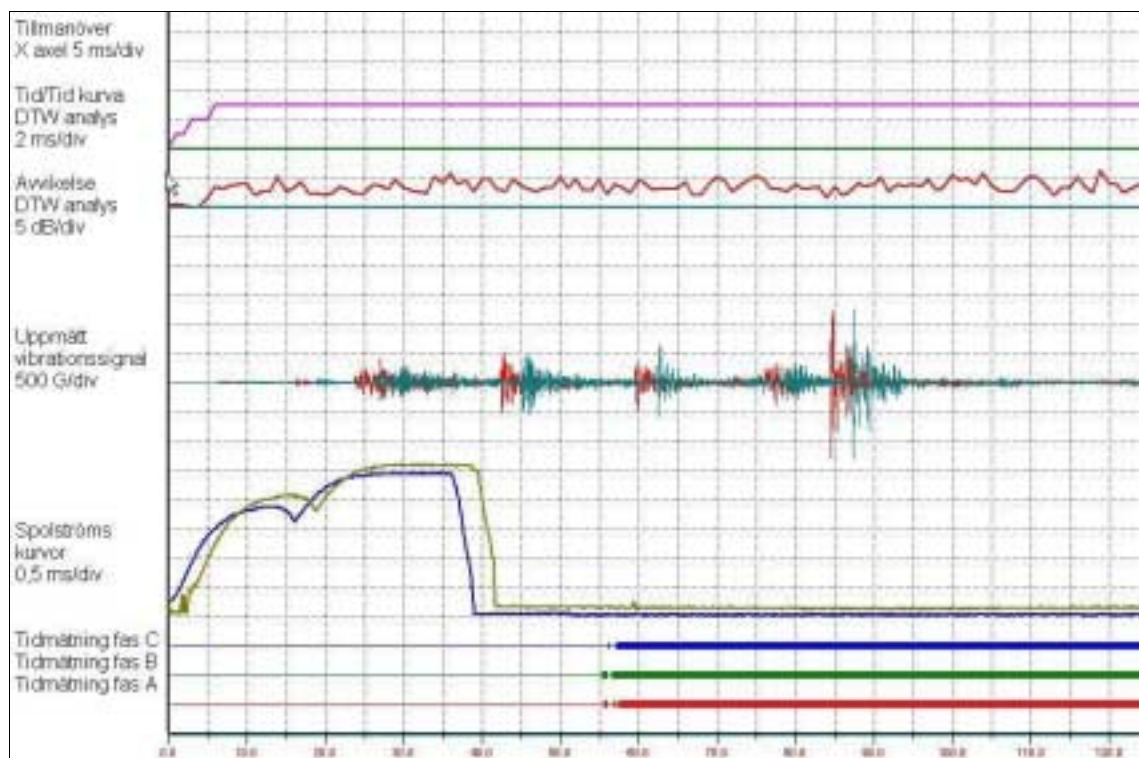
5.8 Vibrationsmätningar med spänningssatt (on-line) kontra spänningsslös brytare (off-line)

Under projektets gång restes frågan huruvida det föreligger någon skillnad i mätresultat om brytaren är spänningsslös eller spänningssatt. Mätningar har genomförts på brytare såväl i spänningsslöst som spänningssatt tillstånd. Resultaten visar att det inte föreligger någon skillnad att mäta då brytaren är spänningsslös eller spänningssatt. figur 5.33.



Figur 5.33 – *Figurerna visar uppmätt vibrationssignal, spolström och tid vid två olika tillslag på en spänningssatt respektive spänningslös brytare. Siemens 3APIFG 145 kV (Tälle, Vattenfall Östnät) Kelman. De två vibrationssignalerna är väl överensstämmande och visar på jämnhet mellan två olika kopplingstillfällena (nedre bilden). På den övre figuren har Y-axeln förstörats för att tydliggöra vibrationssignalen. I den nedre figuren syns spolströmskurvan i sin helhet. X-axels (tidsaxeln) skala är densamma i båda figurerna.*

Möjligen skulle en skillnad i mätresultat kunna förväntas om strömbelastning vid kopplingen av brytaren ligger vid dess märkbrytförmåga. De stora elektromekaniska krafterna skulle då också innebära en förhållandevis högre belastning för manöverdonet. Mätningarna i projektet har dock inte genomförts under sådana betingelser och det senare kan därför inte verifieras. Det är knappast troligt att brytarunderhåll och funktionskontroll av brytare sker då belastningen på brytaren är så hög eller det föreligger risk för oplanerade utlösningar. Vid mätning på en spänningssatt brytare är det därför rimligt anta att ljusbågar och elektromekaniska krafterna inte påverkar mätresultaten. Accelerometrar och mätutrustning tar inte upp störningar från de fält och andra fenomen som uppstår vid en ljusbåge i brytkammaren. Mätning på spänningssatt brytare var möjlig endast vid tre tillfällen. En effekt kunde dock konstateras under projektet. I de fall då mätning sker på brytaren under spänning så är starten för mätningen mycket viktig. DTW-analysen gör en tidsjämförelse av vibrationssignaturerna och om då startpunkten är olika mellan referens och mätning fås en avvikelse som inte beror på brytaren.



Figur 5.34 - Problemet att starta mätningen beror på det relä vars utgång ger pulsen till spolen på brytaren. Om denna inte ger en studsfri slutning så fås en förskjutning i tidsaxeln för mätningen Siemens 3APIFG 145 kV (Tälle, Vattenfall Östmät) Programma.

Problemet att starta mätningen beror på det relä vars utgång ger pulsen till spolen på brytaren. Om denna inte ger en studsfri slutning så fås en förskjutning i tidsaxeln för mätningen. I figur 5.34 syns detta fenomen tydligt. Mätningen utfördes på den spänningssatta brytaren och som referens ligger en mätning på en icke spänningssatt brytare.

Vad som klart syns i avvikelsegrafen är att vi har < 5 dB d v s ingen avvikelse i frekvensinnehåll men tidsavvikelsen ger utslag på 3 ms fördröjning från start. Denna förskjutning tillskrivs utgången på det relä som fjärrstyr brytaren. Om spolströmmen studeras ser vi att utgången inte är perfekt vilket ger upphov till att spolen är 3 ms sen i starten. Figur 5.34 påvisar även att inga avvikande frekvenser uppstår vid mätning på spänningssatt brytare då avvikelsen är < 5 dB. För att undvika detta mätfel bör en referensmätning göras med samma förutsättningar som en mätning på en spänningssatt brytare med avseende på start av mätningen.

6 Referenser

Gemensamma referenser

- [1] "Diagnostiska metoder för kopplande apparater, State-of-the-art", Elforsk rapport 99:17, September 1999.
- [2] Avd. C, Elsäkerhetsverkets författningssamling ELSÄK-FS 1999:5.
- [3] ESA 99, Sveriges Elleverantörer.
- [4] Jensen A. L.- J. et al, "A summary of the final results and conclusion of the 2nd international enquiry on the reliability of high voltage circuit breakers", Cigré session 1994, paper no 13-102.

Programma-referenser

- [5] Bruel & Kjaer, "Primer on Vibration".
- [6] Dytran, Tech Education, VIII Accelerometer Mounting Considerations.
- [7] Clarence, W. de Silva, Vibration: Fundamentals and practice, sid 452-453.
- [8] Runde, M. et al, "Vibration analysis for diagnostic testing of circuit-breaker", IEEE Transactions On Power Delivery, vol. 11. 1996, sid 1816-1823.
- [9] Runde, M. et al, "Acoustic diagnosis of high voltage circuit-breakers", IEEE Transactions On Power Delivery, vol. 7, 1992, sid 1306-1315.

Kelman-referenser

- [10] McIlroy et al, "Circuit breaker condition based monitoring developments", IEE Trends in Distribution Switchgears, conference publication No 400, IEE 1994.
- [11] Watson R. et al, "Condition Monitoring Techniques can enhance the Performance of Electricity Networks", Kelman Ltd.
- [12] Watson R. et al, "The impact of a new diagnostic technique for circuit breakers and protection on the management of distribution systems".
- [13] Speed W. R., "Circuit breaker operator signature analysis", TXU Electric USA.

Bilagor

A Sammanställning över provade brytarobjekt

Sammanställning över brytarobjekt där vibrationsmätningar har genomförts. Sorterad efter systemspänning.

Genomförda mätningar med Programmas vibrationsmetod, se bilaga C.

Genomförda mätningar med Kelman Profile P1+, se bilaga D.

Objekt	kV	Koppl.-fall 1)	Bryt-media	Tillverkn.år eller idrifttag.år	Senaste funktions- kontroll före prov 2)	Företag Anlägg.	Kelman Profile P1+ vibrationsmätning		Programma Electric vibrationsmätning		Jämförande rörelsemätning (Programma)	Prov- datum
							On-line	Off-line	On-line	Off-line		
2st ABB HLR 420/2504E2/1 m-don BLG 352	400	L	Olja	1981-08-03		SvK Hall			X	X		2000-11-20
1 st ABB HLR 420/2505B2 m-don BLG 352	400	L	”	1976-11-09		SvK Hall			X	X		
1 st ASEA HLR 420/2504E2 m-don BLG 352	400	L	”	1983		SvK Hagby		X		X	Dämpkurva på en av faserna.	2001-05-21
1 st ABB HPL 420/31B2 m-dom BLG 1002 (med till och från synkdon)	400	X	SF ₆	1991		SvK Hamra		X		X		2001-11-15
1 st Sprecher Energie HGF 116/2B m-don FKF 2-6 (med till och från synkdon)	400	X	”	1987		”		X		X		2001-11-15

ELFORSK

1 st ASEA HLR 245/2004 A3 m-don BLG 302	220	L	Olja			Birka Nät Bredäng		X		X	Dämpkurva och rörelsekurva på en av faserna.	2001-05-30
1 st SIEMENS 3AP1 FG 145 Nyinstallation/idrifttagning	130		SF ₆	2001	-	V-fall Östnät Tälle	X	X	X	X	Dämpkurva Rörelsekurva	2001-07-18
1 st ASEA HKEYC 60/1600, M-don BHFYE 674 serienr 2120158	50	T	Olja			Sydkraft Tågarp	X	X	X	X	Rörelsekurva	2001-06-12
1 st Oerlikon TOFQ 6012	50	T	”			Sydkraft Tågarp		X		X		2001-06-13
1 st S&S HPtw 307/g spez Serienr: 80/754751	33		”			Birka Nät Bromma				X		2001-01-16
1 st lika som ovan Spänningssatt	”		”			”			X			2001-01-16
1 st S&S HPtw 307/g spez Serienr: 80/754751	”		”			”		X				2001-03-28
1 st AEG 5012/36-1 3)	33	EK	Vak.			Birka Nät Skanstull		X		X		2001-11-15
1 st Calor Emag VD4M 1280 P25KU 3)	10	K	”			”		X		X		2001-11-15

1 st Asea HKK 12/1225 KM Serienr: 2187917	10		Olja			Birka Nät Torsvik	X	X			Rörelsekurva	2001-03-20
1 st Calor Emag OD3M 12 kV Spänningssatt Serienr: 5240108/064/73	10		”			Birka Nät Hässelby V	X		X			2001-10-04
1 st lika som ovan Reservbrytare	”		”			”		X		X		”
1 st lika som ovan Reservbrytare	”		”			”		X		X		”
Totalt 19 st												

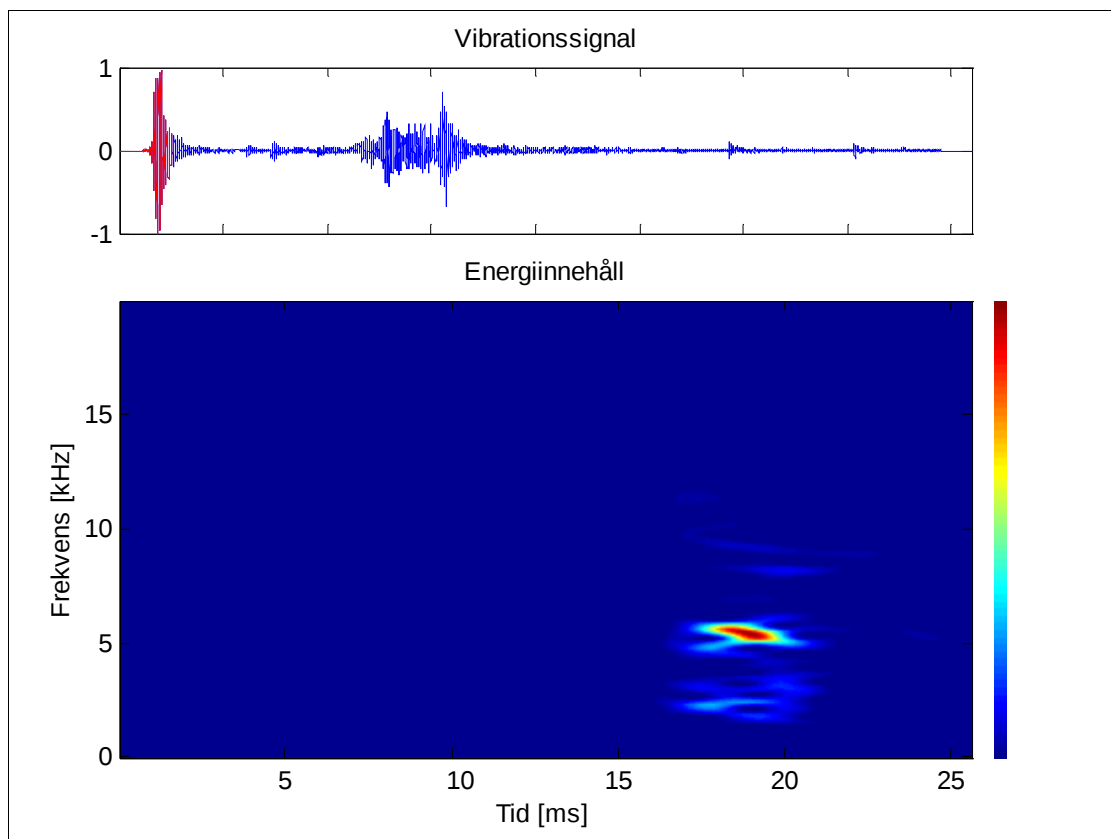
- 1) L = ledningsbrytare, T = transformatorbrytare, K = kabelbrytare, EK = shuntkondensatorbrytare, X = shuntreaktorbrytare, S=sektioneringsbrytare
- 2) Senaste genomförda funktionskontroll före prov.
- 3) Test med olika givarplaceringar.

B Funktionssätt för allmänt använda accelerometrar av piezoelektrisk typ

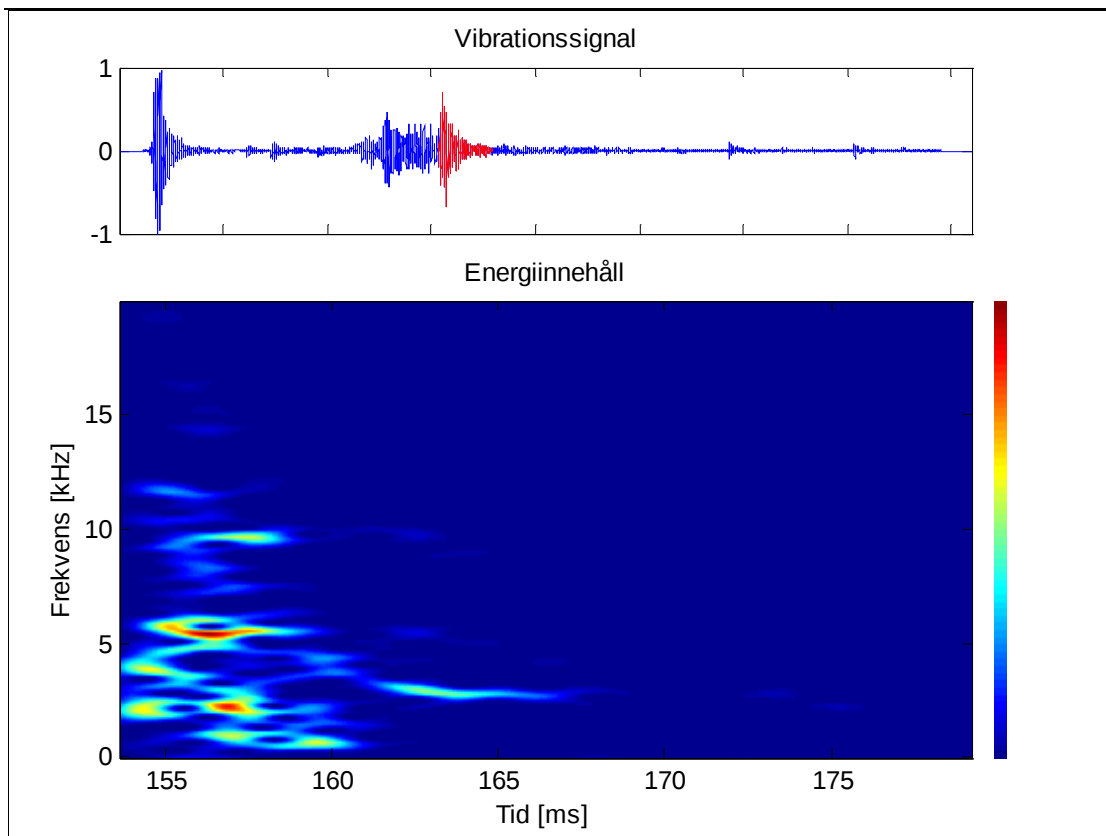
Accelerometern utnyttjar det faktum att accelerationen är kvoten mellan en kraft och den massa som kraften appliceras på. Denna lag kallas Newtons andra lag, $F=m \cdot a$. I accelerometern sitter ett piezoelektriskt material som avger elektrisk laddning då den pressas samman av en kraft. Laddningen som avges är proportionell mot kraften den utsätts för. För att materialet ska utsättas för en kraft, så sitter en liten massa på ena sidan och på den andra sidan sitter sensorns hölje som då skruvas fast där mätningen ska göras. Detta betyder att sensorns hölje och det piezoelektriska materialet fungerar som en liten fjäder och i änden på fjädern sitter den lilla massan. Enligt klassisk mekanik har man här ett svängande system med en given resonansfrekvens baserad på fjäderkonstanten och massan (jämför påtvingad, dämpad svängning). Denna resonansfrekvens är relativt hög, 130 kHz, för de miniatyraccelerometrar som ofta används. När accelerometern monteras på en magnet, så kommer magneten att fungera som ytterligare en fjäder i serie med den första. Magnetens fjäderkonstant är dock avsevärt lägre och kommer dominera över den första, vilket leder till att resonansfrekvensen kommer att reduceras kraftigt. Enligt Brüel & Kjær reduceras resonansfrekvensen till omkring 7 kHz. Mätningar kan göras upp till 1/3-del av resonansfrekvensen och då är felet i de högsta frekvenskomponenterna inte över 12 %. Om vibrationer upp till 15 kHz ska mätas innebär det att resonansfrekvensen för systemet ska vara minst tre gånger så stor dvs 45 kHz.

Varför måste så höga frekvenser mätas?

Om frekvensinnehållet från olika till- och frånslag av brytare studeras, så går det att konstatera att för många av de viktiga händelserna ligger den största energin i frekvensintervallet 5-7 kHz, se Figur B.1 och Figur B.2. Enligt litteraturen är de dominerande frekvenskomponenterna i signalen oftast under 20 kHz, men vissa händelser ger även frekvenser upp till 40 kHz [8].



Figur B.1 - Frekvensinnehåll i del av vibrationssignatur vid inledning av slutande manöver. Den del som analyseras är markerat i rött i vibrationssignaturen ovan.



Figur B.2 - Frekvensinnehåll i del av vibrationssignal vid slutet av slutande manöver.

Vilken information kan utläsas ur vibrationskurvan?

De vibrationer som registreras kommer från mekaniska delar i rörelse. Det kan vara spärrar som släpper, kontaktytor som möts eller mekaniska rörelser som dämpas upp i dämpdonet. Alla dessa händelser genererar sitt eget vibrationsmönster. Följden av alla vibrationsmönster från händelserna i brytaren kallas för en vibrationssignatur. Vibrationsmönstret karakteriseras av vilka frekvenser som ingår, vilken amplitud som signalen har och hur den är utbredd i tiden. Som exempel kan man ta figur B.1 som visar frekvensinnehållet i vibrationen när huvudkontakten börjar röra sig. Denna händelse påbörjas efter ca 16 ms och huvuddelen av energin ryms inom 4 – 5 ms. Frekvensmässigt så ligger den största delen av energin i frekvensintervallet 5 – 7 kHz. Jämför man denna händelse med Figur B.2, som är vibrationerna från slutet av manövern, så kan man se att frekvensinnehållet och tidsutbredningen är annorlunda. Det är skillnaden i dessa egenskaper som gör det möjligt att analysera vibrationerna på ett meningsfullt sätt. Se kapitel 5.4 för en närmare analys av vibrationer från ett ABB BLG-don.

Det är dock ett faktum som är mycket viktigt – det räcker inte med vibrationssignaturen från en enstaka mätning. Det går inte att analysera vibrationssignaturen i figur B.1. och B.2 uttala sig huruvida brytaren måste underhållas eller ej. Det går inte heller att utläsa exakt när huvudkontaktarna möts. All analys av vibrationer från brytare bygger på att den aktuella mätningen jämförs med en referenssignatur. Referenssignaturen bör vara registrerad vid ett tillfälle när man vet, eller i alla fall är nästan säker på, att brytaren är felfri och funktionstider uppfyller tillverkarens krav på felfri brytare. Det lämpligaste

tillfället är naturligtvis då brytaren är ny. Annars bör referenssignaturen tas upp då brytaren är underhållen eller renoverad.

Vibrationssignalerna kan visuellt jämföras, men för att underlätta analysarbetet har Programma respektive Kelman utvecklat egna metoder och algoritmer för detta.

För att kunna jämföra de två signaturerna måste förutsättningarna vid de två tillfällena vara så lika som det är möjligt. Accelerometern måste vara placerad på samma plats och helst fastdragen med samma vridmoment. Det här betyder att det gängade hål som accelerometern monteras i måste vara tydligt märkt så att den kan placeras på samma plats vid nästa tillfälle. Olika exemplar av accelerometer ger något olika utsignal vid en given acceleration. För att korrigera för detta finns ett kalibreringsvärde med varje givare och detta måste användas. Normalt används också en förförstärkare för att anpassa signalen från givaren till brytaranalysatorn. På förförstärkaren går det ofta att ställa in förstärkningen och även denna förstärkning bör sparas så att man vid senare tillfällen vet vilken inställning som användes vid registreringen av referenssignaturen.

C Sammanställning av provade brytarobjekt och referensmätningar genomförda med Programmas vibrationsmetod

Författare: Per Wennersten, Programma Electric, 2002-02-09

(Redigering: Rolf Nordin, Vattenfall Utveckling AB)

C.1 Förord

Denna rapport ger en överblick på de mätobjekt som omfattas i projektet. Endast referensmätningar är beskrivna med grafer. I de fall som mätning på spänningssatt brytare har genomförts finns det anmärkningar om detta. Inga slutsatser och bedömningar är gjorda i denna sammanställning.

Förklaringar över uttryck i denna rapport:

CTI103 är ett tre-kanaligt interface för att göra tidmätning på brytare med en TM1600, brytaranalysator. Strömtänger ansluts till sekundärlindningen av strömtransformatorerna på objektet. CTI103 omvandlar den analoga strömmen från sekundärlindningen till digitala värden som kan mätas med TM1600. Dashpot, ordet är ett ABB-uttryck för dämpning, används i denna rapport i bilder från CABA Win.

C.2 Hall (SvK)

Allmänt

Underhållsbolag: Vattenfall Elnätservice AB

Station: Hall

Tid för mätning: 20-21 november 2000

Anmärkningar: Dåligt väder. Ingen rörelsemätning genomförd. Provnings på spännings-satt brytare utfördes, dock blev tidmätning ej lyckad.

Objekt

Objekt: 3 objekt

1.
 - Asea HLR 420/2504E2/1 Serienr: 2283024/031 Litt: FL8 S2-B-S
o BLG 352
2.
 - Asea HLR 420/2304E2/1 Serienr: 2283023/026 Litt: CL11-B-S
o BLG 352
3.
 - Asea HLR 420/2505B2 Serienr: 2217342/347 Litt: FL8 S1-B-S
o BLG 352

Samtliga objekt mättes trefasigt med avseende på vibration, spolström (strömtänger) och tid. Tid mättes både traditionellt vid referens och med CTI vid spänningssatt brytare.

Accelerometerplacering

Borrade och gängade i godset.



Spolström

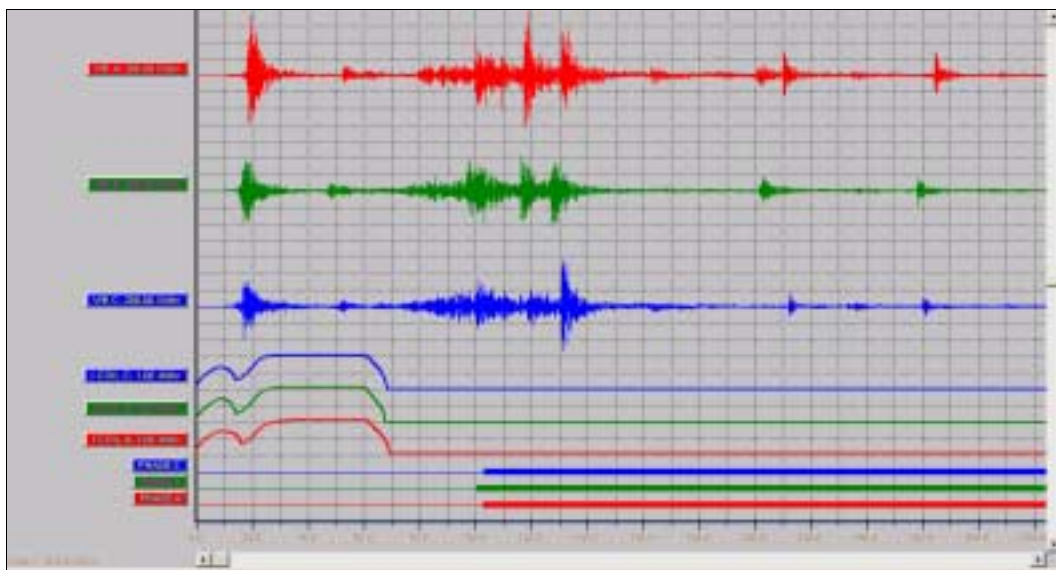
Spolströmmen mättes med Halleffekt strömtänger i manöverkretsen. Tångarna kopplades direkt till TM1600.

Tidmätning

Tidmätning utfördes traditionellt med kablage till TM1600. Vid spänningssatt brytare användes CTI.

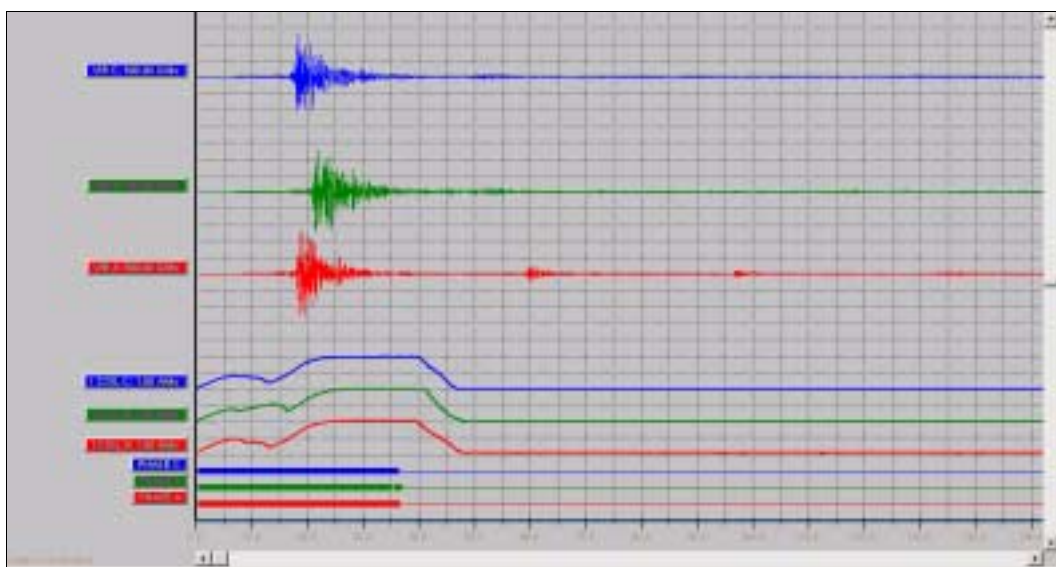
Resultat

Tillmanöver



(Hall FL8 S1-B S-162, 2000-11-21 14.20, Close Vib 3)

Frånmanöver



(Hall FL8 S1-B S-162, 2000-11-21 14.20, Open Vib 3)

C.3 Brommaplan (Birka Nät)

Allmänt

Underhållsbolag: Birka Service AB

Station: Brommaplan

Tid för mätning: 16-17 januari 2001

Anmärkningar: Ingen rörelsemätning. Provning på spänningssatt brytare utfördes, dock blev tidmätning ej lyckad p g a för låg last på linjen.

Objekt

1. Sprecher & Schuh HPtw 307g/spez 36 kV Serienr: 80/754751

Två objekt av ovan typ med avseende på vibration, spolström (strömtänger) och tid. Tid mättes både traditionellt vid referens och med CTI vid spänningssatt brytare.

Accelerometerplacering

Borrade och gängade i vänster stolpe med god mekanisk kontakt.



Spolström

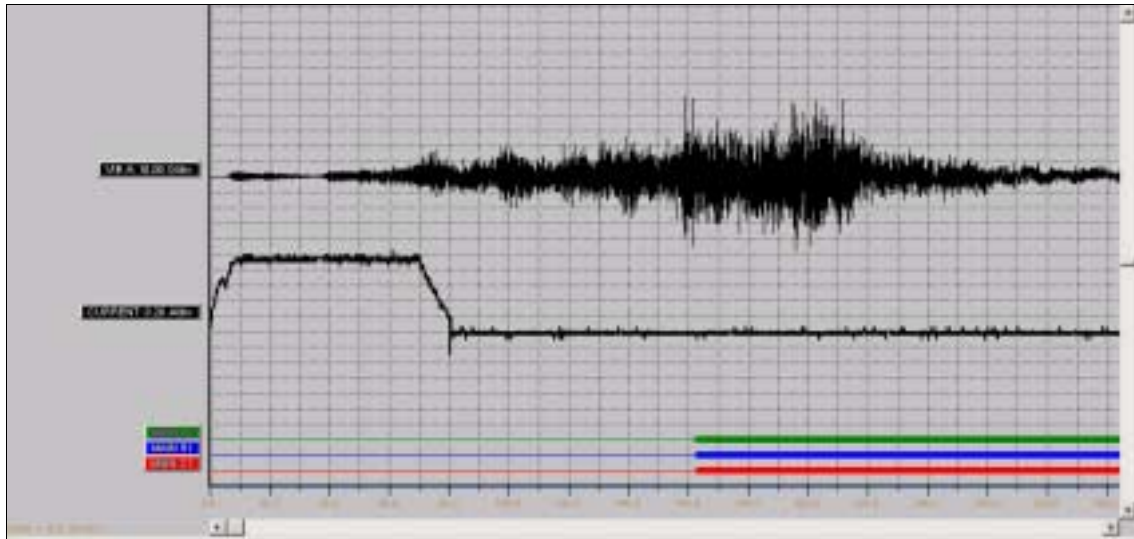
Spolströmmen mättes med strömshunt, Programma CS1601.

Tidmätning

Tidmätning utfördes traditionellt med kablage till TM1600. Vid spänningssatt brytare så användes CTI.

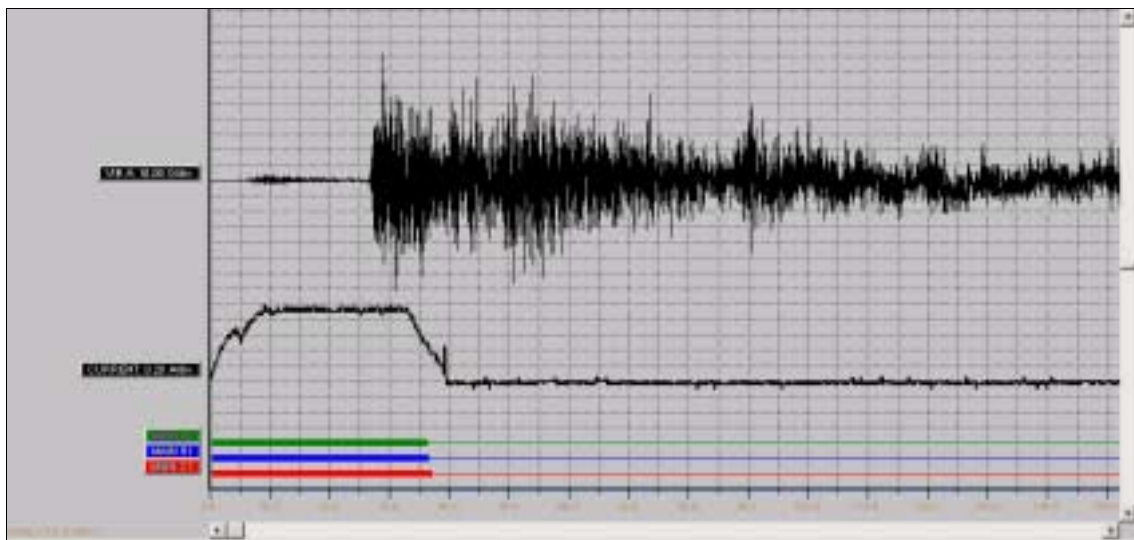
Resultat

Tillmanöver



(TP Bromma fristående reservbrytare nr 3860, 2001-01-16 11.58, Close Vib 1)

Frånmanöver



(TP Bromma fristående reservbrytare nr 3860, 2001-01-16 11.58, Open Vib 1)

C.4 Hagby (SvK)

Allmänt

Underhållsbolag: Vattenfall Elnätservice AB

Station: Hagby

Tid för mätning: 21 maj 2001

Anmärkningar: Ingen mätning på spänningssatt brytare, dämpkurva på en fas.

Objekt

1.

- Asea HL 420/2504E2 Serienr: 7305980 A (R-fas)
7305980 B (S-fas)
7305980 C (T-fas)

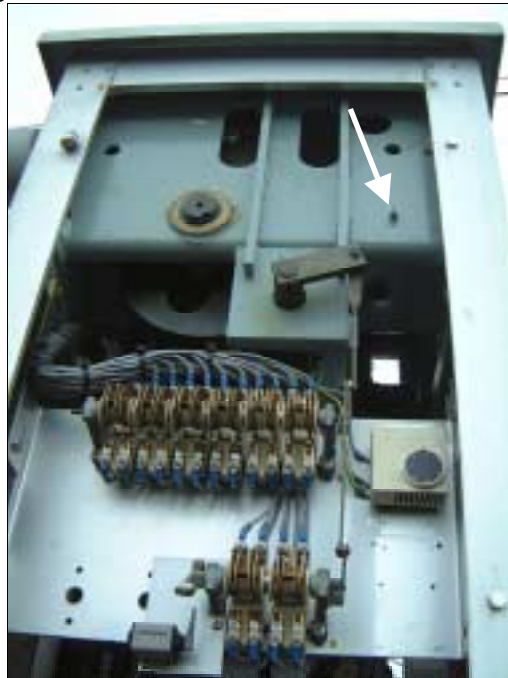
o BLG 352 Serienr: 7305981 (R-fas)
7305982 (S-fas)
7305983 (T-fas)

Litt: CL S6-S

Objektet mättes enfasigt med avseende på vibration, spolström (strömtänger) och tid. Tid mättes traditionellt.

Accelerometerplacering

Borrade och gängade i godset.



Spolström

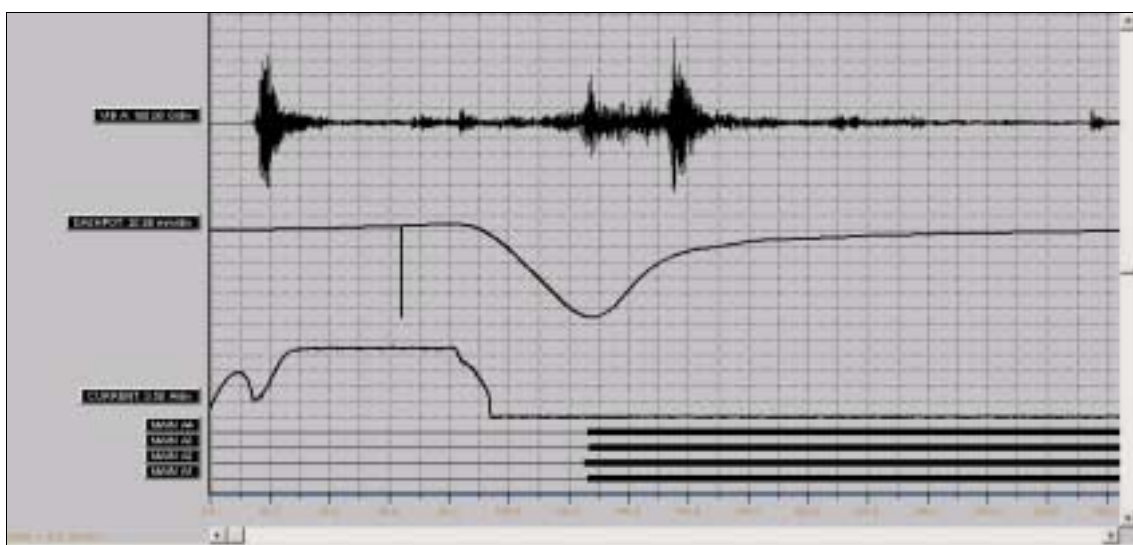
Spolströmmen mättes med Halleffekt strömtänger i manöverkretsen. Tångerna kopplades direkt till TM1600.

Tidmätning

Tidmätning utfördes traditionellt med kablage till TM1600. Brytaren var ej tillgänglig för tidmätning på spänningssatt brytare.

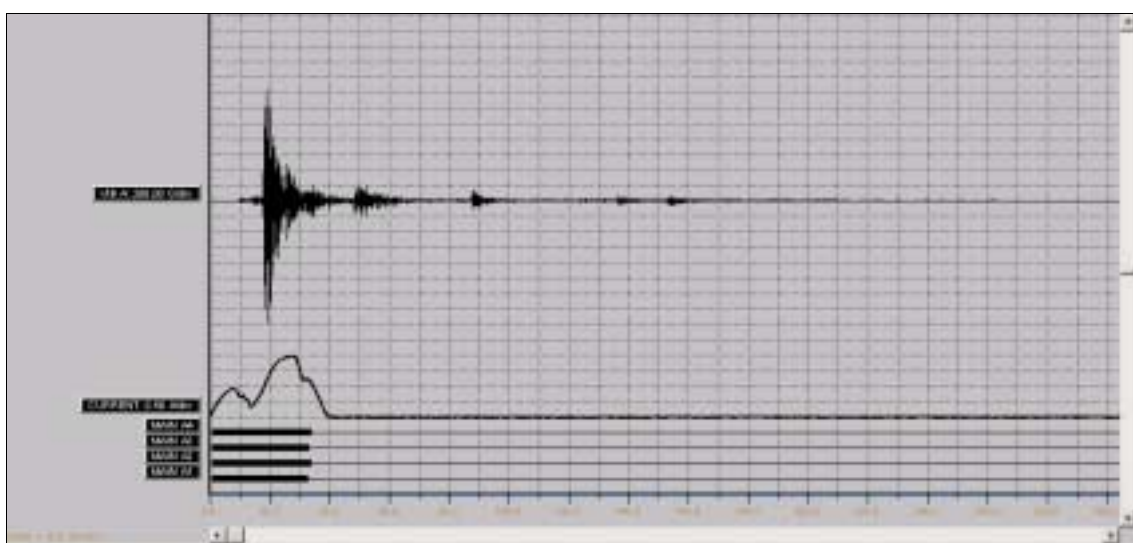
Resultat

Tillmanöver



(Hagby 1 fas vib, cur, blg, 2000-05-21 14.08, Close Vib Curr Dash 2)

Frånmanöver



(Hagby 1 fas vib, cur, blg, 2000-05-21 14.08, Open Vib Curr Dash 2)

C.5 Bredäng (Birka Nät)

Allmänt

Underhållsbolag: Birka Service AB

Station: Bredäng

Tid för mätning: 30 maj 2001

Anmärkningar: Ingen mätning på spänningssatt brytare. Vibration, rörelse och dämpkurva, tid och spolström som referens.

Objekt

1.

- Asea HLR 245/2004 A3 Serienr: 2190676 Litt: T204-220-S
o BLG 302

Objektet mättes enfasigt med avseende på vibration, spolström (strömtänger) och tid. Tid mättes traditionellt. Även rörelse och dämpkurva mättes på en fas.

Accelerometerplacering

Borrade och gängade i godset.



Spolström

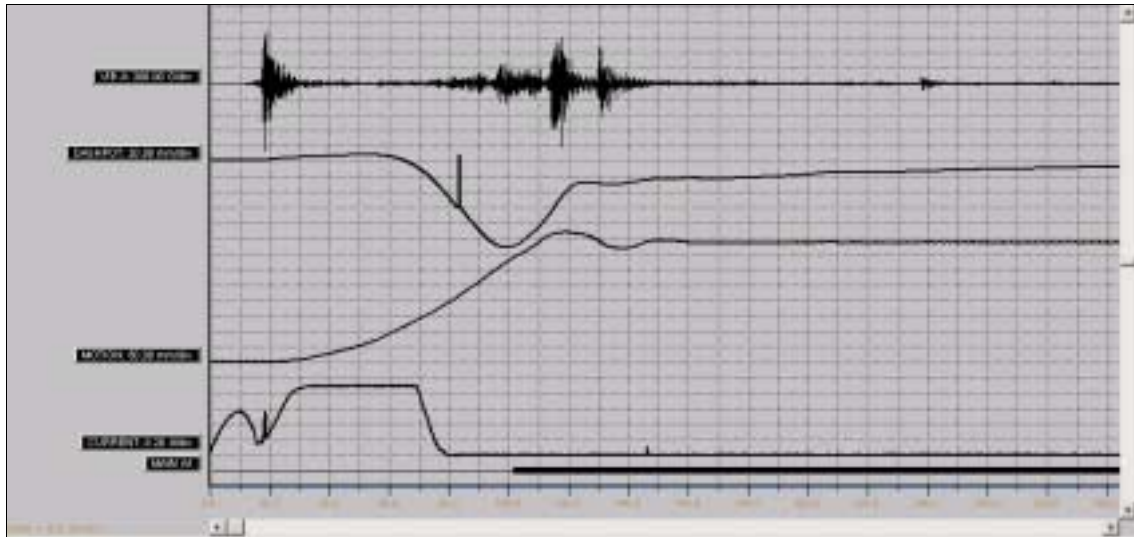
Spolströmmen mättes med Halleffekt strömtänger i manöverkretsen. Tängerna kopplades direkt till TM1600.

Tidmätning

Tidmätning utfördes traditionellt med kablage till TM1600.

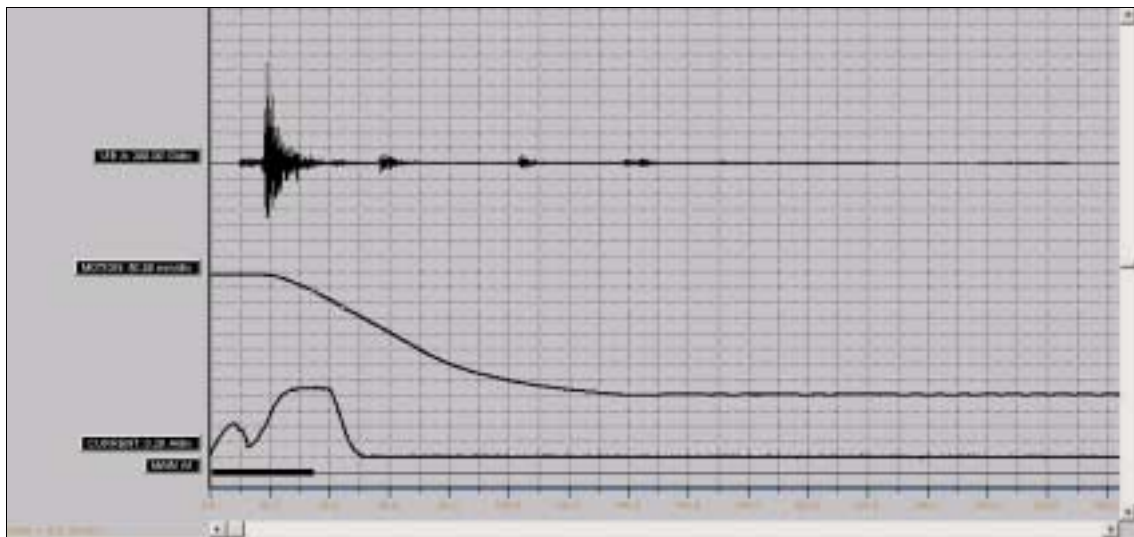
Resultat

Tillmanöver



Fas L3, (Bredäng T204-220-S 2190676 (A/B/C) Elforsk, 2001-05-30 13.30, Close Vib Curr Dash 1)

Frånmanöver



Fas L3,(Bredäng T204-220-S 2190676 (A/B/C) Elforsk, 2001-05-30 13.30, Open Vib Curr Dash 1)

C.6 Tågarp (Sydkraft)

Allmänt

Underhållsbolag: Elektrosandberg AB

Station: Tågarp

Tid för mätning: 12-13 juni 2001

Anmärkningar: Upptagning av referens på båda objekten, vibration, tid, spolström, rörelse. Efterföljande mätning på spänningssatt brytare gjordes på ett av objekten (ASEA HKEYC).

Objekt

1.
 - Asea HKEYC 60/1600 Serienr: 2120158 Litt: B504
 o BHFYE 674
2.
 - Oerlikon TOFQ 6012 60 kV Serienr: 990050H013 Litt: B506

Båda referensmättes med avseende på tid, rörelse, vibration och spolström. Objekt 1 mättes spänningssatt med avseende på vibration och tid med CTI.

Asea HKEYC 60/1600

Accelerometerplacering

Använder existerande hål i godset.



Spolström

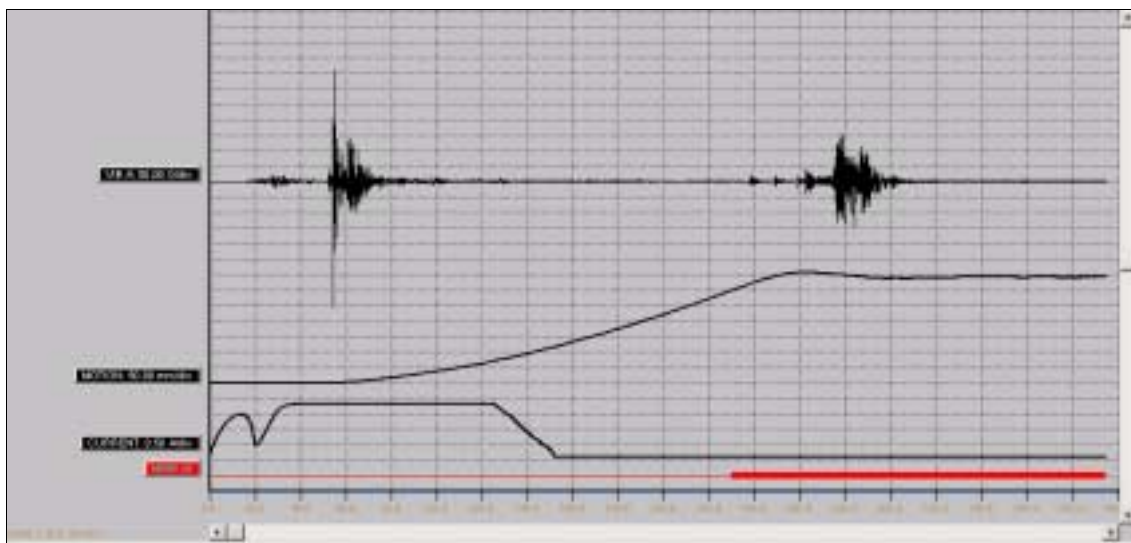
Spolströmmen mättes med Halleffekt strömtänger i manöverkretsen. Tängerna kopplades direkt till TM1600.

Tidmätning

Tidmätning utfördes traditionellt med kablage till TM1600. Vid mätning på spännings-satt brytare användes CTI för tidmätning.

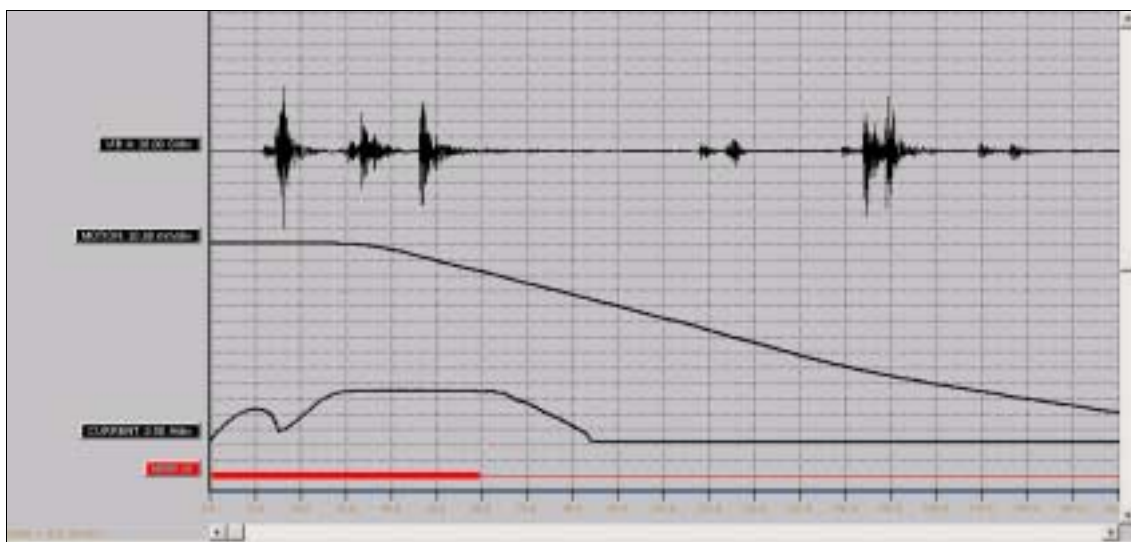
Resultat

Tillmanöver



(Tågarp B504 2120158 Reference test, 2001-06-12 13.00, Close Vib Curr Dash 1)

Frånmanöver

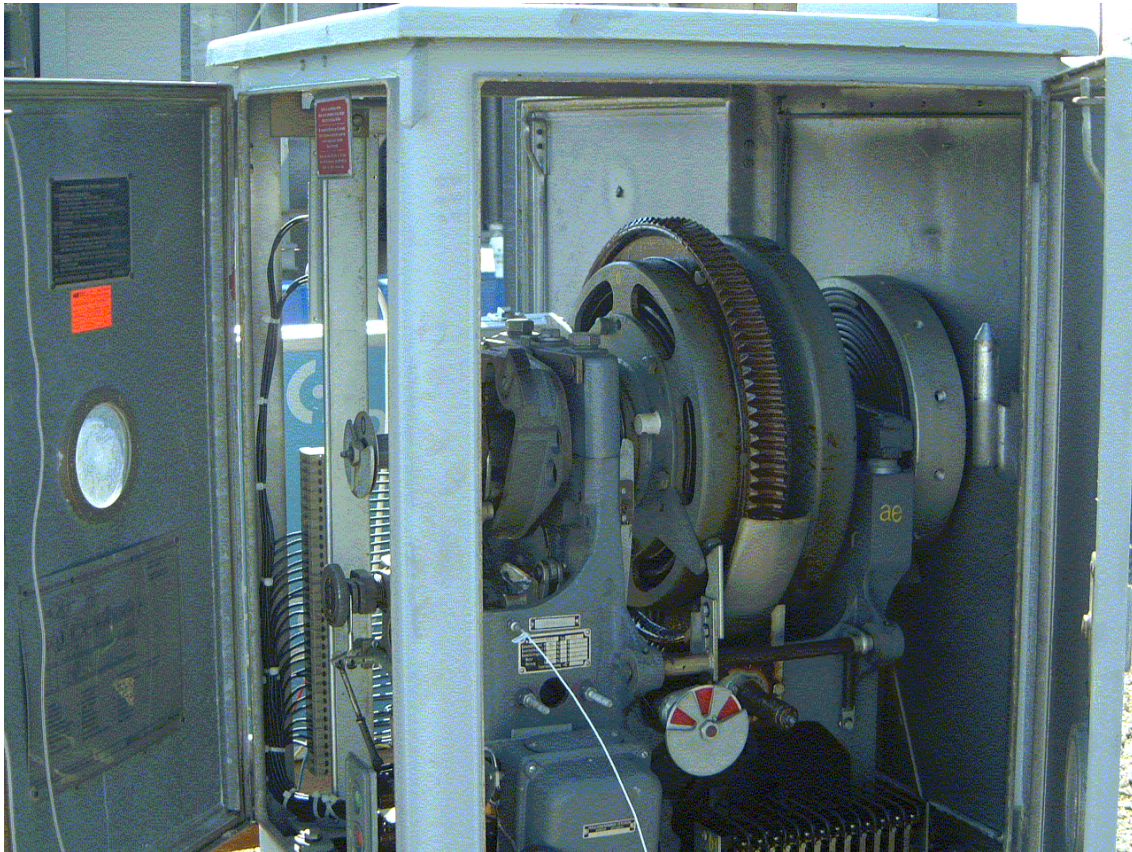


(Tågarp B504 2120158 Reference test, 2001-06-12 13.00, Close Vib Curr Dash 1)
(Rörelsemätning kräver > 395 ms p g a dämpfjäder i vridporslin.)

Oerlikon TOFQ 6012 60 kV

Accelerometerplacering

Borrade och gängade i godset.



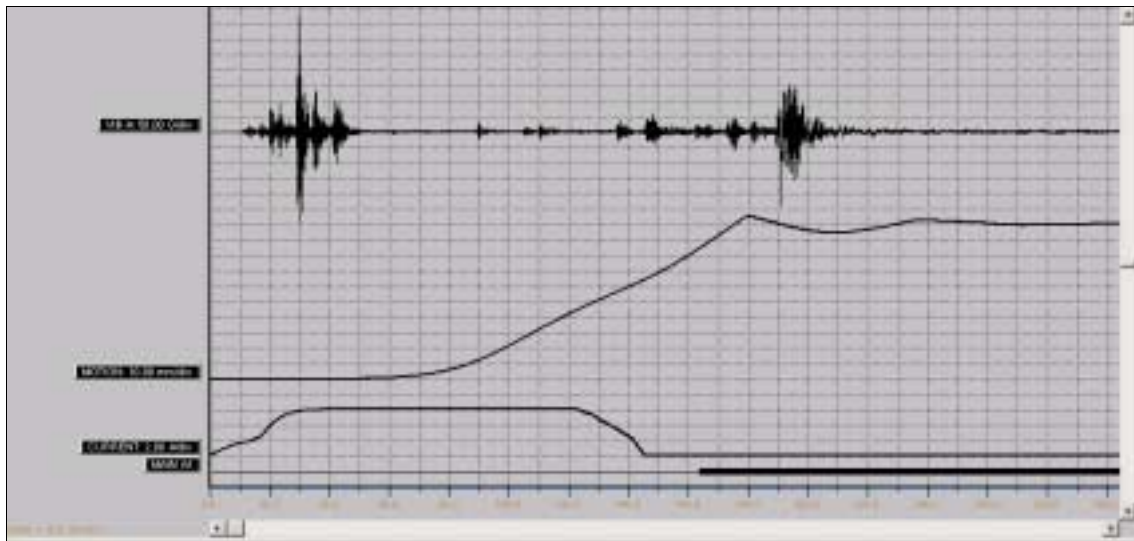
Spolström

Spolströmmen mättes med Halleffekt strömtänger i manöverkretsen. Tängerna kopplades direkt till TM1600.

Tidmätning

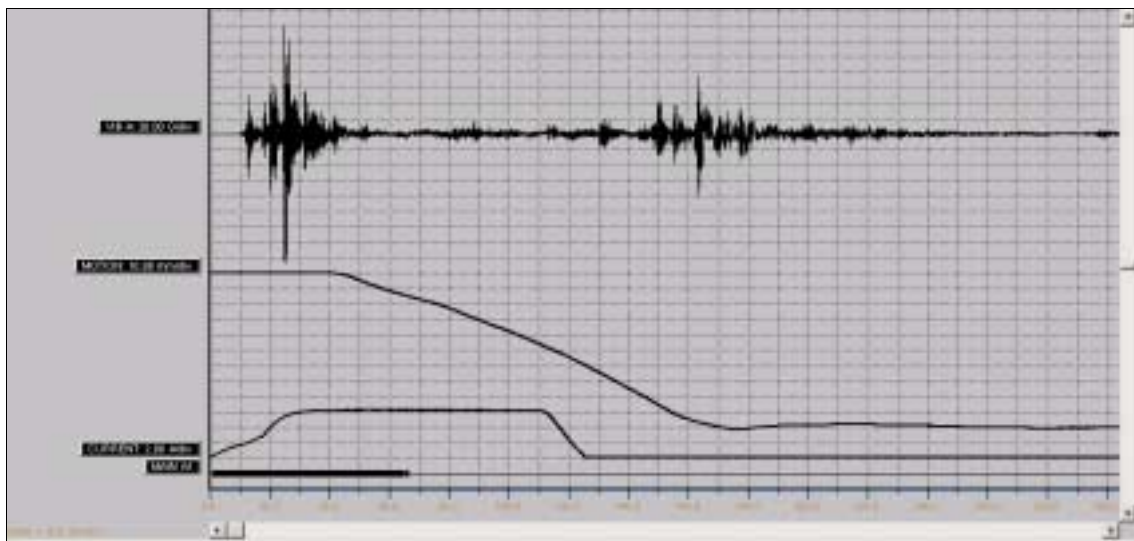
Tidmätning utfördes traditionellt med kablage till TM1600. Faserna parallellkopplades d v s den uppmätta tiden avser den först slutande fasen respektive den sist öppnande fasen.

Resultat
Tillmanöver



(Tågarp B506 990050H013 Reference test, 2001-06-13 16.02, Close Vib Curr Dash 1)

Frånmanöver



(Tågarp B506 990050H013 Reference test, 2001-06-13 16.02, Close Vib Curr Dash 1)

C.7 Tälle (Vattenfall Östnät)

Allmänt

Underhållsbolag: Vattenfall Elnätservice AB

Station: Tälle

Tid för mätning: 18 juni 2001

Anmärkningar: Upptagning av referens med vibration, spolström, tid, rörelse och dämpkurva och efterföljande mätning på spänningssatt brytare med CTI och vibration.

Objekt

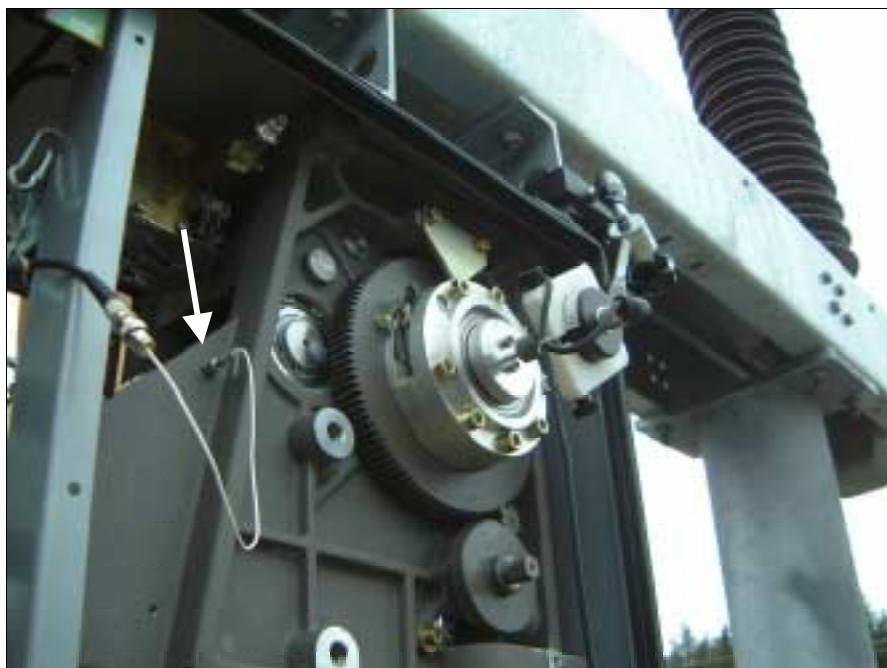
1.

- Siemens 3AP1 FG 145 kV Serienr: 01/35053473 Litt: AC-130-S

Objektet har ett gemensamt manöverdon för alla tre faser. Testades med avseende på vibration, spolström (strömtänger), tid, rörelse och dämpkurva.

Accelerometerplacering

Använder existerande gänga i godset.



Spolström

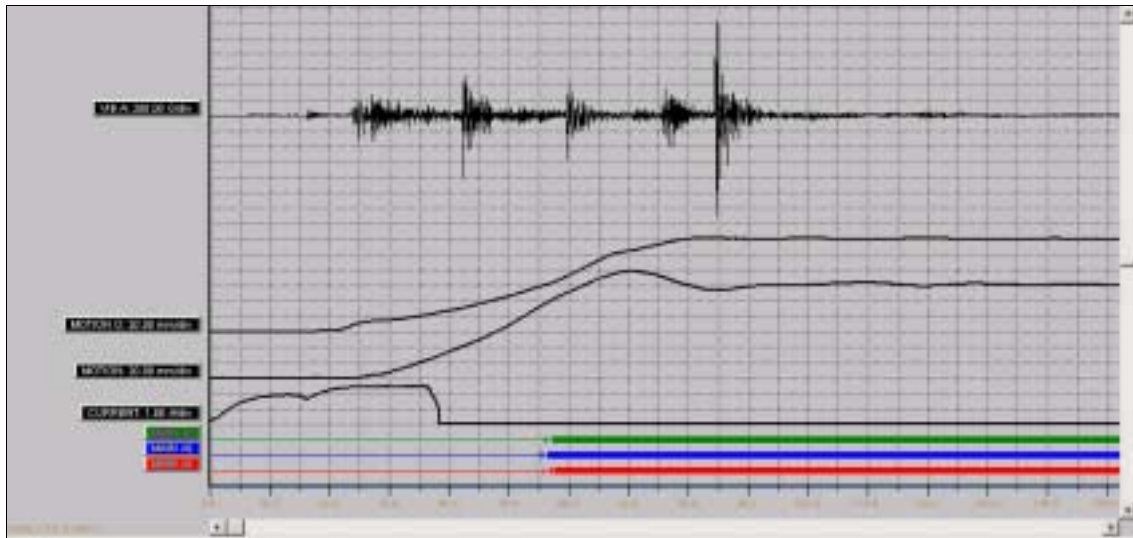
Spolströmmen mättes med Halleffekt strömtänger i manöverkretsen. Tängerna kopplades direkt till TM1600.

Tidmätning

Tidmätning utfördes traditionellt med kablage till TM1600. Vid mätning på spänningssatt brytare användes CTI för tidmätning.

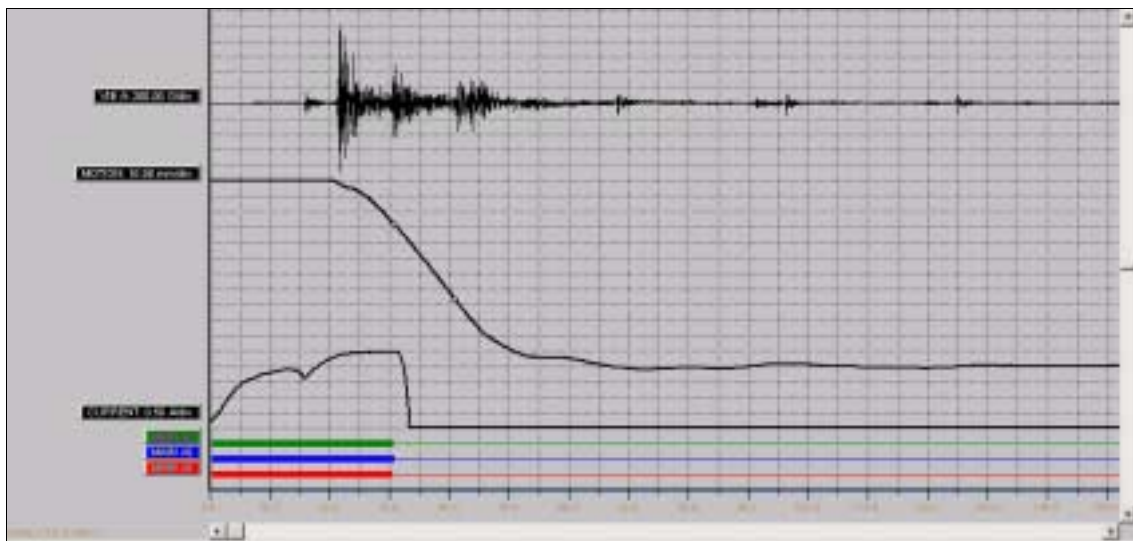
Resultat

Tillmanöver



(Tälle 01/35053473 Reference test, 2001-06-18 12.55, Close Vib Curr Dash 1)

Frånmanöver



(Tälle 01/35053473 Reference test, 2001-06-18 12.55, Open Vib Curr Dash 1)

C.8 Hässelby Villastad (Birka Nät)

Allmänt

Underhållsbolag: Birka Service AB

Station: Hässelby Villastad

Tid för mätning: 4 oktober 2001

Anmärkningar: Referensmätning på spänningssatt brytare med tid, vibration och strömkurva.

Objekt

1.

- Calor Emag OD3M 12 kV (DELTA) Serienr: 5240108/064/73
Litt: 10-B10-S

Objektet mättes med avseende på vibration, spolströmström (strömtänger) och tid.

Accelerometerplacering

Använde existerande hål i mekanismen.



Spolström

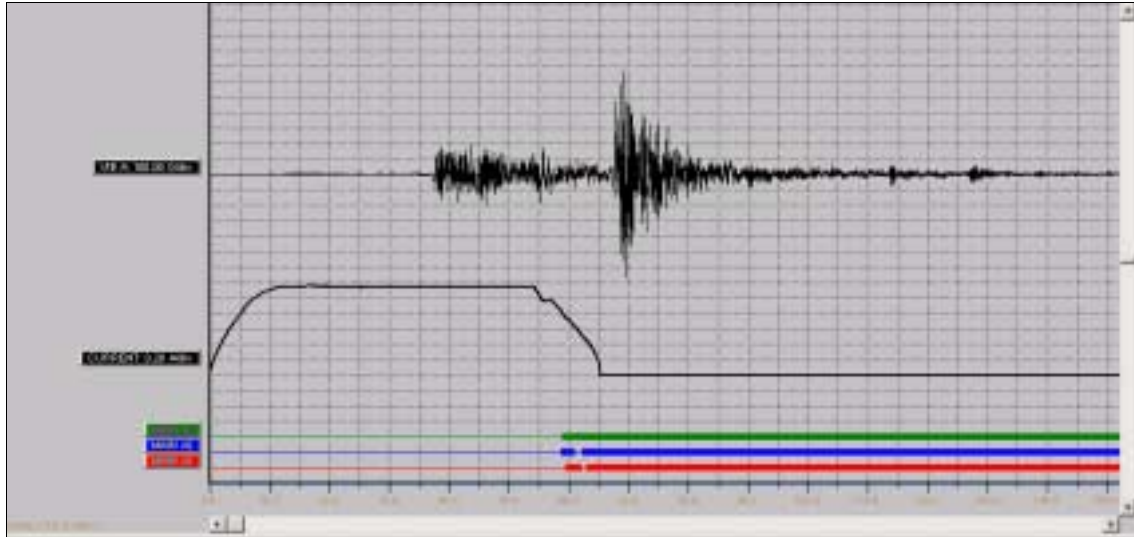
Spolströmmen mättes med Halleffekt strömtänger i manöverkretsen. Tängerna kopplades direkt till TM1600.

Tidmätning

Tidmätning utfördes traditionellt med kablage till TM1600. Vid spänningssatt brytare så användes CTI.

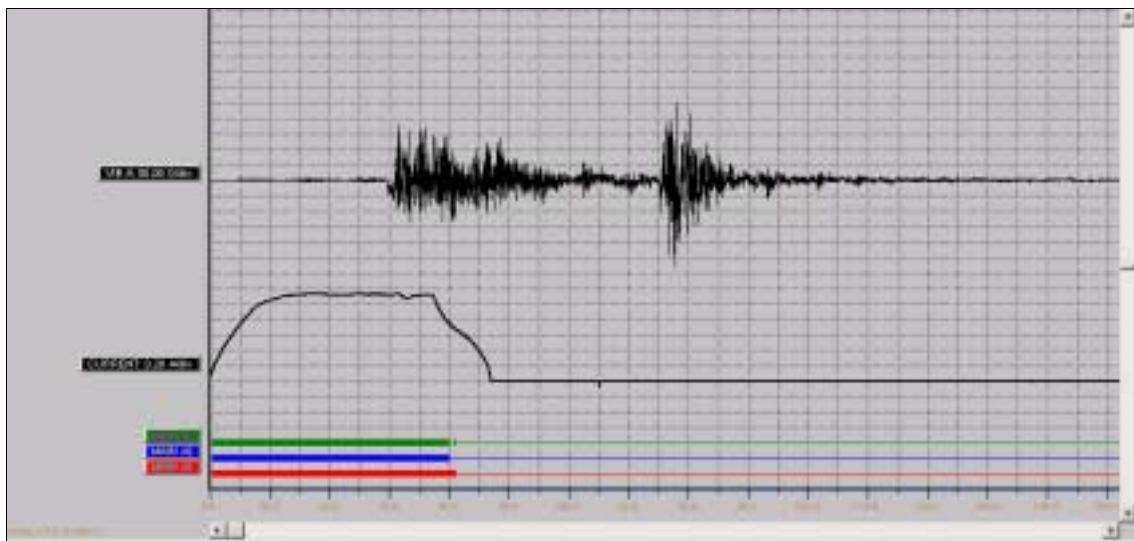
Resultat

Tillmanöver



(Hässelby Villastad 10658 Sthlm E Delta 2/326, 2001-10-04 10.25, Close Vib Curr Dash 1)

Frånmanöver



Fas L3,
(Hässelby Villastad 10658 Inv no Sthlm E Delta 2/326, 2001-10-04 10.25, Open Vib Curr Dash 1)

C.9 Skanstull (Birka Nät)

Allmänt

Underhållsbolag: Birka Service AB

Station: Skanstull

Tid för mätning: 15 November 2001

Anmärkningar: Ingen mätning på spänningssatt brytare. Vibration, tid och spolström som referens.

Objekt

1. AEG VA5012/36-1 Serienr: 419401
2. Calor Emag VD4M 1208 P25KU Serienr: 5740722/360/88

Båda referens mättes med avseende på tid, vibration och spolström. Ingen mätning på spänningssatt brytare genomfördes.

AEG VA5012/31-6

Accelerometerplacering

Borrat och gängat i tre positioner samt använt adapterbult på polen. Detta för att utvärdera lämpliga positioner för vibrationsmätning.

Position 1

I mekanismen med god mekanisk kontakt med de rörliga delarna i manöverdonet. Denna position är ej åtkomlig vid spänningssatt brytare.

Position 2

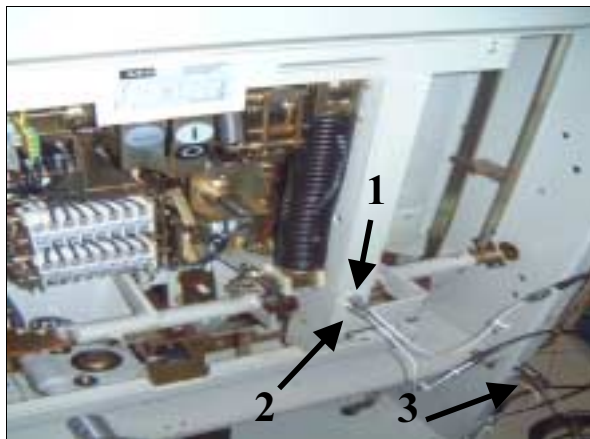
I mekanismen med god mekanisk kontakt med de rörliga delarna i manöverdonet. Denna position är ej åtkomlig vid spänningssatt brytare. Gängan i denna position är sned.

Position 3

I brytartruckens ram. Denna position är åtkomlig vid spänningssatt brytare dock ej rekommenderad på grund av dålig mekanisk kontakt med rörliga delar.

Position 4

Vid infästning för vakuumflaska med adapterbult i befintligt hål. God mekanisk kontakt med vakuumflaska. Denna position är ej åtkomlig vid spänningssatt brytare.



Spolström

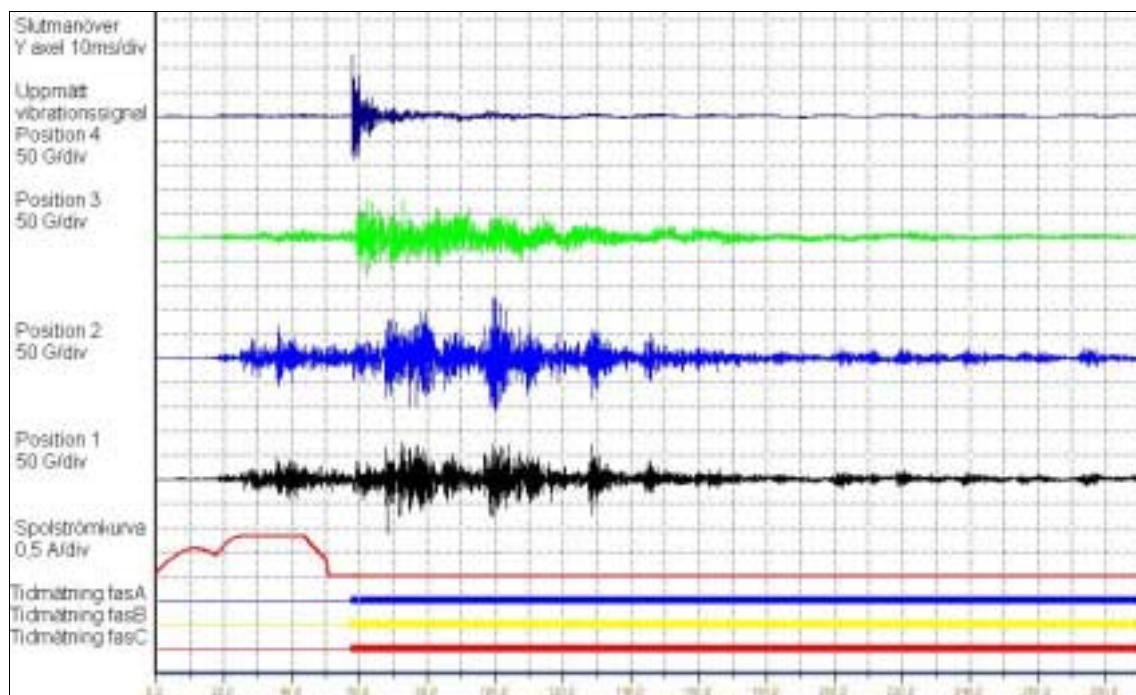
Spolströmmen mäts med Halleffekt strömtänger i manöverkretsen. Tängerna kopplades direkt till TM1600.

Tidmätning

Tidmätning utfördes traditionellt med kablage till TM1600.

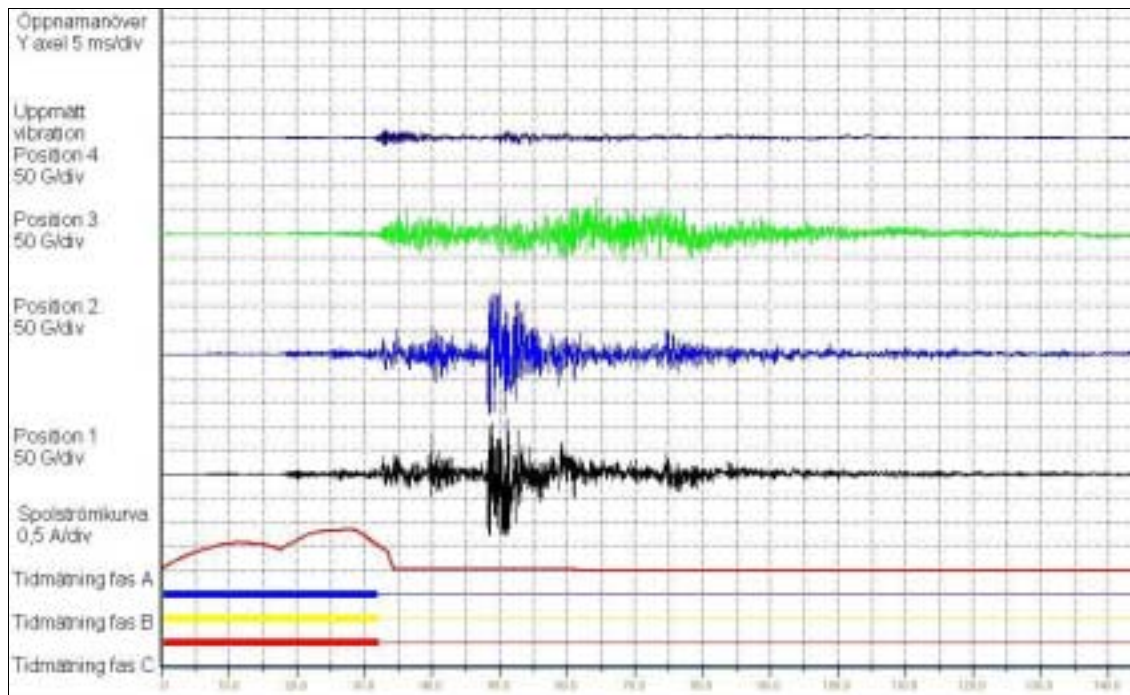
Resultat

Tillmanöver



(Skanstull 419401 tested 1999, 2001-11-15 11.28, Close Vib Curr Dash 3)

Frånmanöver



(Skanstull 419401 tested 1999, 2001-11-15 11.28, Open Vib Curr 5)

Calor Emag VD4M 1208 P25KU

Accelerometerplacering

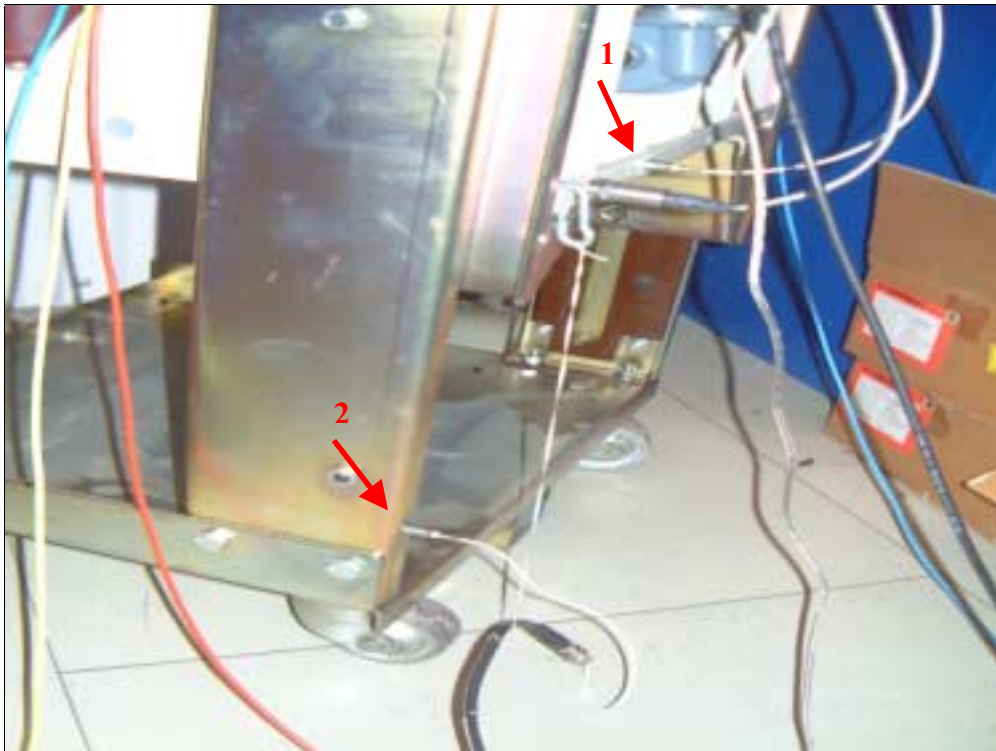
Borrat och gängat i två positioner. Detta för att utvärdera lämpliga positioner för vibrationsmätning.

Position 1

I mekanismen med god mekanisk kontakt med de rörliga delarna i manöverdonet. Denna position är ej åtkomlig vid spänningssatt brytare.

Position 2

I brytartruckens ram. Denna position är åtkomlig vid spänningssatt brytare dock ej rekommenderad p g a dålig mekanisk kontakt med rörliga delar.



Spolström

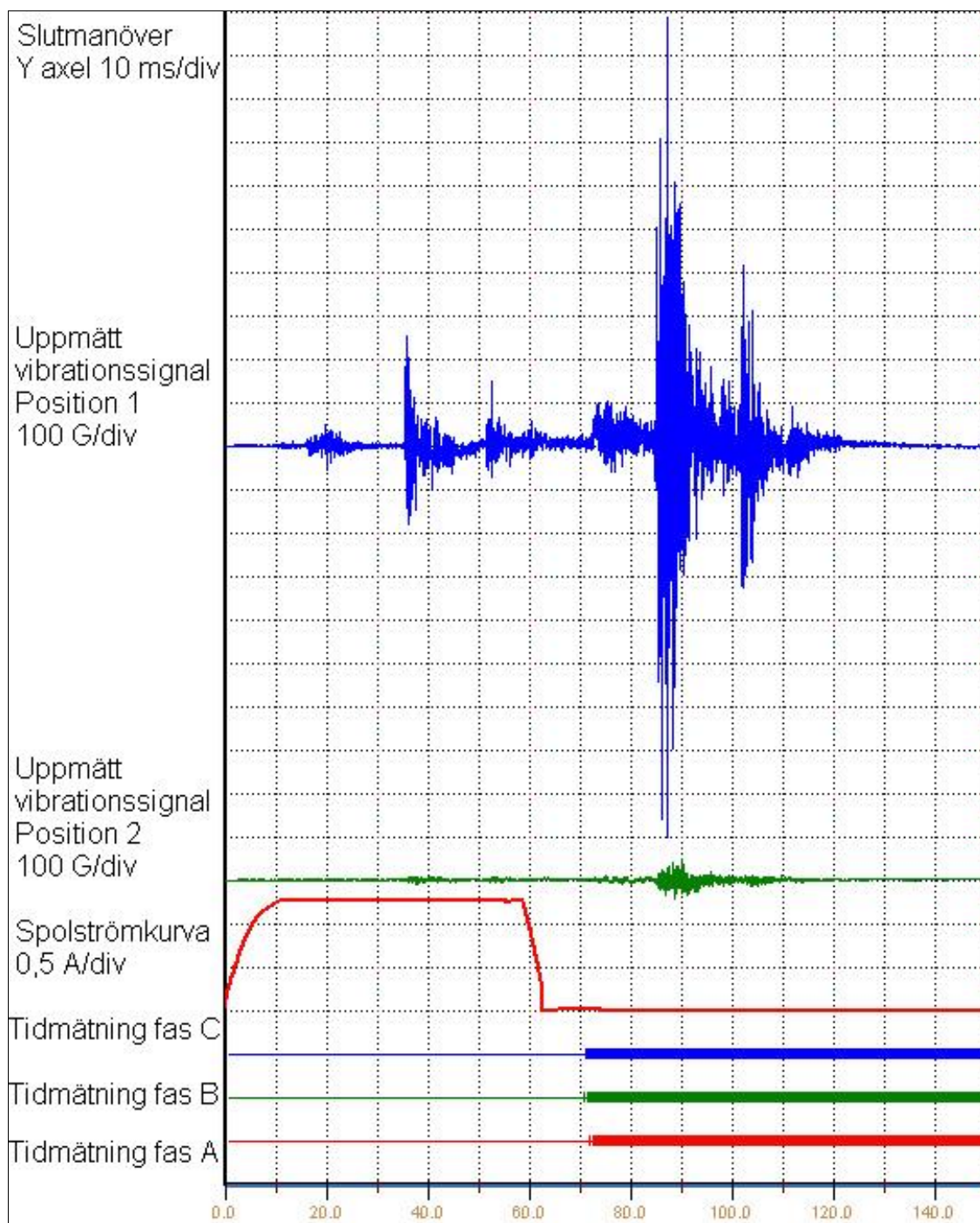
Spolströmmen mättes med Halleffekt strömtänger i manöverkretsen. Tångerna kopplades direkt till TM1600.

Tidmätning

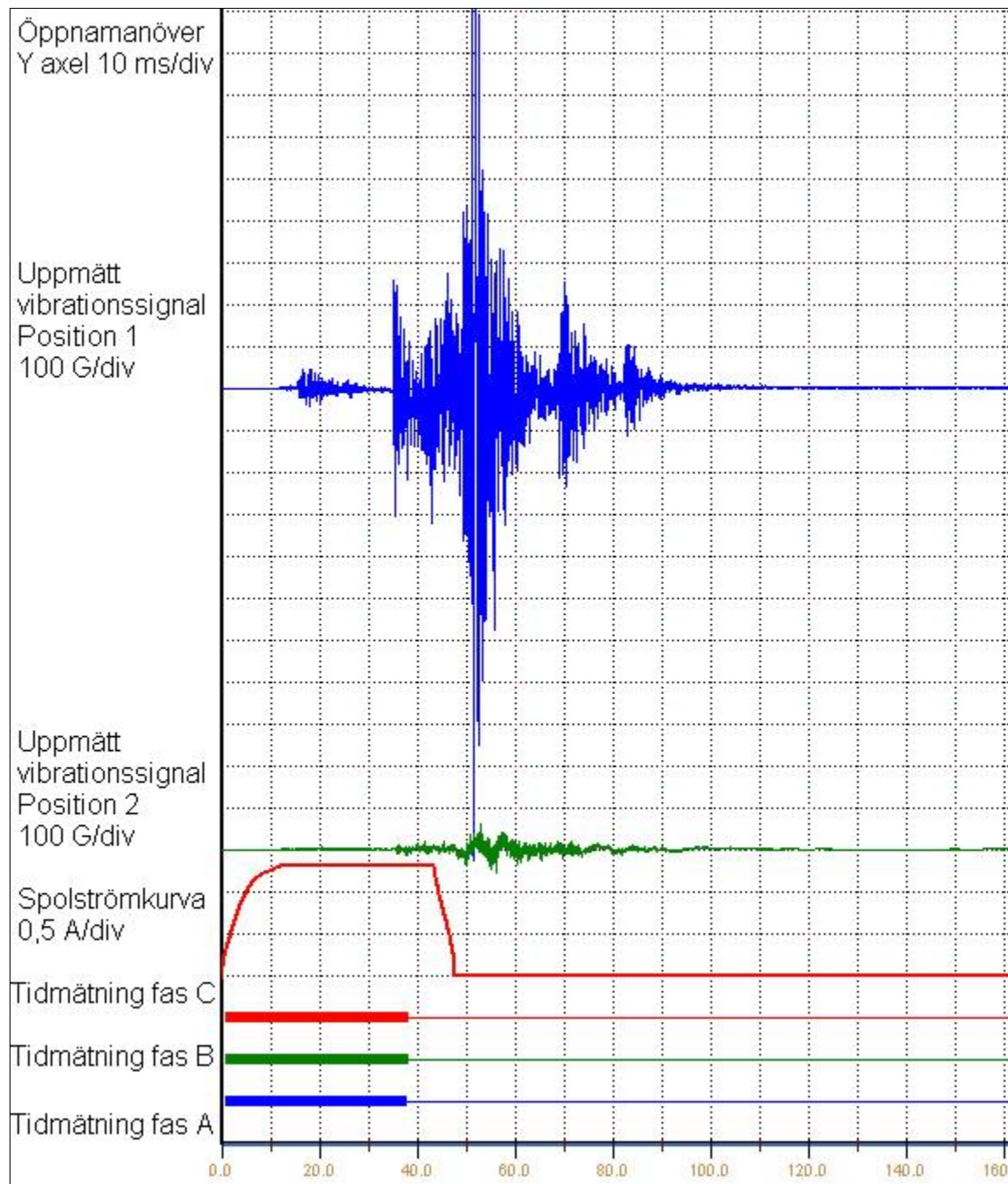
Tidmätning utfördes traditionellt med kablage till TM1600.

Resultat

Tillmanöver



(Skanstull 5740722/360/88, 2001-11-15 14.45, Close Vib Curr Dash 4)

Frånmanöver

(Skanstull 5740722/360/88, 2001-11-15 14.45, Open Vib Curr 2)

C.10 Hamra (SvK)

Allmänt

Underhållsbolag: Vattenfall Elnätservice AB

Station: Hamra

Tid för mätning: 22 November 2001

Anmärkningar: Ingen mätning på spänningssatt brytare. Vibration, tid och spolström som referens. Båda objekten är styrda av synkroniseringsrelä.

Objekt

1.

- Sprecher Energie HGF 116/B2 420 kV
 - Serienr: 2126169/1A (R-fas)
 - 2126169/1B (S-fas)
 - 2126169/1C (T-fas)
- FKF 2-6 (Serienr. lika som brytarpolerna)

2.

- ABB HPL 420/31B2
 - Serienr: 7810577 A (T-fas)
 - 7810577 B (S-fas)
 - 7810577 C (R-fas)
- BLG 1002
 - Serienr. 7810578 (R-fas)
 - 7810579 (S-fas)
 - 7810580 (T-fas)

Båda referens mättes med avseende på tid, vibration och spolström. Ingen mätning på spänningssatt brytare genomfördes.

Sprecher Energie HGF 116/B2 420 kV

Accelerometerplacering

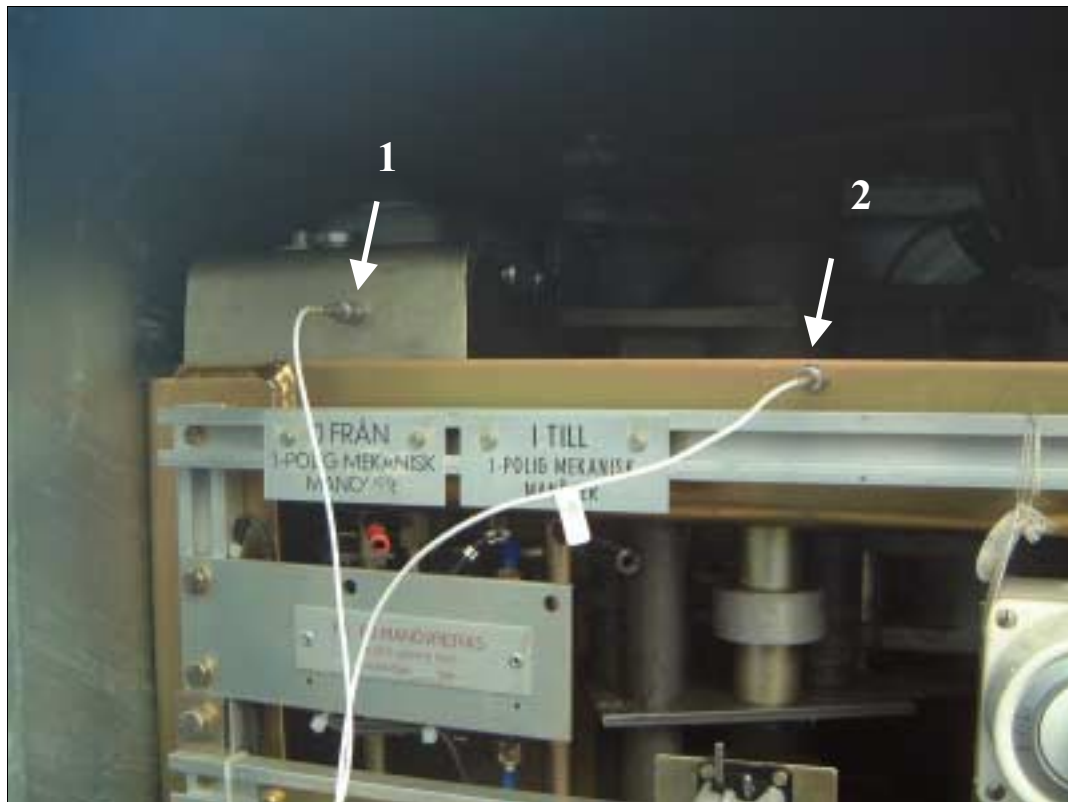
Borrat och gängat i två positioner. Detta för att utvärdera lämpliga positioner för vibrationsmätning.

Position 1

I balk med god mekanisk kontakt med de rörliga delarna i manöverdonet.
Denna position är åtkomlig vid spänningssatt brytare.

Position 2

I del fastsatt i balk med god mekanisk kontakt med de rörliga delarna i manöverdonet. Denna position är åtkomlig vid spänningssatt brytare.



Spolström

Spolströmmen mättes med Halleffekt strömtänger i manöverkretsen. Tängerna kopplades direkt till TM1600.

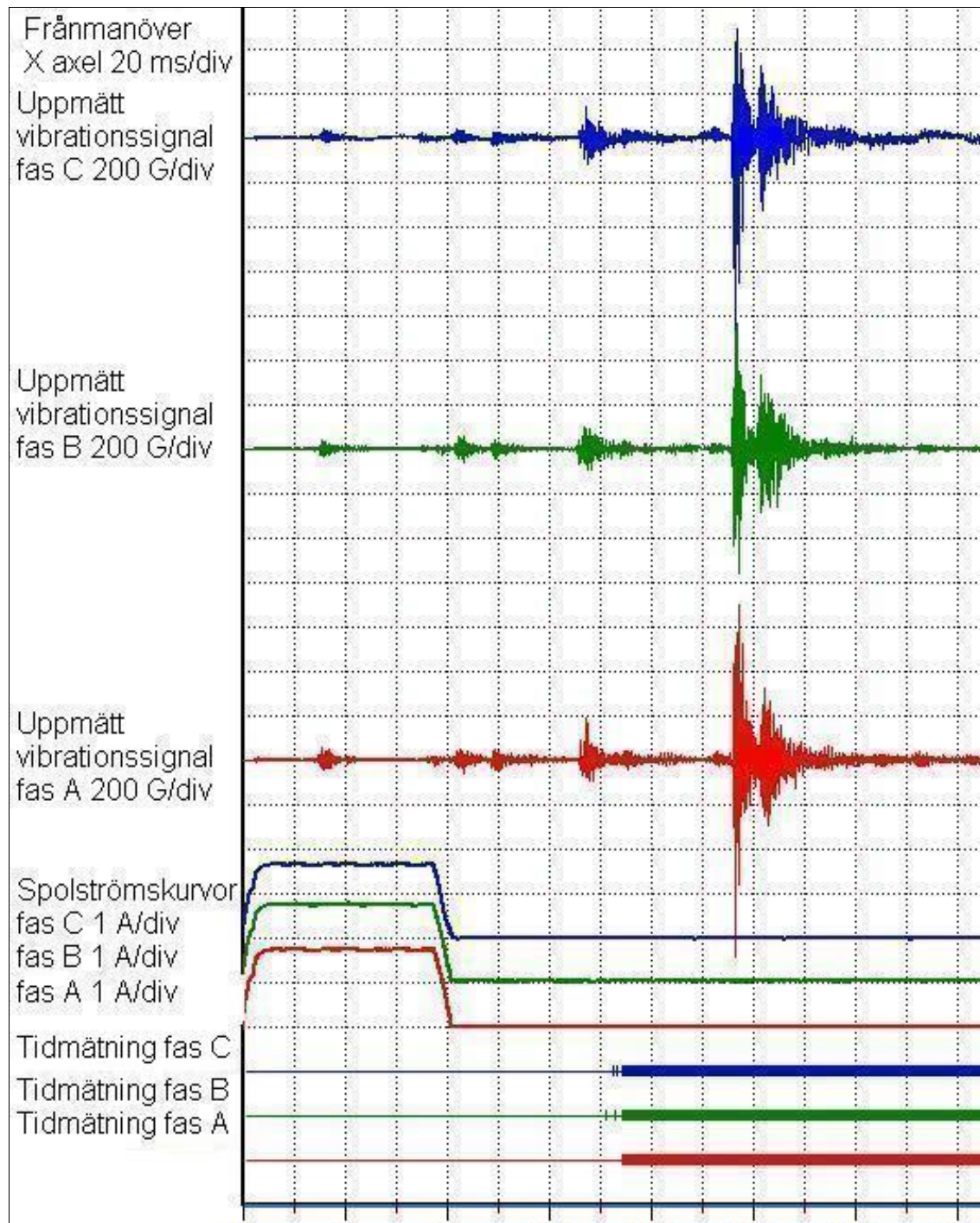


Tidmätning

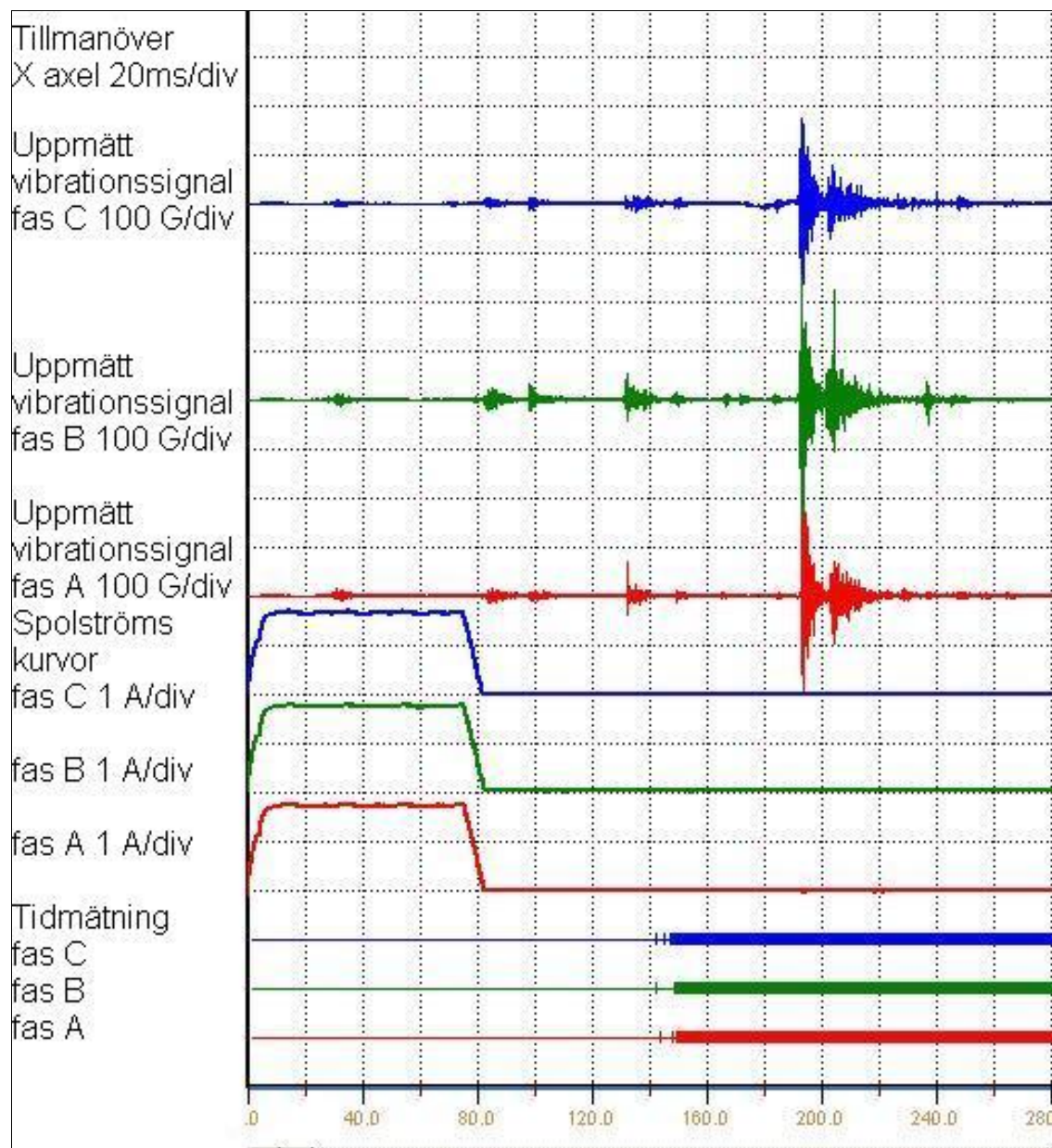
Tidmätning utfördes traditionellt med kablage till TM1600.

Resultat

Tillmanöver

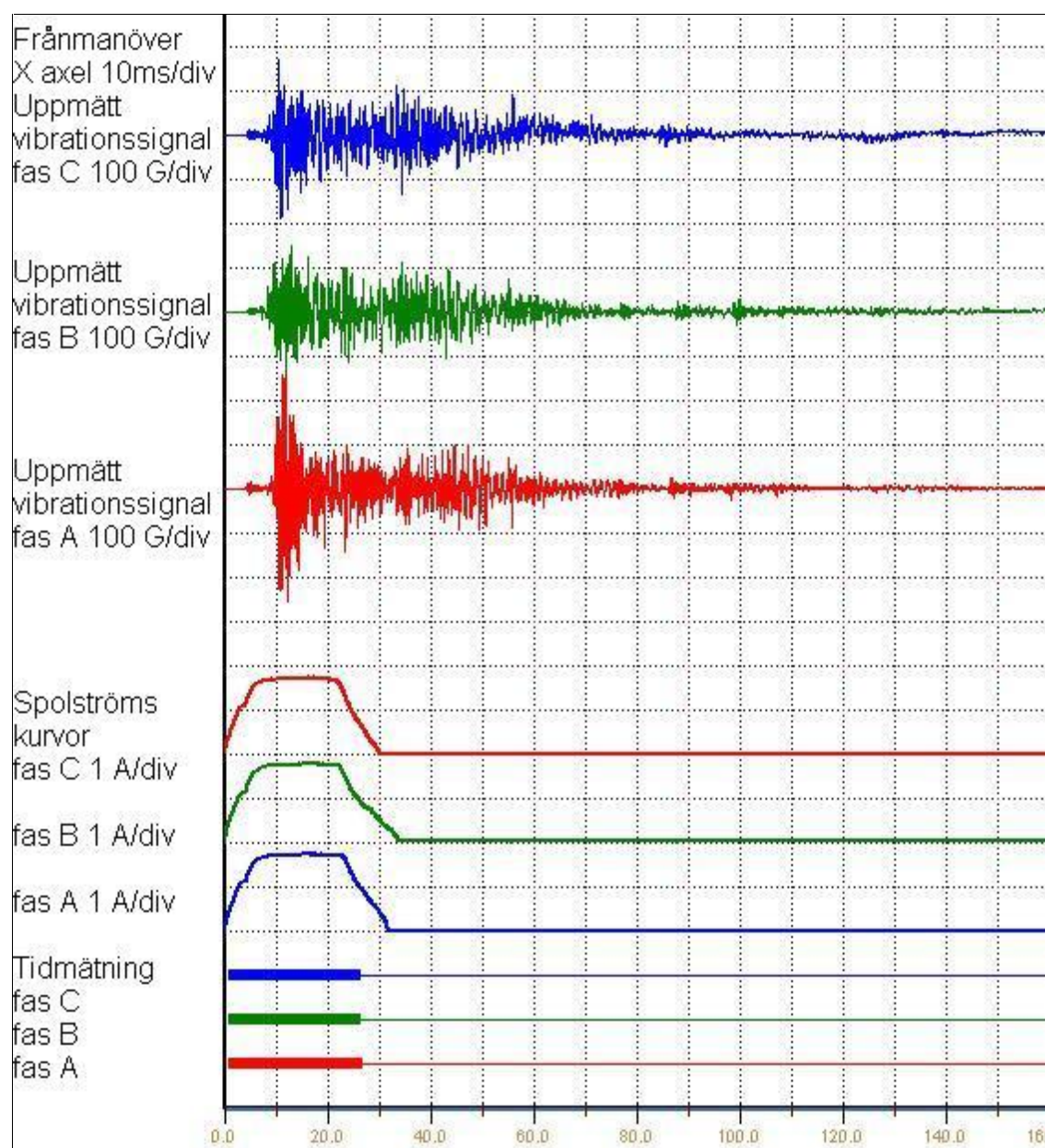


Position 1 (Hamra, 2001-11-22 11.36, Close Vib Curr Dash 2)

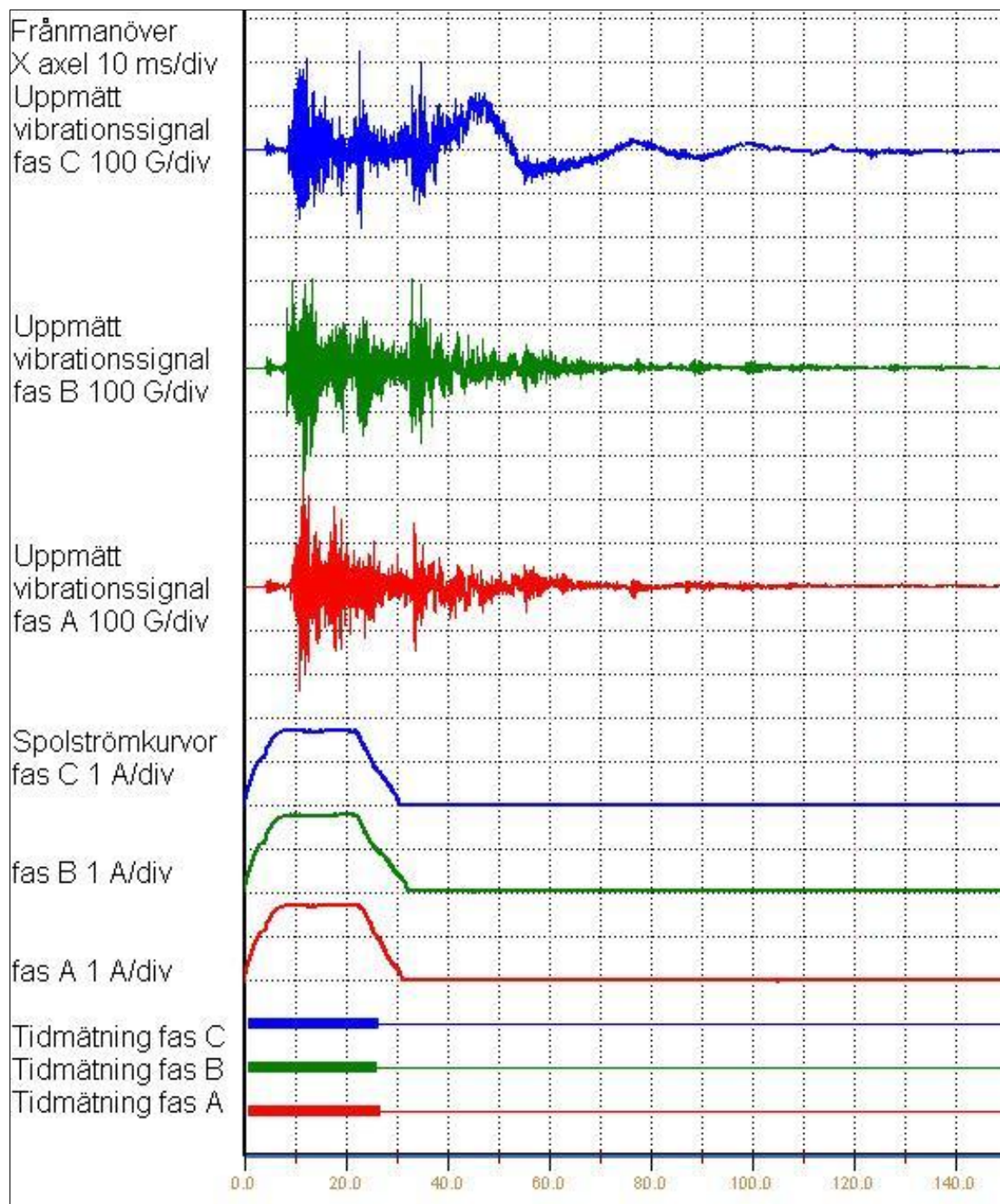


Position 2 (Hamra, 2001-11-22 11.56, Close Vib Curr Dash 3)

Frånmanöver



Position 1 (Hamra, 2001-11-22 11.36, Open Vib Curr 2)

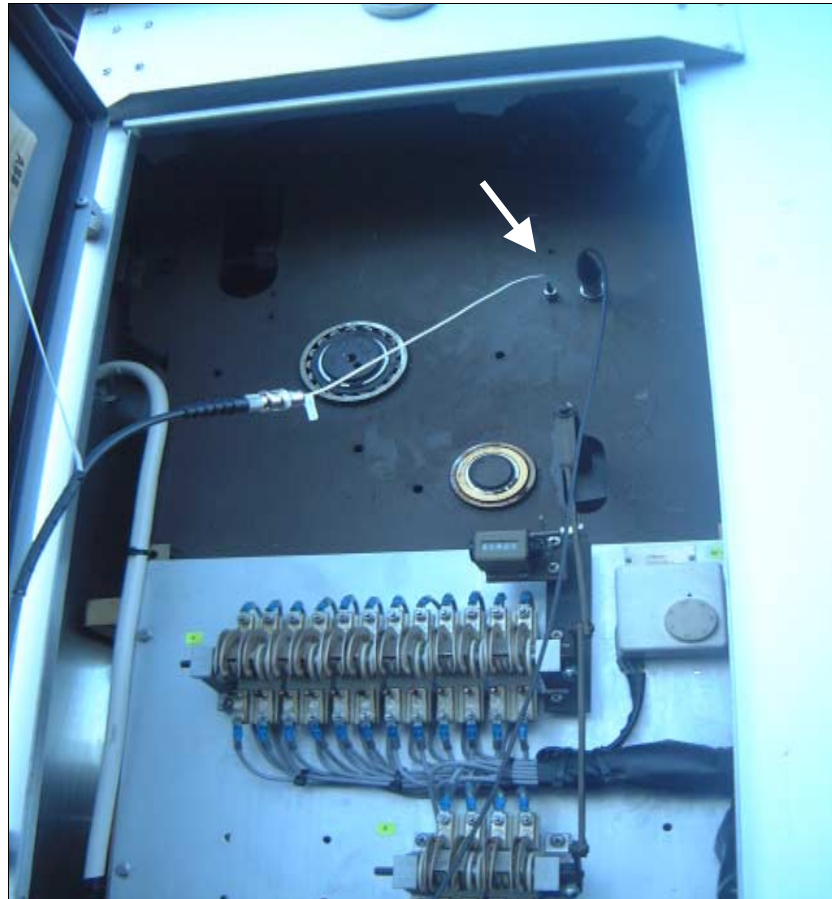


Position 2 (Hamra, 2001-11-22 11.56, Open Vib Curr 3)

ABB HPL 420/31B2

Accelerometerplacering

Gångat i ett existerande hål.



Spolström

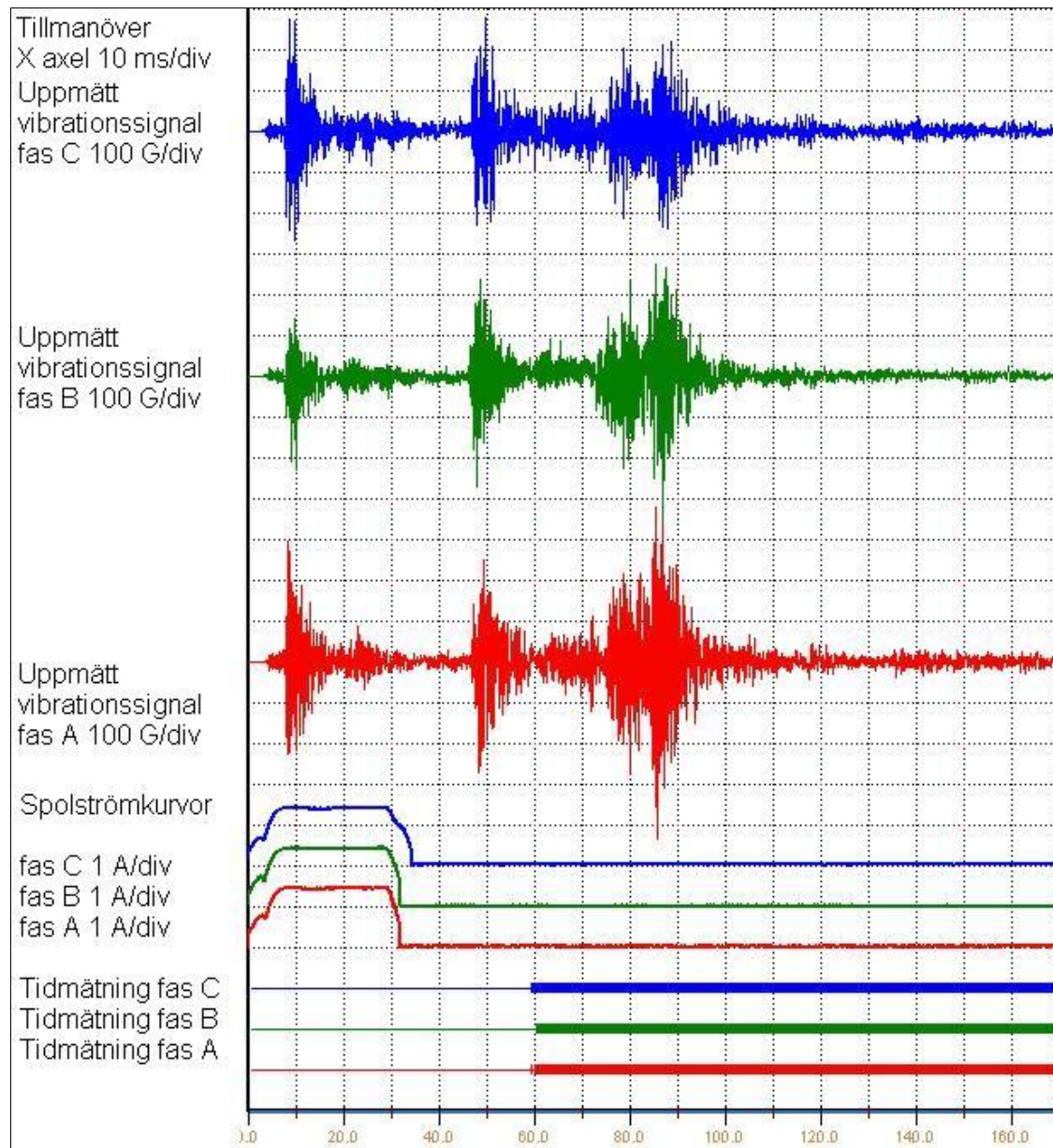
Spolströmmen mäts med Halleffekt strömtänger i manöverkretsen. Tängerna kopplades direkt till TM1600.

Tidmätning

Tidmätning utfördes traditionellt med kablage till TM1600.

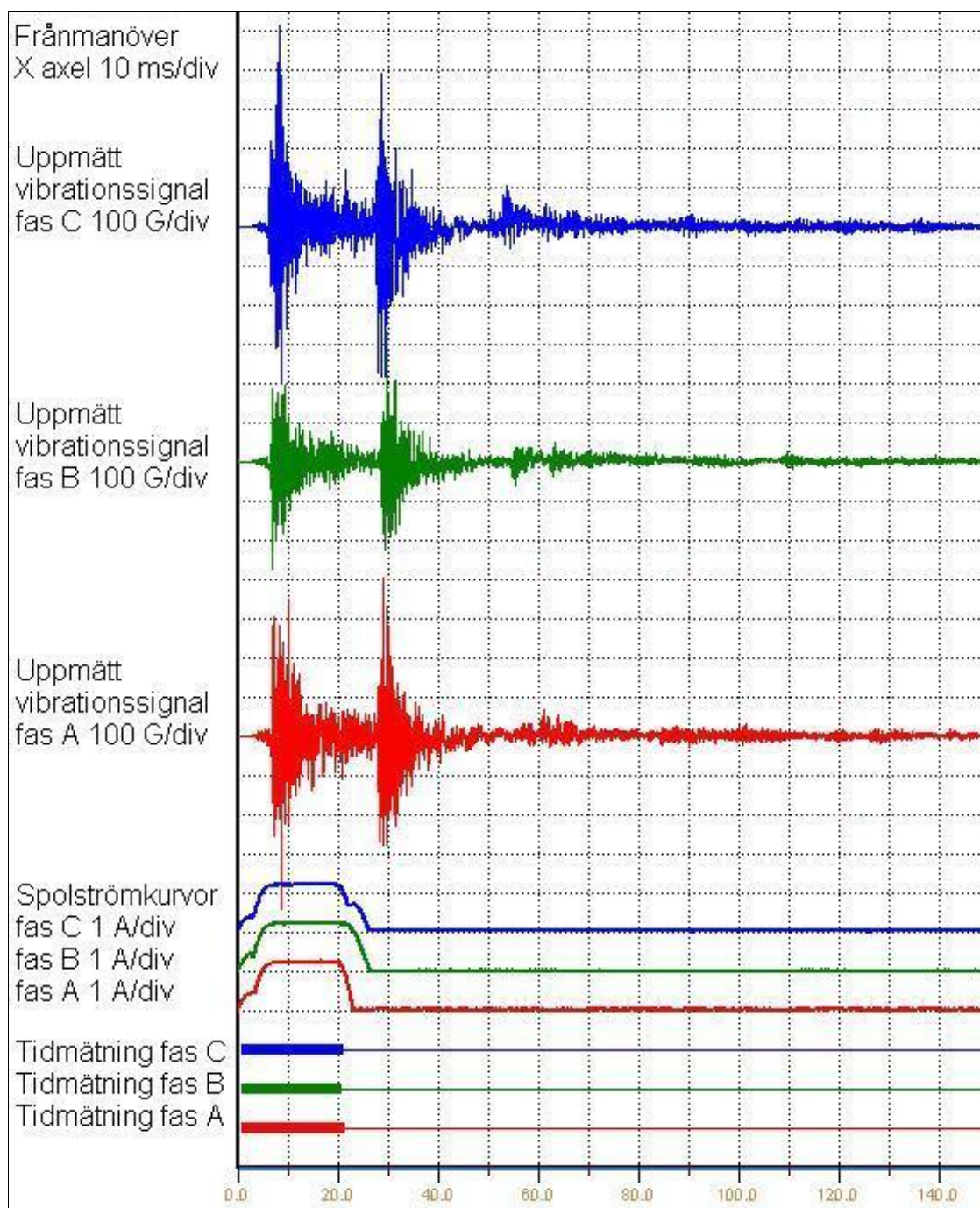
Resultat

Tillmanöver



(Hamra X13-B-S, 2001-11-22 14.36, Close Vib Curr Dash 3)

Frånmanöver



(Hamra X13-B-S, 2001-11-22 14.36, Open Vib Curr 3)

D Sammanställning av provade brytarobjekt genomförda med Kelmans vibrationsmetod

D.1 Inledning

Denna bilaga sammanfattar genomförda mätningar med Kelman Profile P1+ utrustning och är författad i sin helhet av Vattenfall Utvecklig AB.

Inga slutsatser eller bedömningar är gjorda i denna sammanställning. I de fall där redovisade mätningar har genomförts på spänningssatt respektive ej spänningssatt brytare anges detta. För beskrivning av inkopplingen av Kelmans mätutrustning hänvisas till kapitel 4.3.

Vibrations- och referensmätningar som genomförts med Programma Electrics metod redovisas i bilaga C. För en beskrivning av spolströmmens utseende med exemplifieringar hänvisas till kapitel 5 samt bilaga E och F.

D.2 Hall (SvK)

Inga mätningar genomförda i Hall 2000-11-20 med Kelmans mätutrustning då den ännu inte hade levererats till Vattenfall Utveckling.

D.3 Bromma (Birka Nät)

Brytare: **Sprecher & Schuh HPtw 307g/spez 36 kV (oljemin)**

Serienr: 80/574751

Tidpunkt: 2001-03-28

Brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faser.

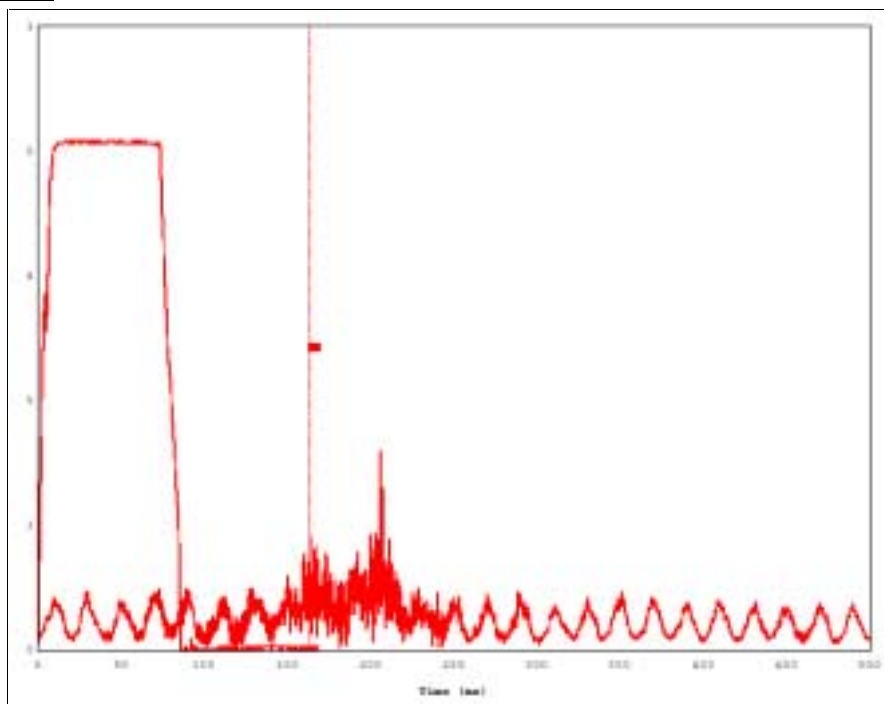
Reservbrytare monterad i provbänk i stationen (brytare ej i drift). Denna brytare har även provats med Programmas vibrationsmetod (2001-01-16). Denna mätning är ej samma tillfälle som då Programma genomförde vibrationsmätningar i Bromma (2001-01-16). Kelmans mätutrustningen hade vid det tillfälle ännu inte levererats av Kelman.



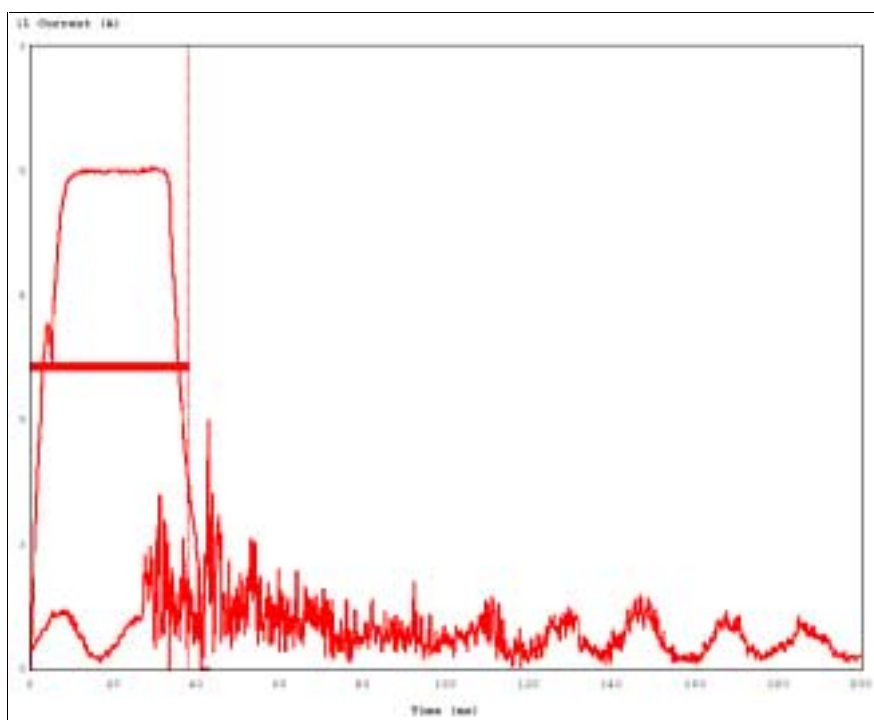
Kelmans accelerometer var placerad vid pilen. Motsvarar placering B enligt kap. 5.3.1 i rapporten. Bild: Vattenfall Utveckling.

Uppmätt vibrationssignal samt spolström och tid vid till- respektive frånmanöver (R-fas, vänster).

Tillmanöver



Frånmanöver



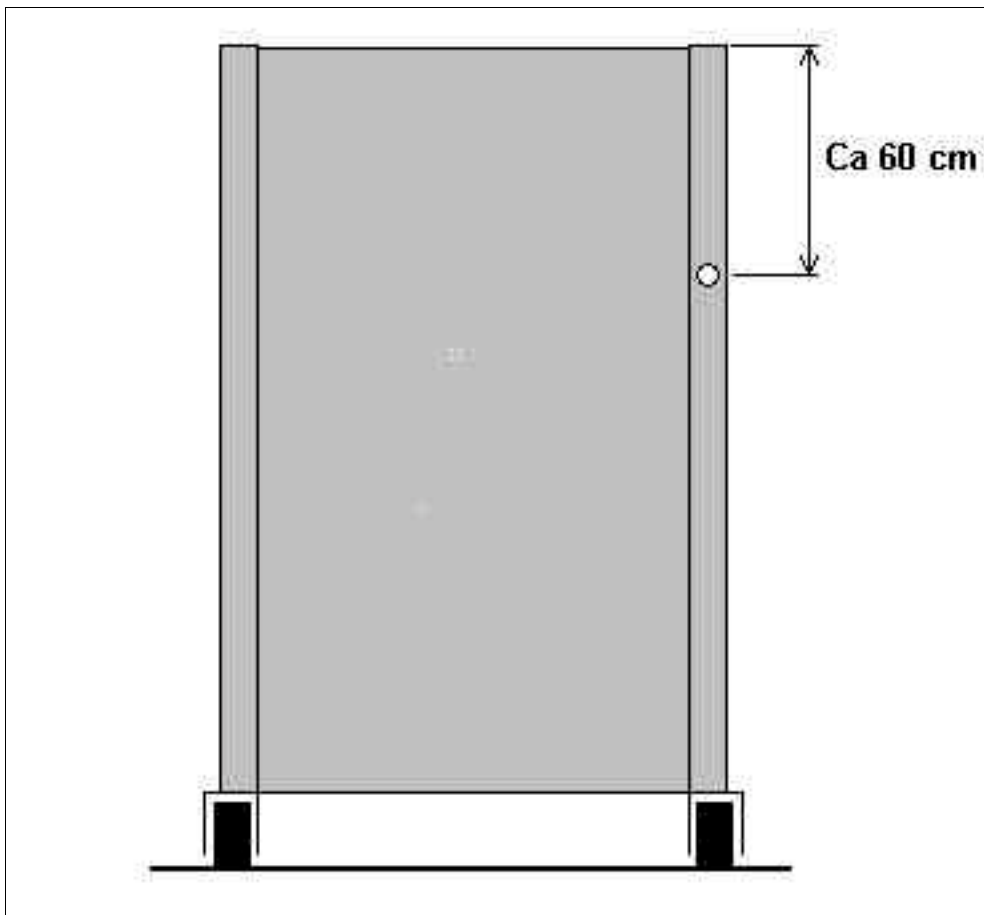
D.4 Torsvik (Birka Nät)

Brytare: Asea HKK 12/1225 KM 10 kV, Serienr: 2187917

Litt: T1-10-S (oljemin)

Tidpunkt: 2001- 03-20

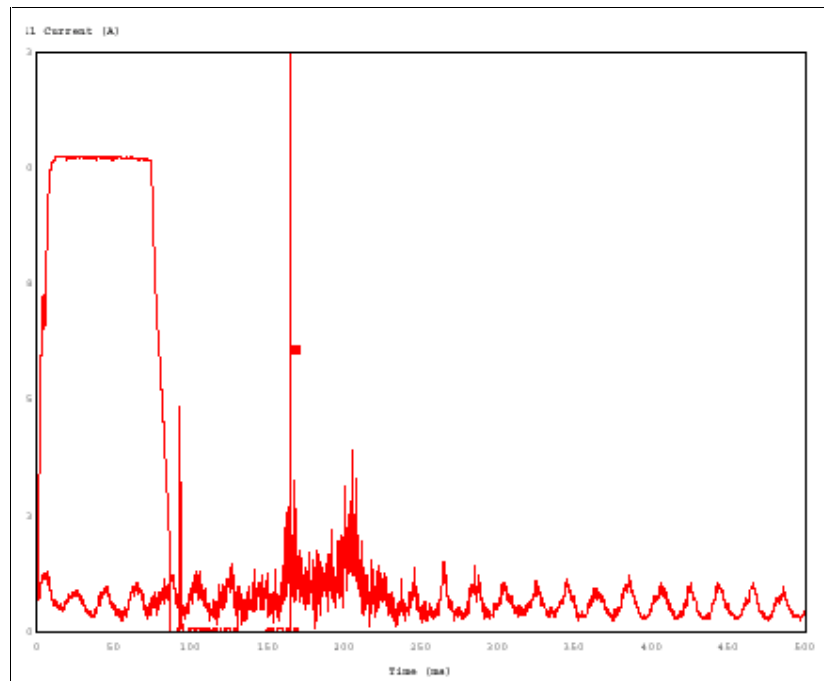
Brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faser.



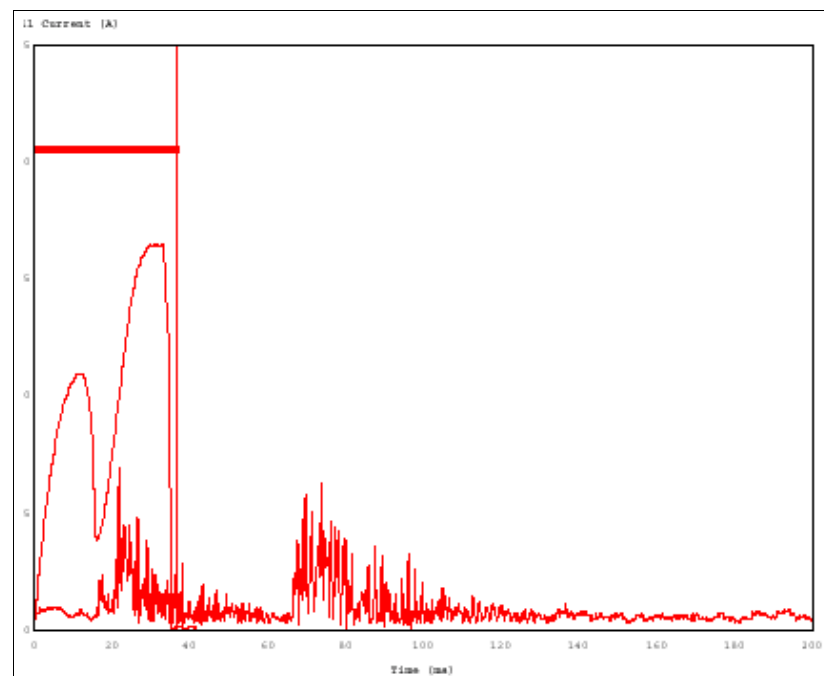
Kelmans accelerometer var placerad på brytartruckens högra ramdel ca 60 cm från överkant. Bild: Vattenfall Utveckling.

Uppmätt vibrationssignal samt spolström och tid vid till- respektive frånmanöver (T-fas, höger).

Tillmanöver



Frånmanöver



D.5 Hagby (SvK)

Brytare: Asea HLR 420/2504E2/1, m-don BLG 352 (oljemin)

Serienr: 7305980 A (R-fas)

7305980 B (S-fas)

7305980 C (T-fas)

Serienr. m-don: 7305981 (R-fas)

7305982 (S-fas)

7305983 (T-fas)

Litt: CL S6-S

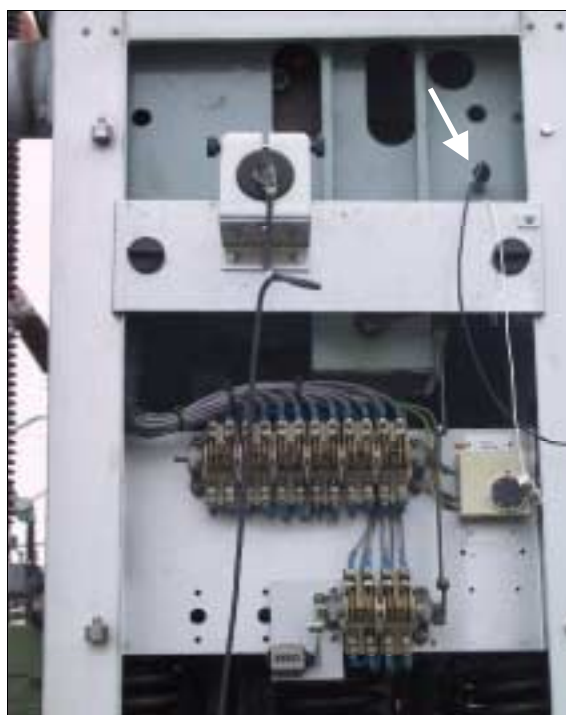
Tidpunkt: 2001-05-21

Brytaren ej spänningssatt. Ingen mätning på spänningssatt brytare.

Brytare med ett separat manöverdon för varje fas.



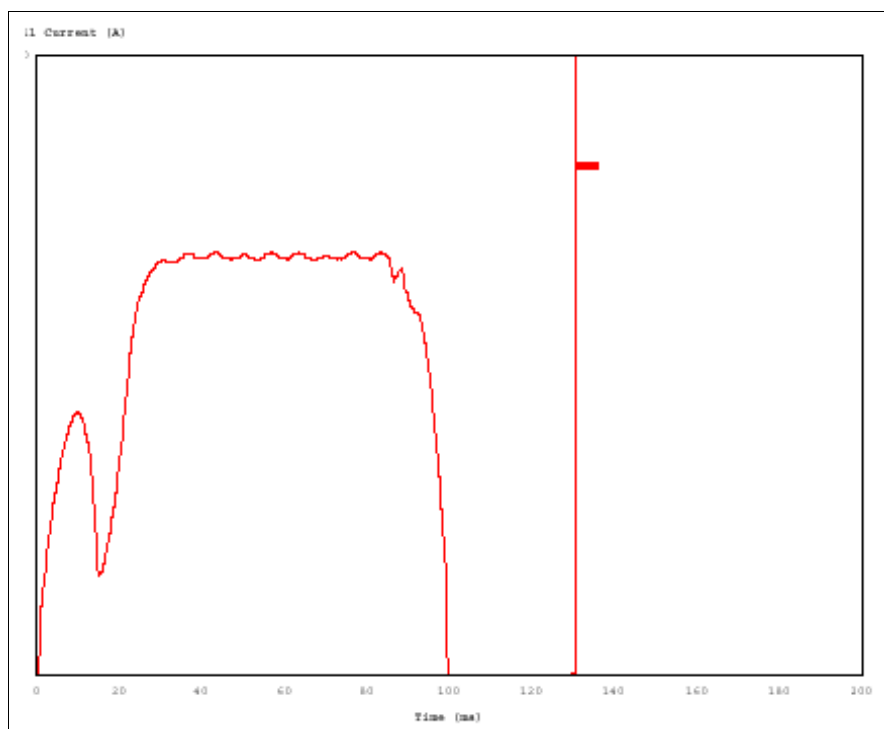
Uppkoppling av Kelmans mätutrustning. Strömtången var placerad vid tillslags- och frånslagsmagnetens återledare. Bild: Vattenfall Utveckling.



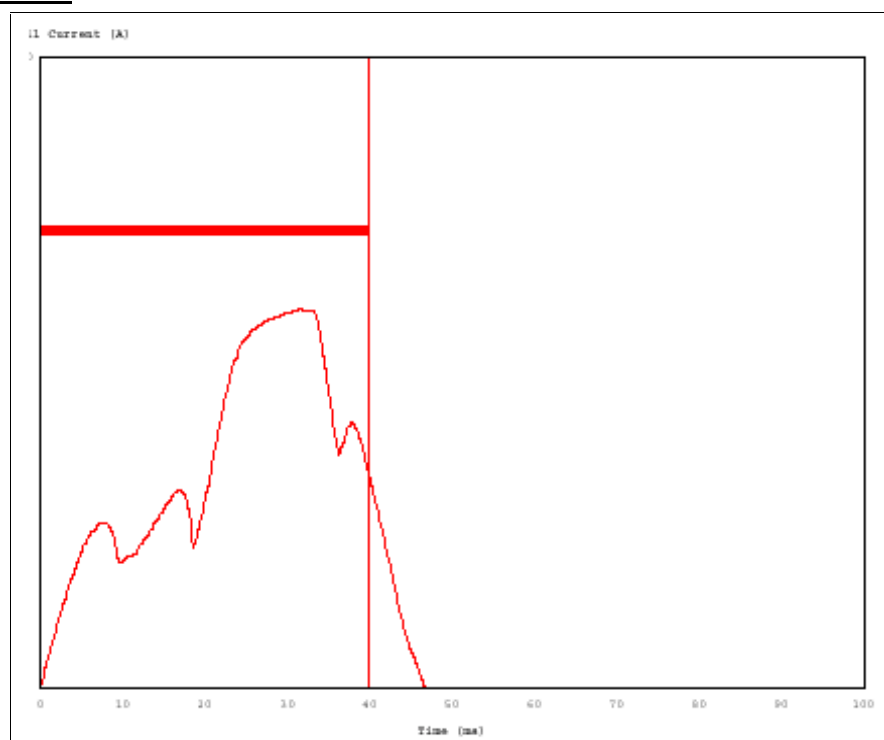
Kelmans accelerometer var placerad vid pilen. Bild: Vattenfall Utveckling.

Uppmätt spolström och tid vid till- respektive frånmanöver i T-fas. Vibrationsmätningen misslyckades p g a trasig accelerometer.

Tillmanöver



Frånmanöver



D.6 Bredäng (Birka Nät)

Brytare: Asea HLR 245/2004 A3, m-don BLG 302 (oljemin)

Serienr: 2190 676A (fas R)

” B (fas S)

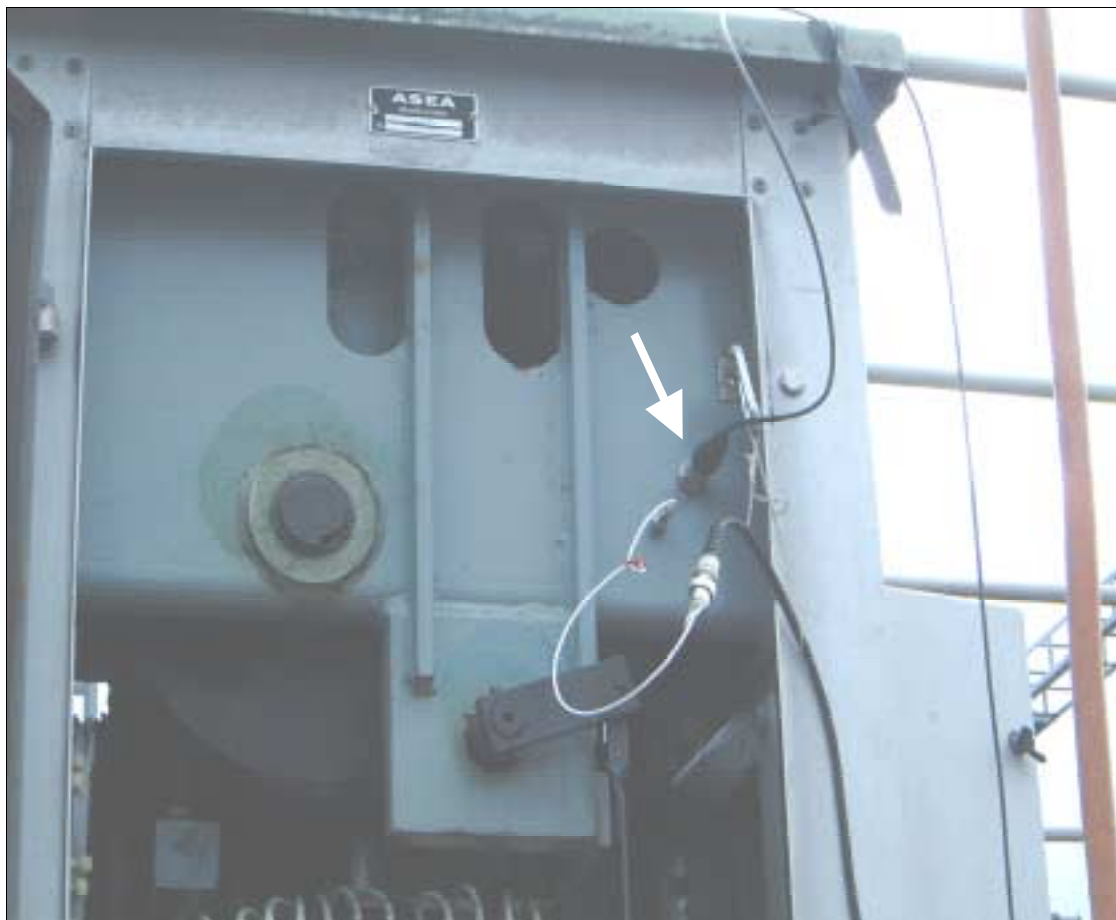
” C (fas T)

Litt: T204-220-S

Tidpunkt: 2001-05-21

Brytaren ej spänningssatt. Ingen mätning på spänningssatt brytare.

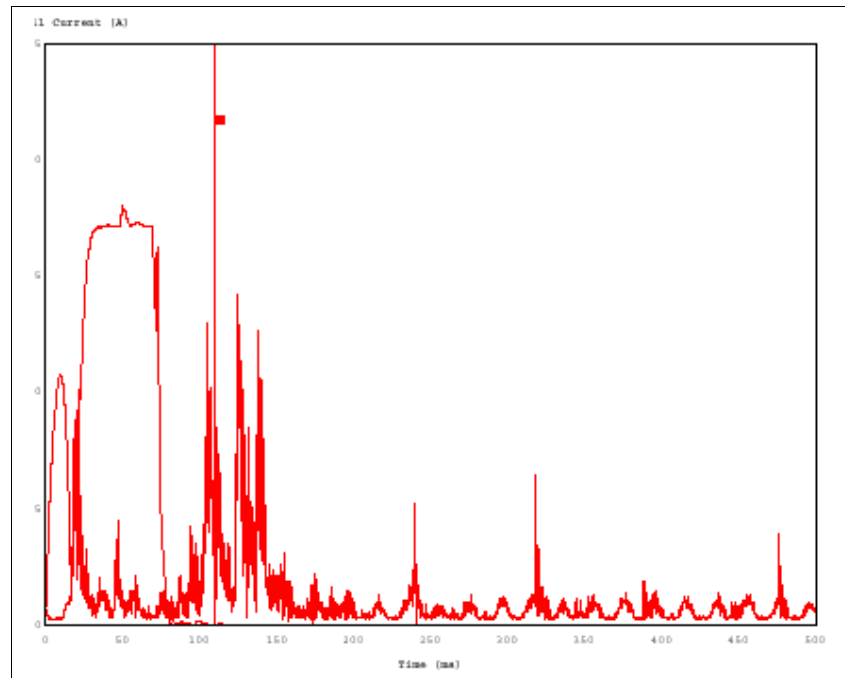
Brytare med ett separat manöverdon för varje fas.



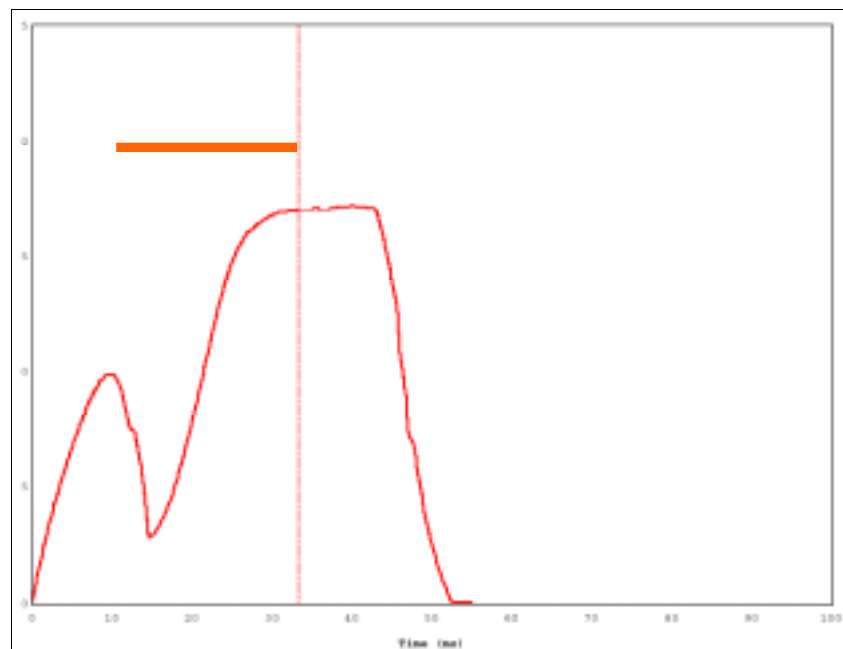
Kelmans accelerometer var placerad vid pilen. Bild: Programma Electric.

Uppmät vibrationssignal samt spolström och tid vid till- respektive frånmanöver i R-fas (grön).

Tillmanöver



Frånmanöver



(Vibrationsmätningen misslyckad och vibrationssignal redovisas ej.)

D.7 Tågarp (Sydkraft)

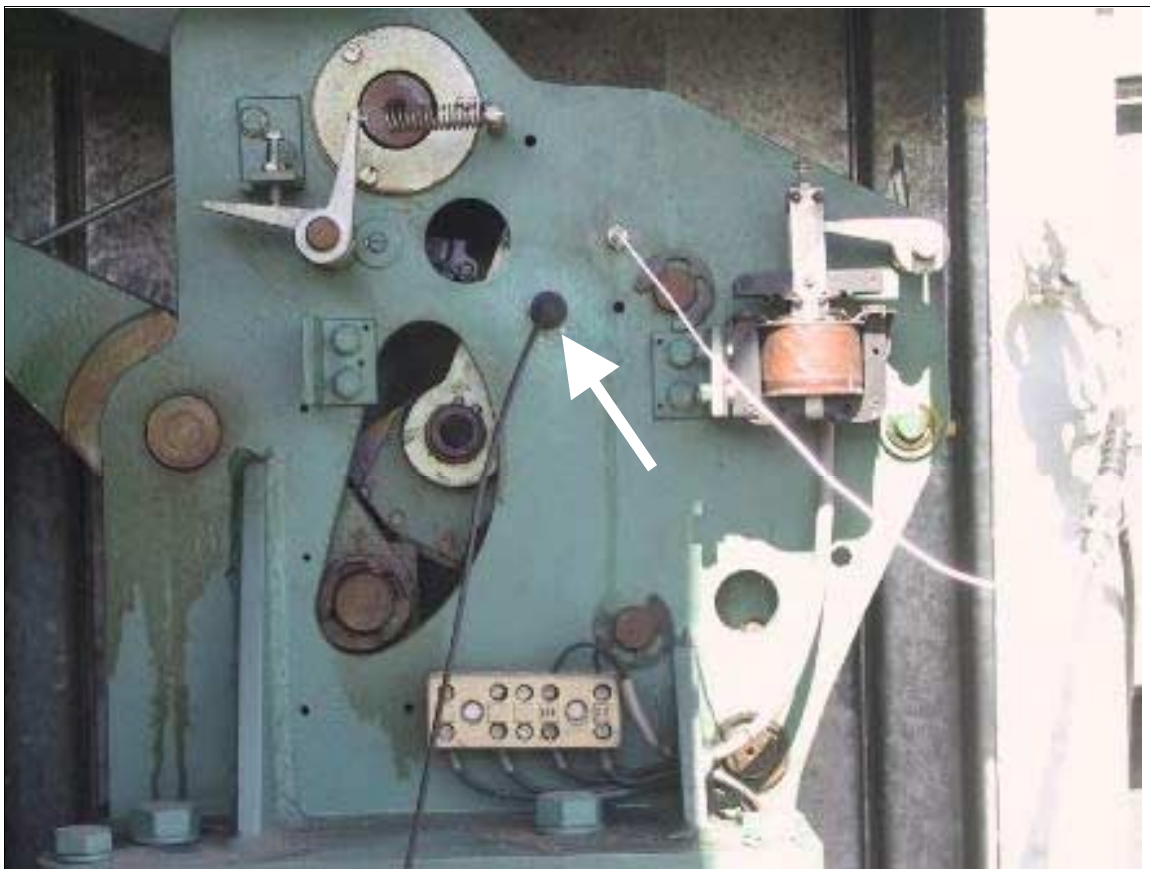
I Tågarp provades två brytarobjekt.

1. Brytare: Asea HKEYC 60/1600 50 kV, m-don BHFYE 674 (oljemin)
Serienr: 2120158 Litt: B504

Tidpunkt: 2001-06-12

Brytaren ej spänningssatt. Ingen mätning på spänningssatt brytare.

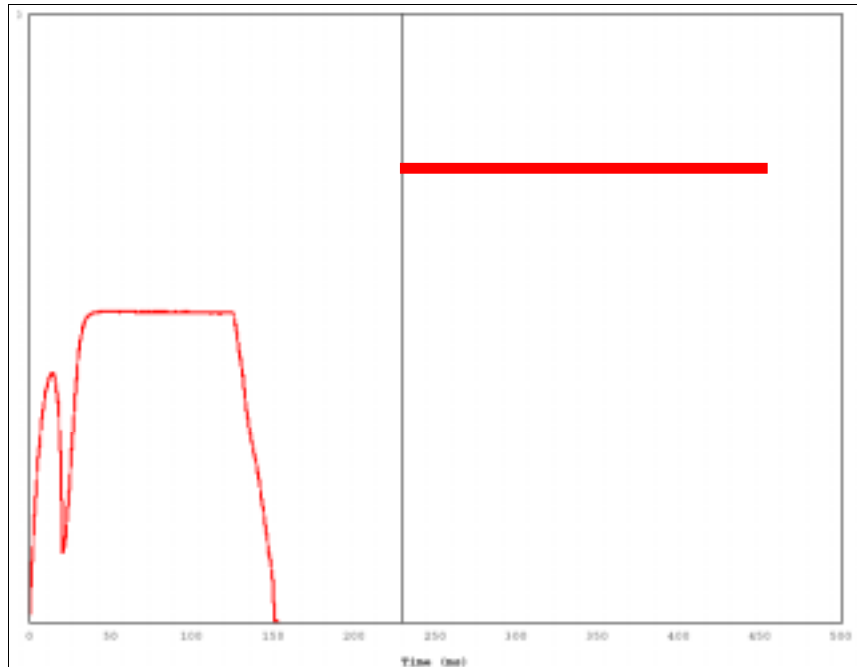
Brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna.



Kelmans accelerometer var placerad vid pilen. Bild: Vattenfall Utveckling.

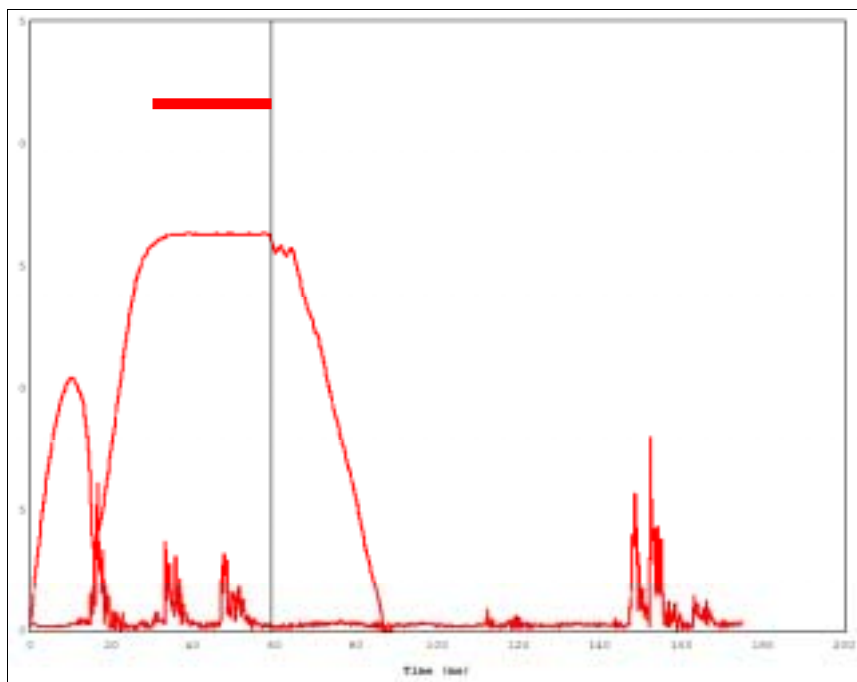
Uppmätt vibrationssignal och spolström och tid vid till- respektive frånmanöver i R-fas (L1).

Tillmanöver



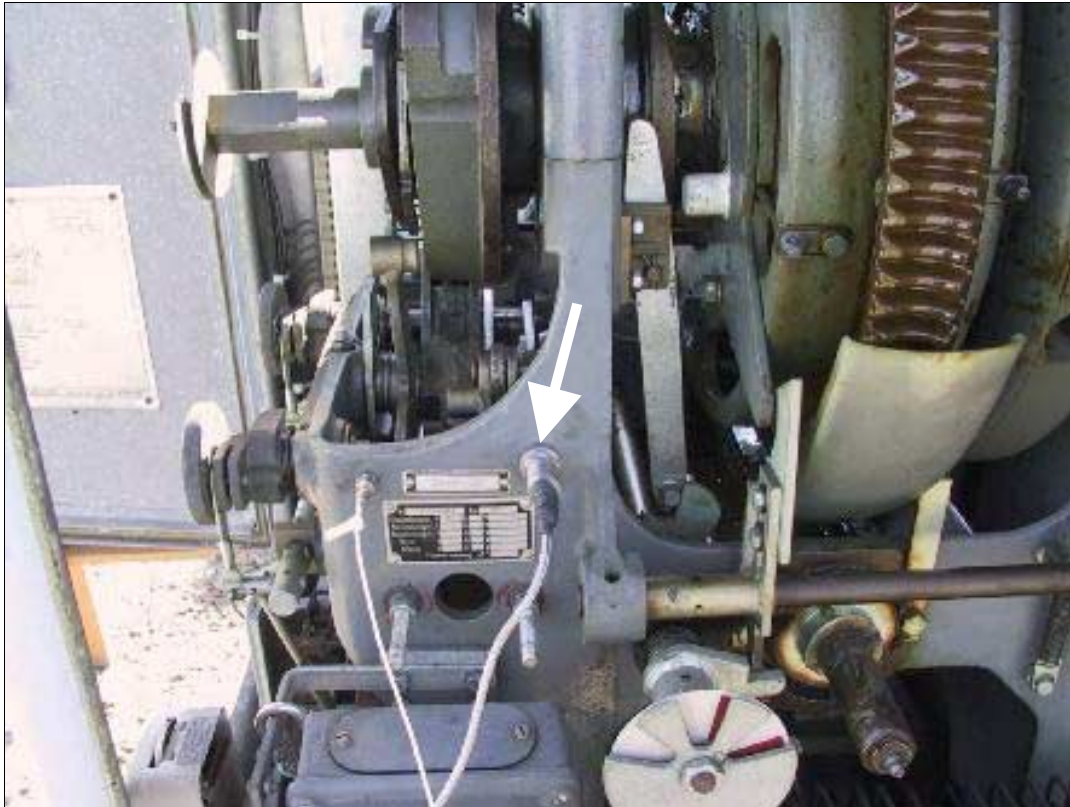
(Vibrationsmätningen ej lyckad.)

Frånmanöver

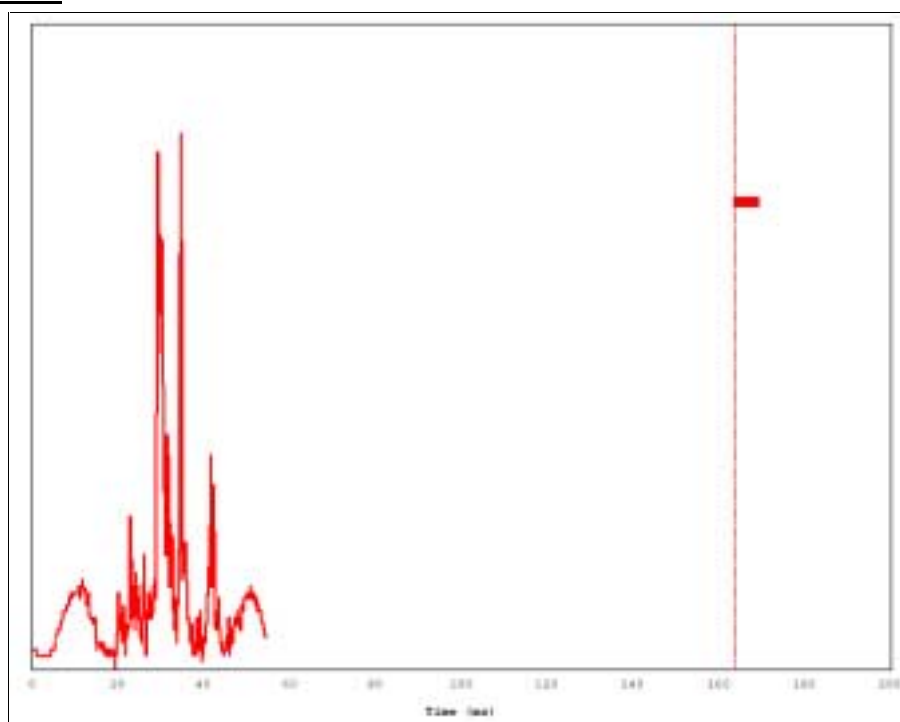
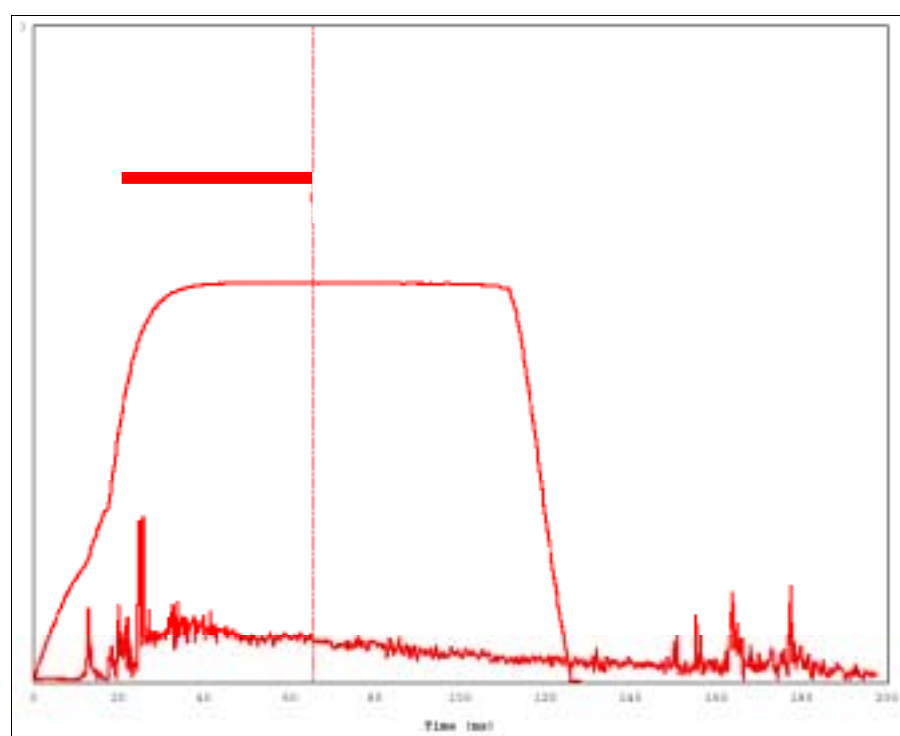


2. Brytare: Oerlikon TOFQ 6012 60 kV (oljemin)
Serienr: 990050H013 Litt: B506
Tidpunkt: 2001-06-13

Brytaren ej spänningssatt. Ingen mätning på spänningssatt brytare.
Brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna.



Kelmans accelerometer var placerad vid pilen, Bild: Vattenfall Utveckling.

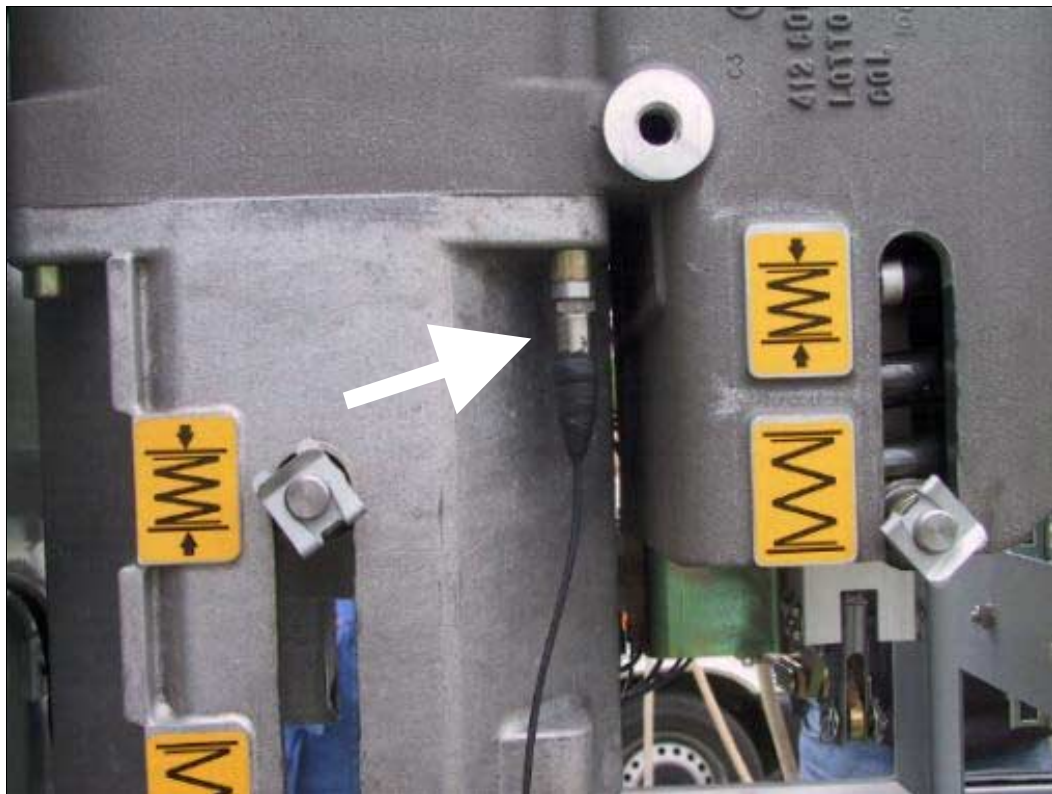
Tillmanöver**Frånmanöver**

D.8 Tälle (Vattenfall Östnät)

Brytare: **Siemens 3AP1 FG 145 kV (SF₆)**
Serienr: 01/35053473, Litt: AC-130-S, Nyinstallerad
Tidpunkt: 2001-06-18

Brytaren ej spänningssatt.

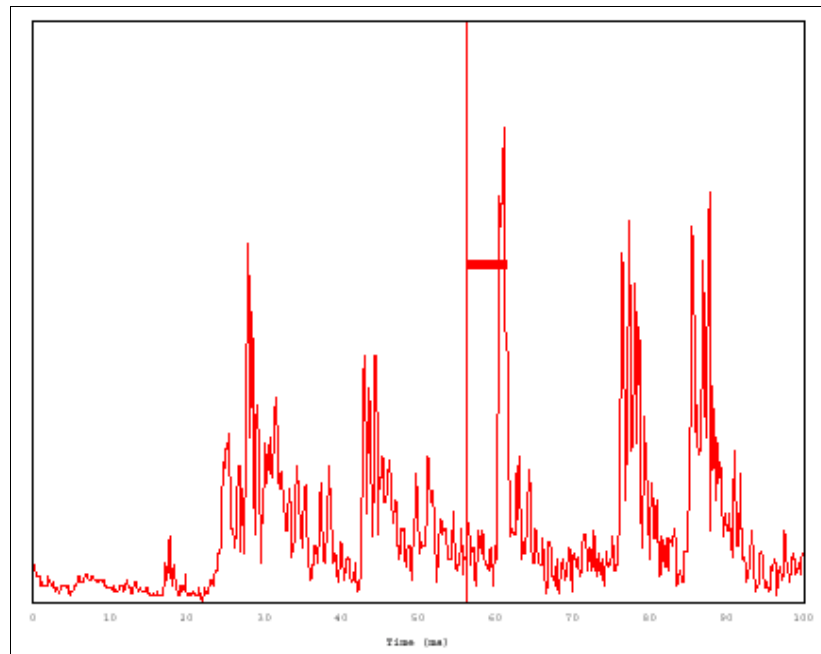
Brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna.



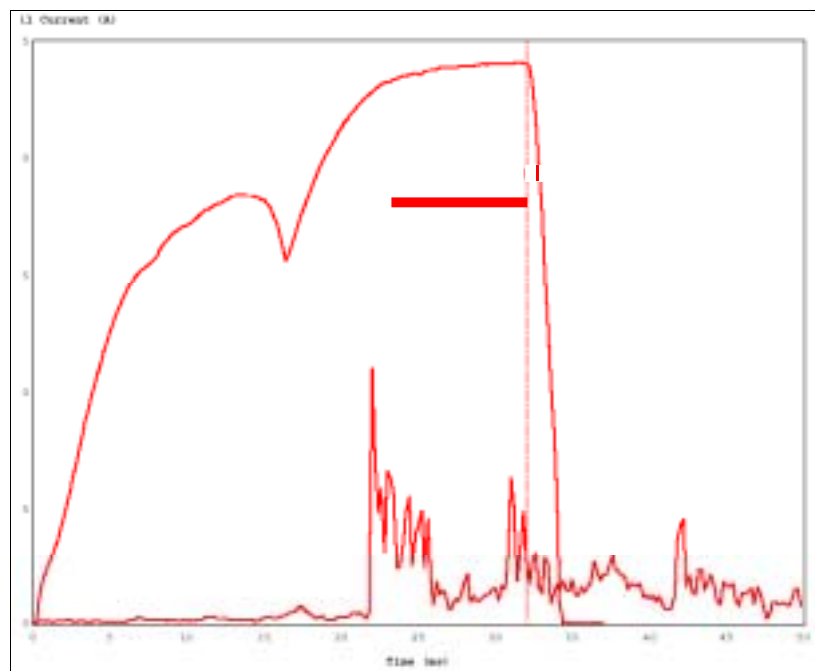
Kelmans accelerometer var placerad vid pilen. Bild: Vattenfall Utveckling.

Uppmätt vibrationssignal samt spolström och tid vid till- respektive frånmanöver i S-fas.

Tillmanöver



Frånmanöver



D.9 Hässelby Villastad (Birka Nät)

Brytare: **Calor Emag OD3M 12 kV (oljemin)**

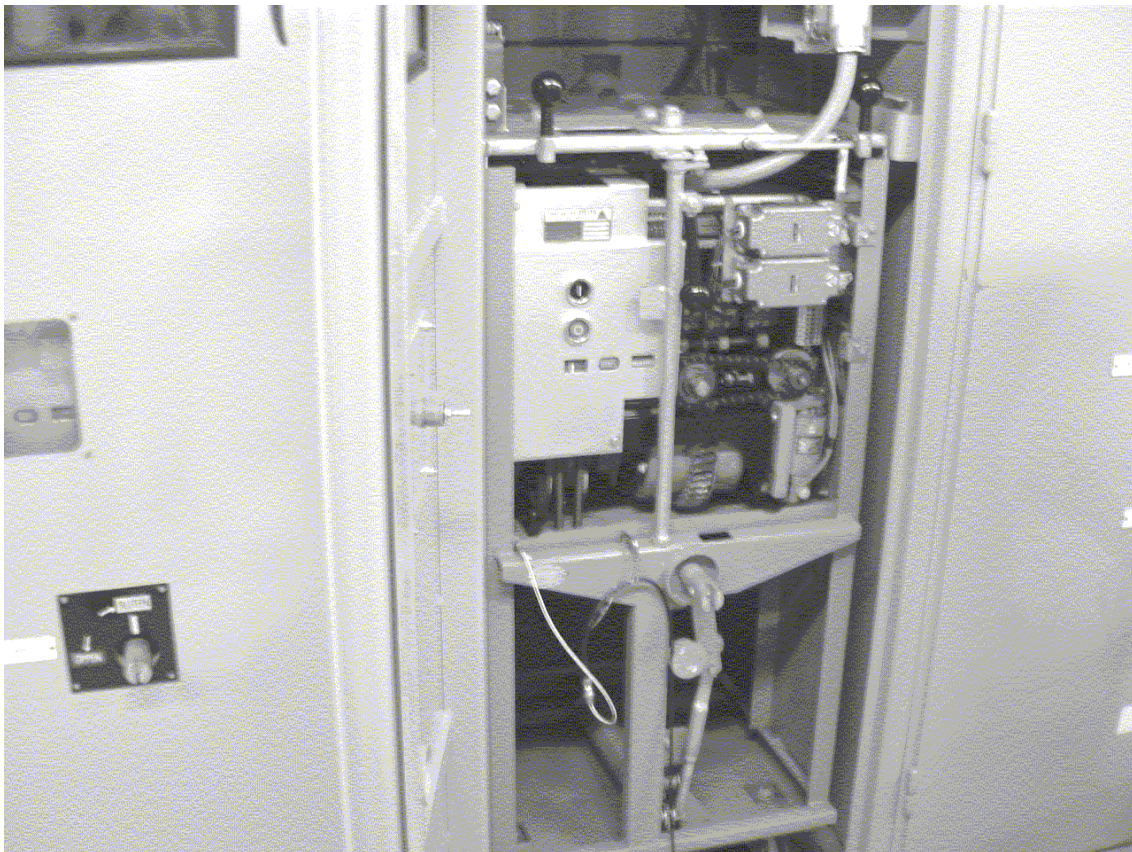
Serienr: 5240108

Delta-ställverk

Tidpunkt: 2001-10-04

Brytaren spänningssatt.

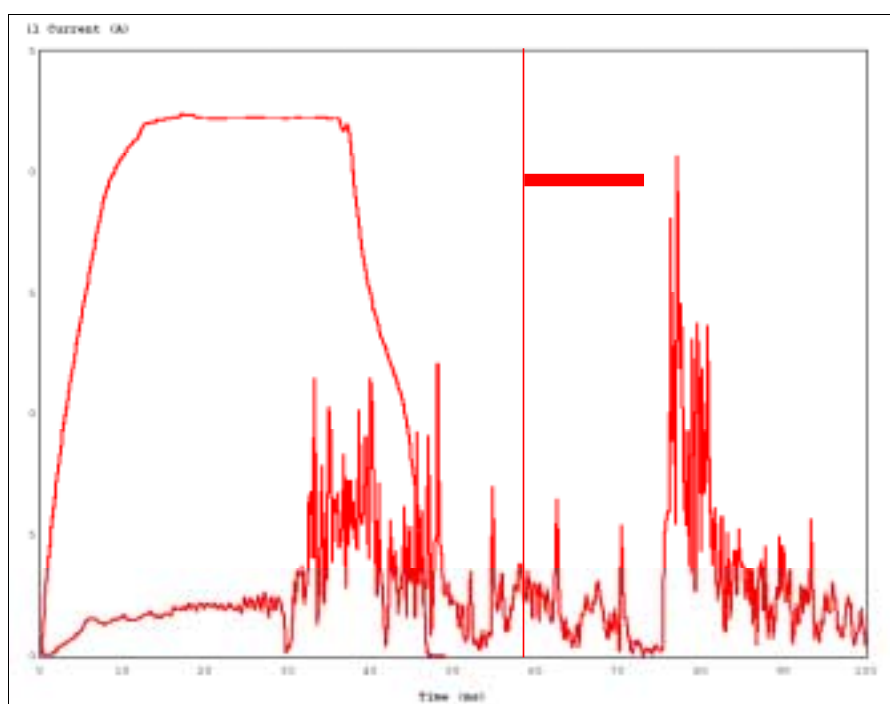
Brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna.



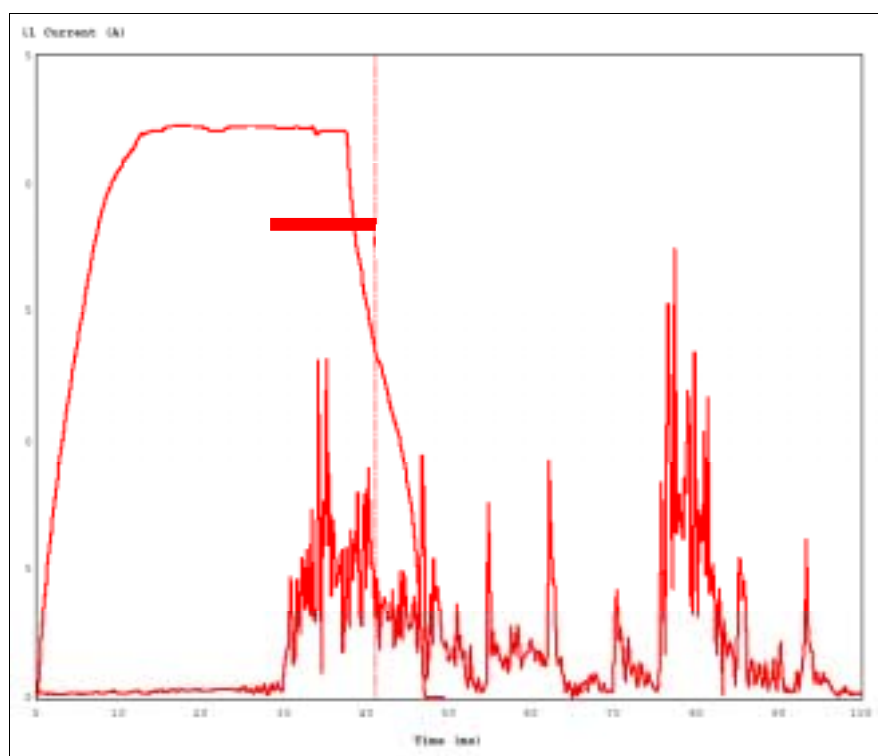
Kelmans accelerometer (ej med på bilden) var placerad vid pilen och till höger om Programmas accelerometer. Bild: Programma Electric.

Uppmätt vibrationssignal samt spolström och tid vid till- respektive frånslag i T-fas.

Tillmanöver



Frånmanöver



D.10 Skanstull (Birka Nät)

I Skanstull provades två brytarobjekt. En EK-brytare och en kabelbrytare.

1. EK-brytare

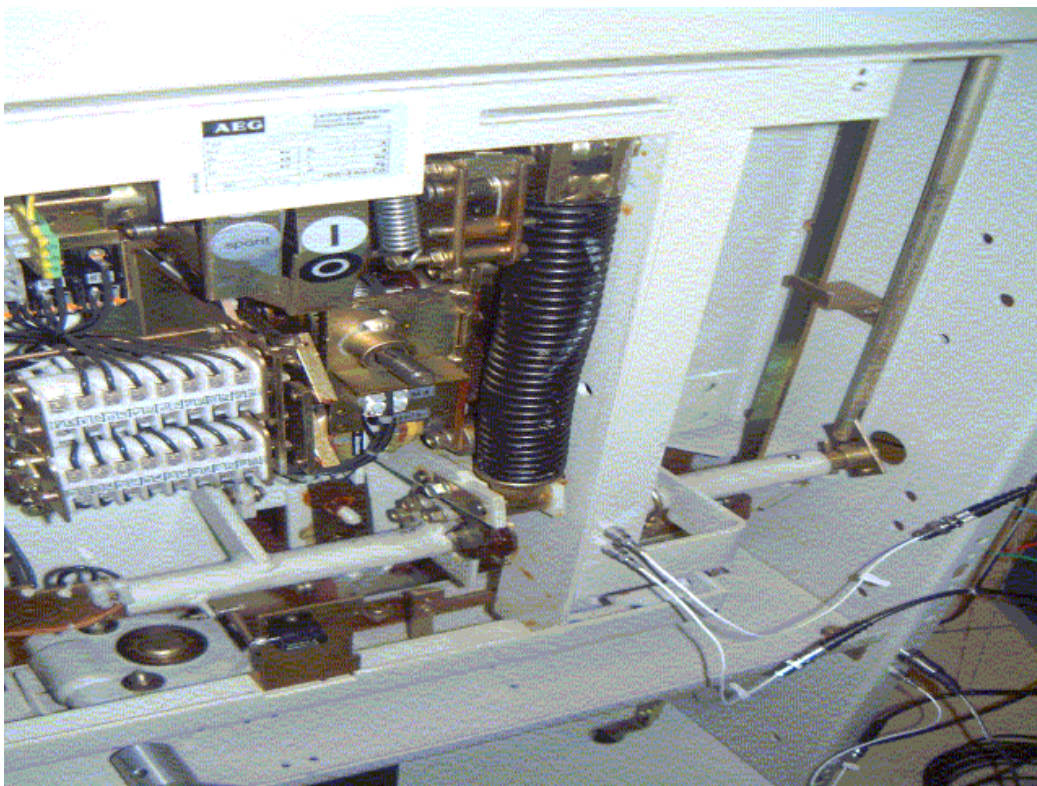
Brytare: **AEG VA5012/36-1 33 kV (vakuum)**

Serienr: 419401

Tidpunkt: 2001-11-15

Urtagen shunt-kondensatorbrytare (EK-brytare).

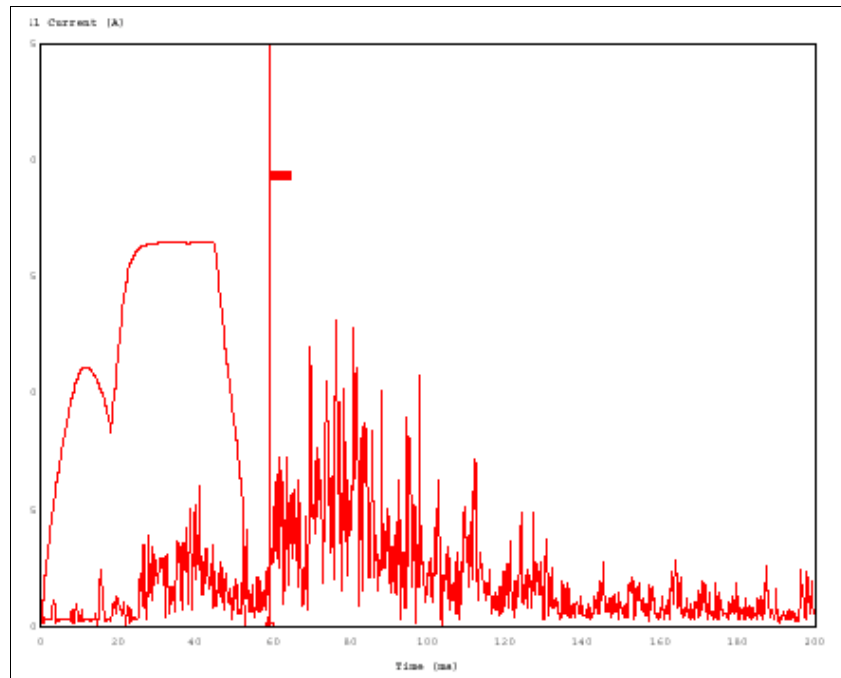
Brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna.



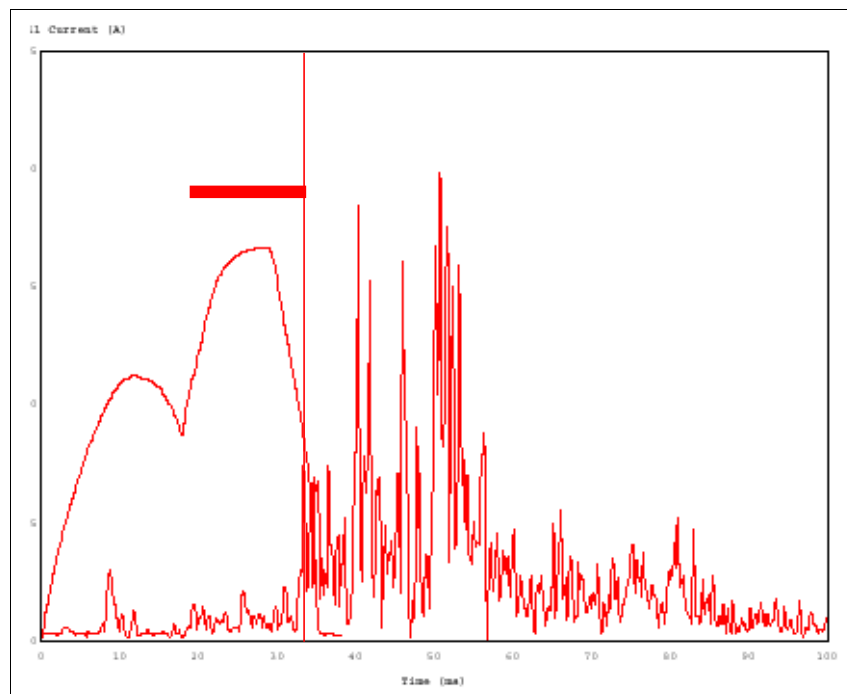
Placering av Kelmans accelerometer, vid pilen. Bild: Programma Electric.

Uppmätt vibrationssignal samt spolström och tid vid till- respektive frånmanöver i T-fas.

Tillmanöver



Frånmanöver



(Tidmätningen ej lyckad och därför ej redovisad.)

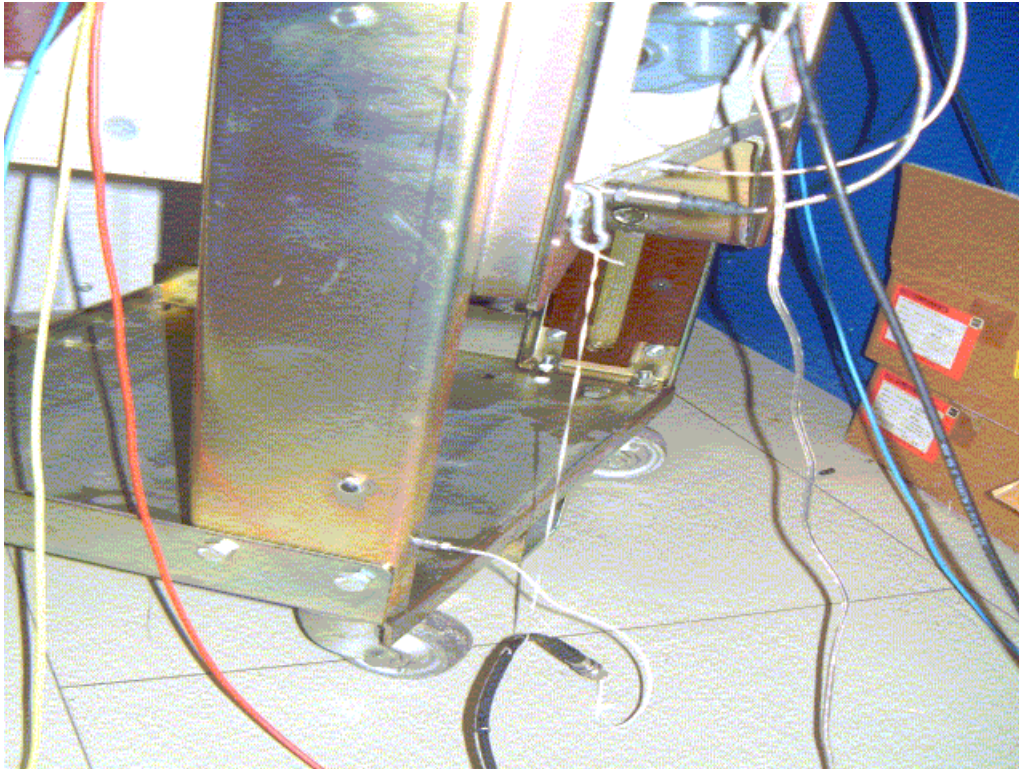
2. Kabelbrytare

Brytare: **Calor Emag VD4M 1280 P25KU 10 kV**
Serienr: 5740722/360/88 (vakuum)

Tidpunkt: 2001-11-15

Urtagen kabelbrytare.

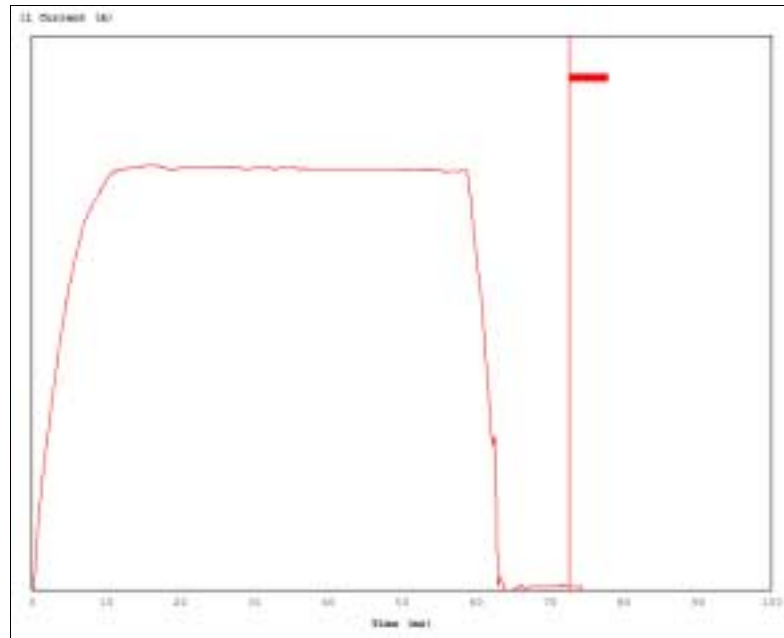
Brytare med ett gemensamt manöverdon för alla tre faserna.



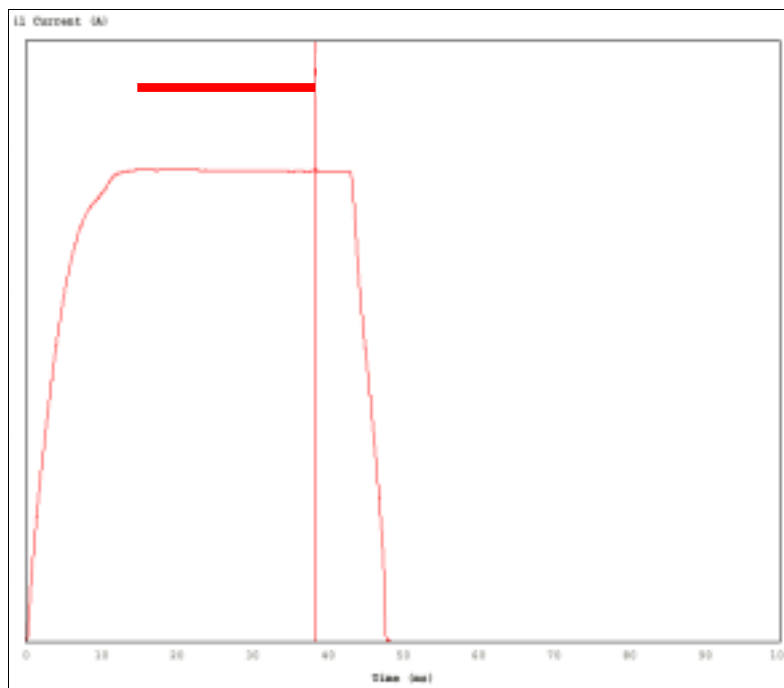
Placering av Kelmans accelerometer, vid pilen. Bild: Programma Electric.

Uppmätt spolström och tid vid till- respektive frånmanöver i T-fas. Inga vibrationssignaler redovisas p g a defekt accelerometer.

Tillmanöver



Frånmanöver



D.11 Hamra (SvK)

I Hamra provades båda shunt-reaktorbrytarna.

1. Ordinarie shunt-reaktorbrytare X13-A-S

Brytare: **Sprecher Energie HGF 116/2B, m-don FKF 2-6 (SF₆)**

Serienr: 2126169/1A (R-fas)

2126169/1B (S-fas)

2126169/1C (T-fas)

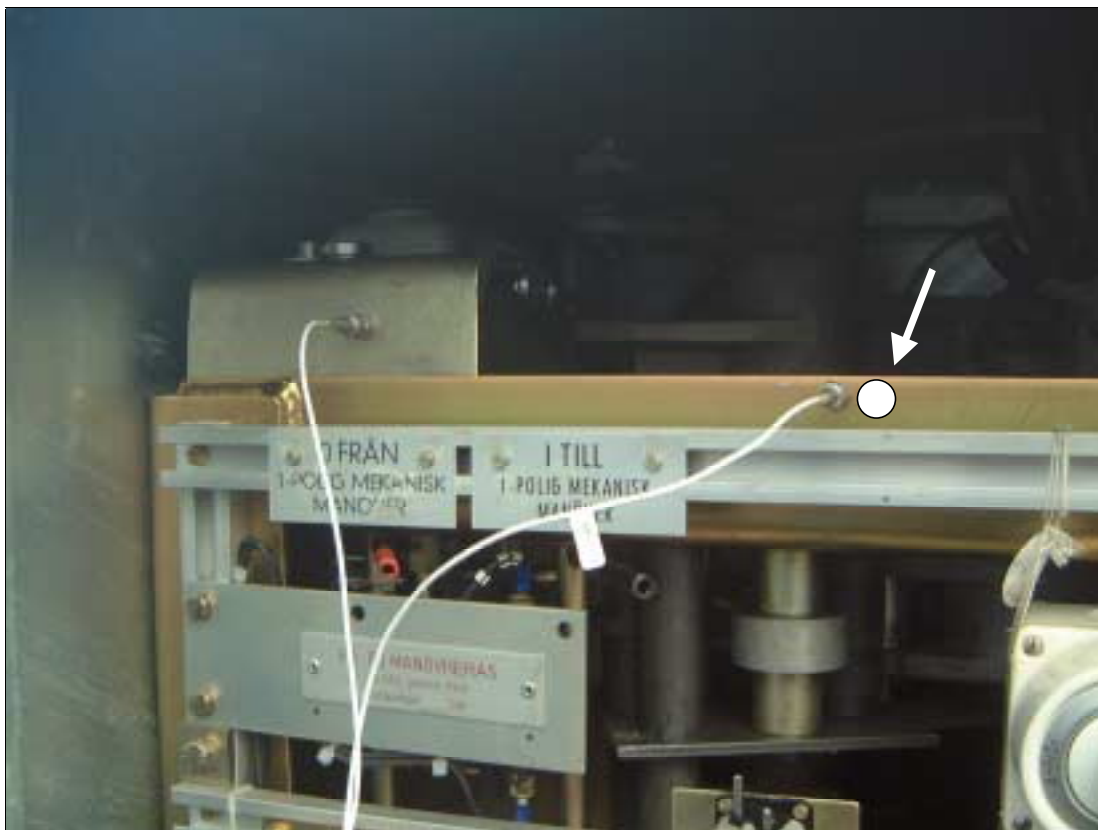
Serienr. för m-don lika som för brytarpolerna.

Litt: X13-A-S

Tidpunkt: 2001-11-22

Brytaren ej spänningssatt. Ingen mätning på spänningssatt brytare.

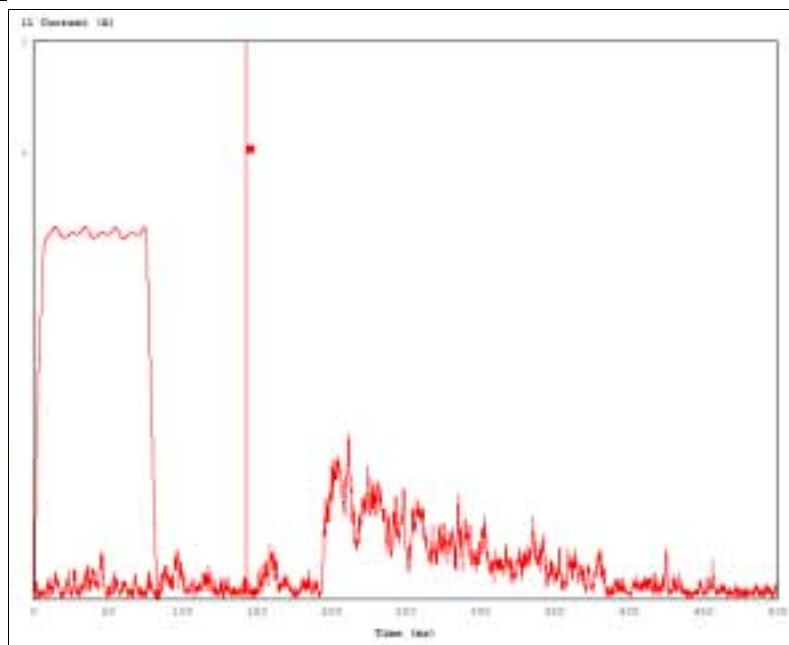
Brytare med ett separat manöverdon för varje fas.



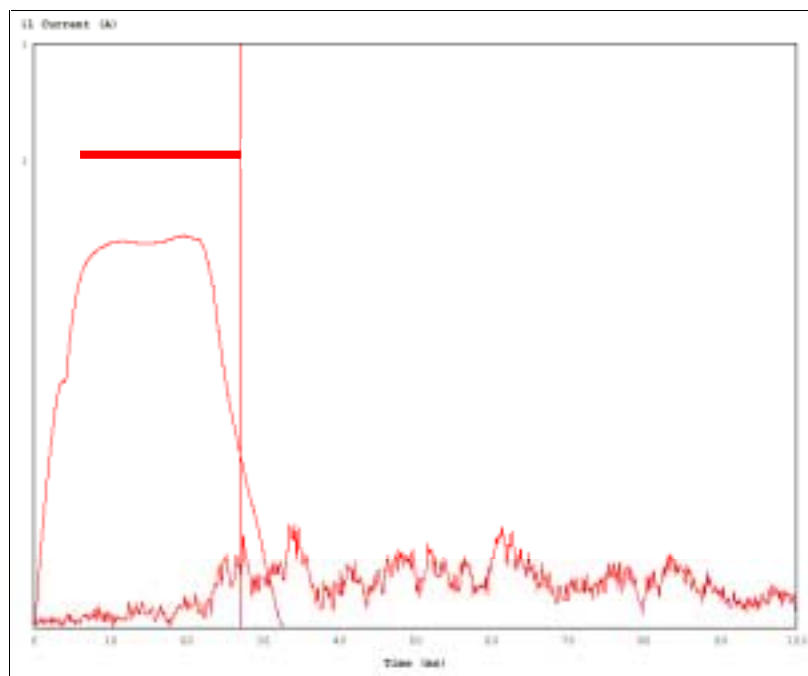
Kelmans accelerometer var placerad vid pilen. Placeringen motsvarar position 2 vid Programmas mätningar. Bild: Programma Electric.

Uppmätt vibrationssignal samt spolström och tid vid till- respektive frånmanöver i S-fas (grön).

Tillmanöver



Frånmanöver



2. Reserv shunt-reaktorbrytare X13-B-S

Brytare: **ABB HPL 420/31B2, m-don BLG 1002 400 kV (SF₆)**

Serienr: **7810577 A (T-fas)**

7810577 B (S-fas)

7810577 C (R-fas)

Serienr. m-don: **7810578 (R-fas)**

7810579 (S-fas)

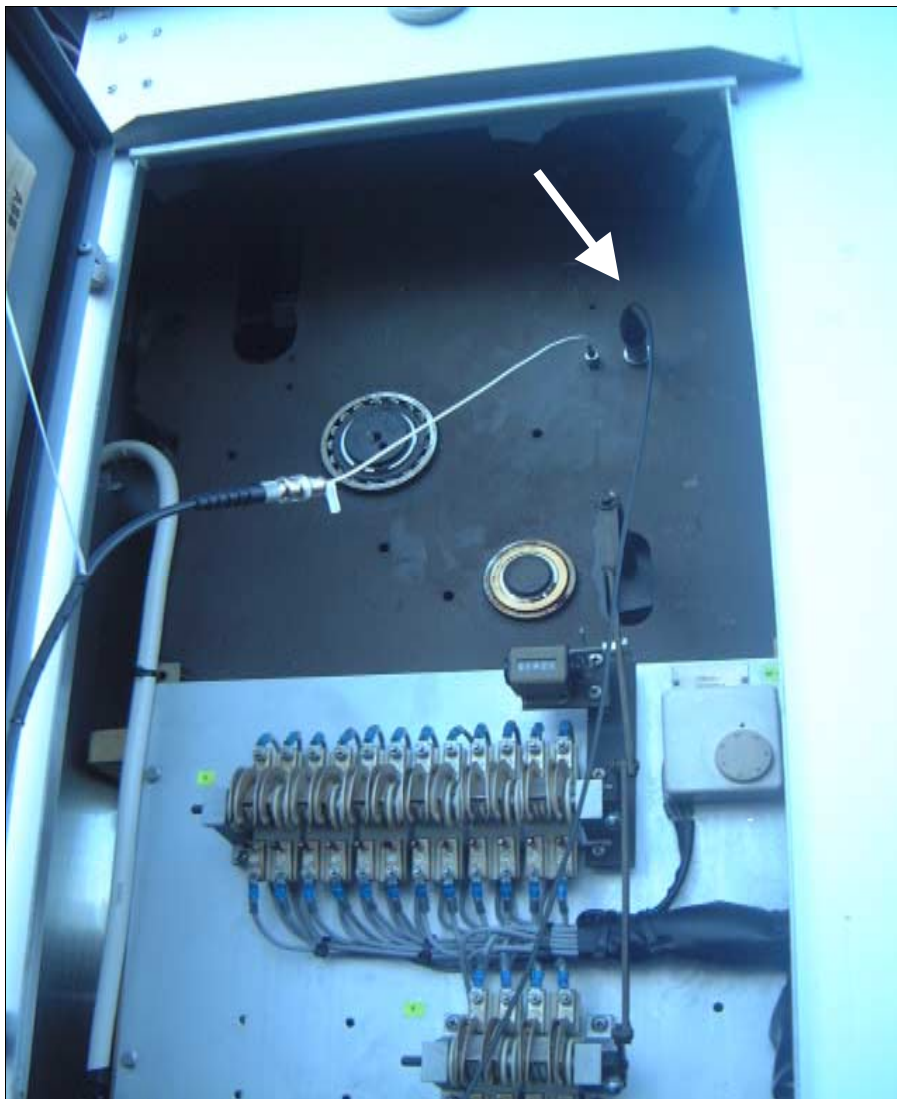
7810580 (T-fas)

Litt: X13-B-S

Tidpunkt: 2001-11-22

Brytaren ej spänningssatt.

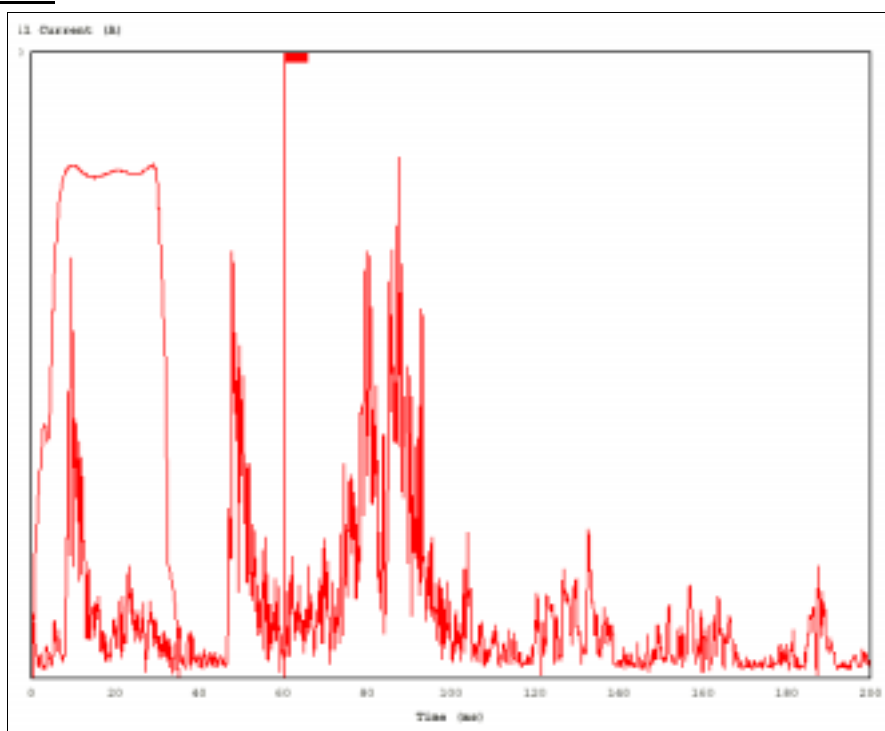
Brytare med ett separat manöverdon för varje fas.



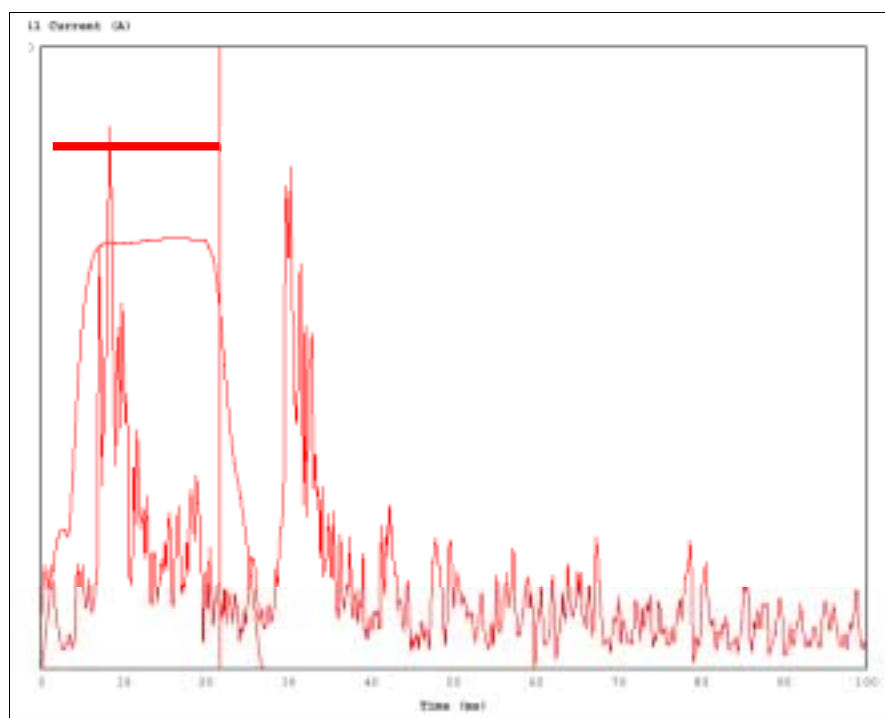
Placering av Kelmans accelerometer, vid pilen. Bild: Programma Electric.

Uppmätt vibrationssignal samt spolström och tid vid till- respektive frånmanöver i S-fas.

Tillmanöver



Frånmanöver



E Tolkning av uppmätt strömkurva på en frånslagsmagnet (Programma)

Interpretation of Circuit Breaker Operating Coil Signatures

W. E. Dueck
Programma Electric AB

Abstract

In order to determine where attention should be concentrated to achieve satisfactory circuit breaker performance and reliability the maintainer has a number of analytical tools available. One analytical tool is the circuit breaker operating coil signature. This paper will present the interpretation of trip current signatures.

I. INTRODUCTION

Circuit breaker bearings present special problems because they remain static for long periods of time. This is particularly the case with toggle linkages. In order to reduce the force required to trip a circuit breaker finer toggle angles are used. This results in an increase in friction at the pivot points. The maintainer of a circuit breaker must ensure that the gross increase in friction at the pivots, due to corrosion and dirt or slight misalignment is minimal.

The operating frequency requirements of circuit breaker vary considerably. Low voltage circuit breakers, particularly in processing plants, may have a frequency of operation akin to that of contactors. Even high voltage circuit breakers used to control generators, which are switched several times a day to meet load requirements, may be required to operate several hundred times per year. Generally, however, the problem is that a circuit breaker is not operated often enough. It may remain closed for days, weeks or even months on end. The static loading on bearings causes the lubrication to be displaced so that the bearing ultimately reaches a state of zero lubrication, friction and stiction is then very high resisting initial movement. Greases and oils tend to increase in viscosity with temperature reduction and some solidify with time and lack of movement.

A method which is used to determine if trip latches are functioning correctly is to compare the current signature of trip coil from successive tests conducted during the life of the circuit breaker.

II. CIRCUIT BREAKER MECHANISMS

There are number of different types of circuit breaker operating mechanisms. The most common are;

- a) Power closed from an external source and spring opened, and
- b) Power closed and power opened from an external source.

All of the mechanisms have one common feature; they must permit the safe opening of a circuit breaker following the application of a trip impulse, even if the impulse occurs during the closing operation. In order to do so the mechanisms are designed to be mechanically trip-free. Trip-free mechanisms consist of two parts;

- a) A closing element and a holding latch or toggle, and
- b) A collapsible yet resettable linkage associated with a tripping mechanism and latch.

Figure 1 illustrates the schematic arrangement of a trip-free mechanism coupled to a solenoid operated closing mechanism.

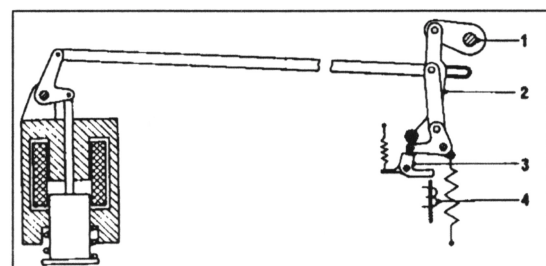


Figure 1

Legend

1. Circuit breaker trip shaft
2. Toggle
3. Trip latch
4. Trip actuator

The energy required to trip a circuit breaker is the sum of;

- a) the kinetic energy required to accelerate the masses of the moving parts of the circuit breaker,
- b) the energy to overcome contact friction,
- c) the energy to overcome mechanism friction, and
- f) the energy to overcome the friction imposed by the interrupting medium.

A common trip mechanism is illustrated in figure 2.

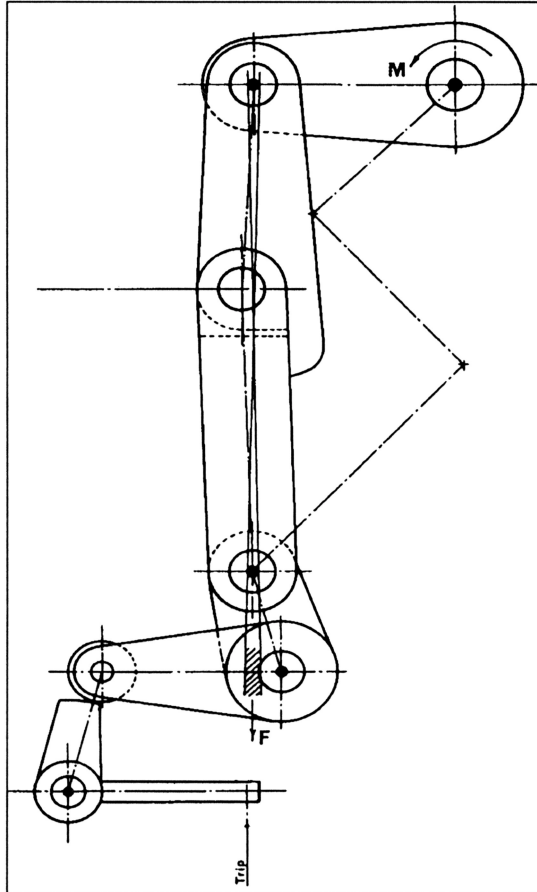


Figure 2

Legend

- M External torque on the trip shaft
- F Friction force
- Fixed points

It is important to minimize friction and ensure that a positive force is available to permit the linkage to collapse when a trip impulse is applied to the trip mechanism.

III. TRIP LATCHES

The trip latch is one of the most important features of the circuit breaker mechanism. The force and energy required to trip the latch are mainly dependent on the number of reduction linkages involved in the mechanism chain and on the type of latch used.

The energy available to trip the latch is determined by the overall features of the protective system. This energy is usually derived from an external source of energy like a battery connected via a tripping relay to an electromechanical actuator.

During the operation of a circuit breaker the loads on the latch vary. The loads are;

- a) shock load,
- b) static load imposed by the circuit breaker in the closed position, and
- c) dynamic variation in load during the closing of the circuit breaker.

The form of the latch and the material which are used to carry the loads must be chosen to meet the three conditions.

A fourth, and perhaps the most important condition which exists occurs when the latch disengages and the bearing load intensity becomes very large. The speed at which the latch operates must be very rapid. The time that the forces are applied to the latch will therefore be very short.

The three most common latching systems in use today are illustrated in figure 3. .

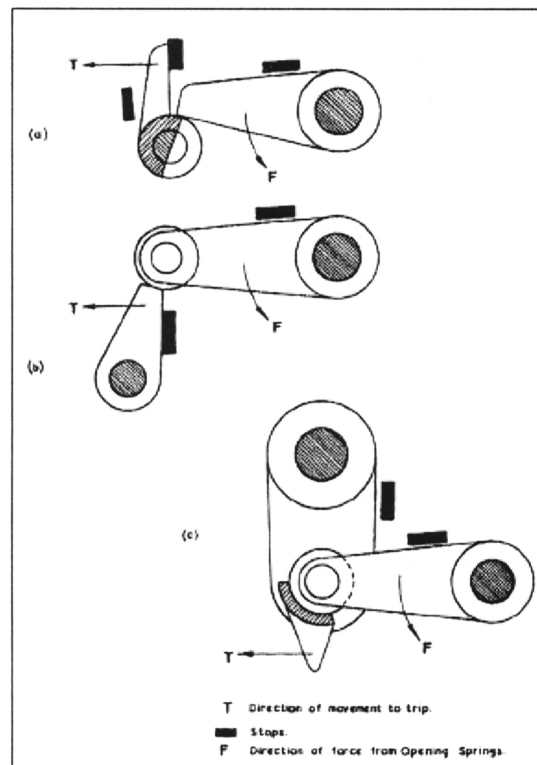


Figure 3

The trip latch system illustrated in figure 3a is known as a D shaft. The force on the D shaft does not usually exceed 70 kgm. The D shaft is turned against the stop and the sliding friction is associated with this force.

Figure 3b illustrates a roller latch which is loaded to about 140 kgm. To trip the latch, the cam must be turned against the rolling friction associated with the load.

Figure 3c illustrates a cradle latch. The design of the latch attempts to increase the area on the bearing face and reduce the angular movement of the part to be moved. This arrangement allows for an extremely large increase in the load on the latch, about 450 kgm, without increasing the tripping force or the energy. The result is a smaller number of parts in the trip mechanism.

IV. ELECTROMAGNETIC TRIP ACTUATORS

In order to release trip latches an electro magnetic actuator is employed. The most common is the shunt trip device that is illustrated in figure 4. The device is a simple solenoid utilizing an iron core. It is normally indirectly operated by a relay connected to a battery. The power requirement is usually in the order of 300 watts.

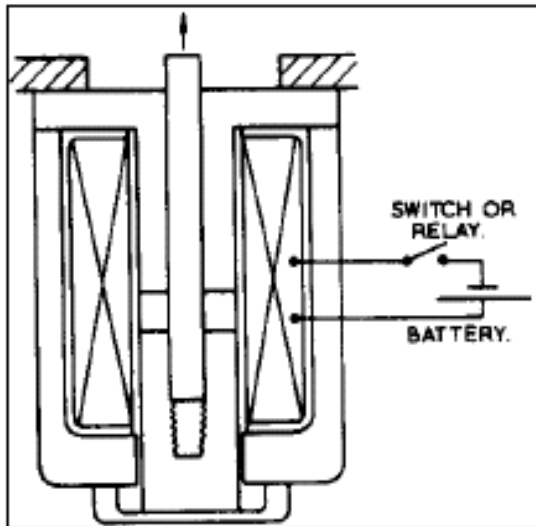


Figure 4

As figure 5 illustrates when a trip coil is energized and electrons flow in the circuit, a magnetic field forms in an around the coil. The electrons in the circuit take a short time to build up speed, and the magnetic field increases in extent and in the number of lines as the current increases.

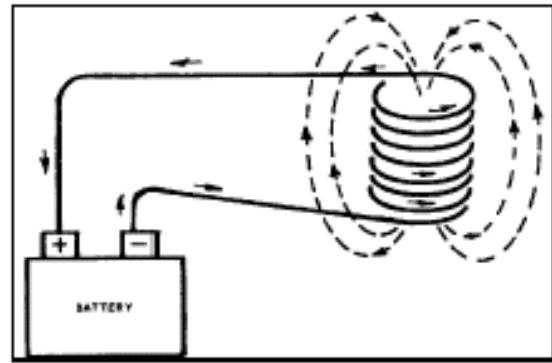


Figure 5

Figure 6 illustrates three successive views of the increasing field and indicates how it expands outward while the current increases.

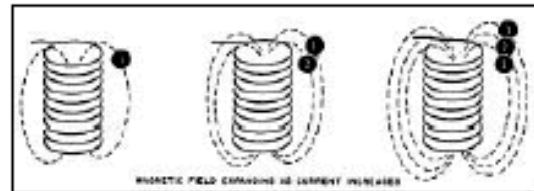


Figure 6

As the lines of force expand outward, originating from single wires, they cut across the other wires in the coil, producing an electromotive force in all turns of the coil. The induced electromotive force opposes the change that causes it. In this case the change is the start up of the current, so that the induced electromotive force opposes the electromotive force of the battery that is producing the current. The induced electromotive force produces no current by itself, but rather it hinders the generation of the current by the battery. This process usually takes a few milliseconds, depending upon the resistance of the coil.

Figure 7 is typical of the increase of current in a coil. When the coil is first energized the current rises rapidly at first and then more gradually when it approaches its final value.

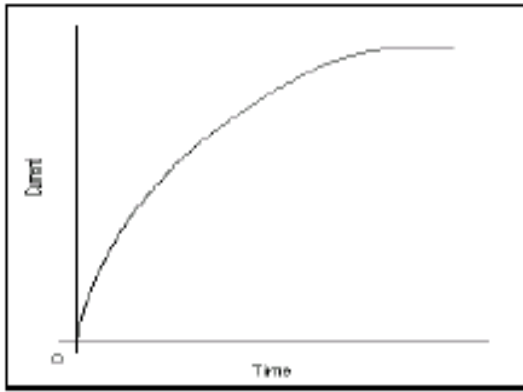


Figure 7

When the current in a coil, as illustrated in figure 8, is interrupted by opening a switch in series with the coil the magnetic field decays rapidly which in turn induces a high electromagnetic force for a brief period in time.

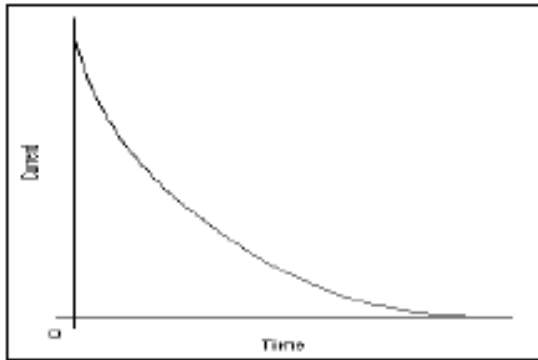


Figure 8

Figure 9 illustrates a typical current signature generated during the operation of a trip device.

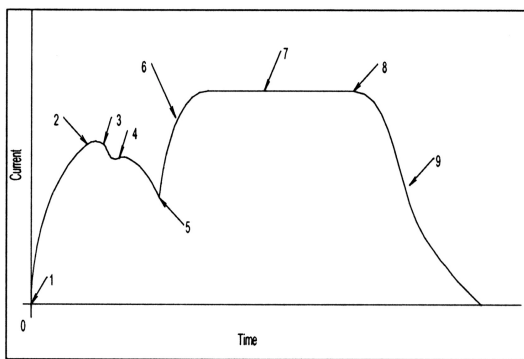


Figure 9

Legend

- 1 Trip coil energized
- 2-3 Armature travel
- 3-4 Armature operates trip latch
- 4-5 Armature completes its travel
- 5 Armature hits stop
- 6 Change in coil inductance
- 7 DC coil resistance

- 8 Auxiliary contact opens
- 9 Current decays

When a trip coil is first energized [1], current flows through its windings. The magnetic lines of force in the coil magnetize the iron core of the armature, in effect inducing a force in the armature. The current flowing through the trip coil increases to the point where the force exerted on the armature is sufficient to overcome forces, combined gravitational and friction, which may be exerted, pulling [2] it through the trip coil core.

The magnitude of the initial current [1-2] is proportional to the energy required to move the armature from its initial rest position. The movement of the iron core through the trip coil generates an electromagnetic force in the coil that in turn has an effect on the current flowing through it.

The armature operates the trip latch [2-3], which in turn collapses the trip mechanism [3-4]. The anomaly at [4] is the point where the armature momentarily stops when contact is made with the prop. More energy is required for the armature to resume motion and overcome the additional loading of the prop. The anomaly may be caused by degradation of the prop bearings, lubrication, changes in temperature, excessive opening spring force or mechanism adjustment. The armature completes its travel [4-5] and hits a stop [5].

Of interest is the curve [4-5]. As the armature moves from the point where the trip mechanism is unlatched [4] to the stop [5] the inductance of the coil changes. The curve is an indication of the speed of the armature. The steeper the curve the faster the armature is moving.

After the armature has completed its travel and has hit the stop [5], there is a change in current signature. The rate of rise of current depends on the change in the inductance of the coil.

The magnitude of the current [7] is dependent on the DC resistance of the coil.

The 'a' contact opens [8] to de-energies the trip coil and the current decays to zero [9].

V. CONCLUSION

The interpretation of circuit breaker operating coil signatures may provide information about the condition of the latching systems. It is the writer's opinion that, while the analysis of circuit breaker operating coil signatures is an important tool, it should be used in conjunction with other analytical

tools, such as timing, motion, travel, velocity, acceleration, dynamic resistance and vibration.

VI. REFERENCES

1. “Colloquium on Monitors and condition assessment equipment”. IEE 1996.
2. H.V. Stephanides et al, “Modern Methods for the Reduction of the Operating Energy for SF₆ Circuit Breakers”. CIGRE 13-12 1993.
3. H. Aeschbach et al, “Maintenance of SF₆ High Voltage Circuit Breakers”. CIGRE 23- 105 1990.

F Tolkning av uppmätta spolströmkurvor med Kelman Profile P1 (Kelman)

Följande exempel är hämtade från handledningen till Kelmans mätutrustning Profile P1+, och är redovisade i sitt originalutförande.

Increased Trip Latch Friction

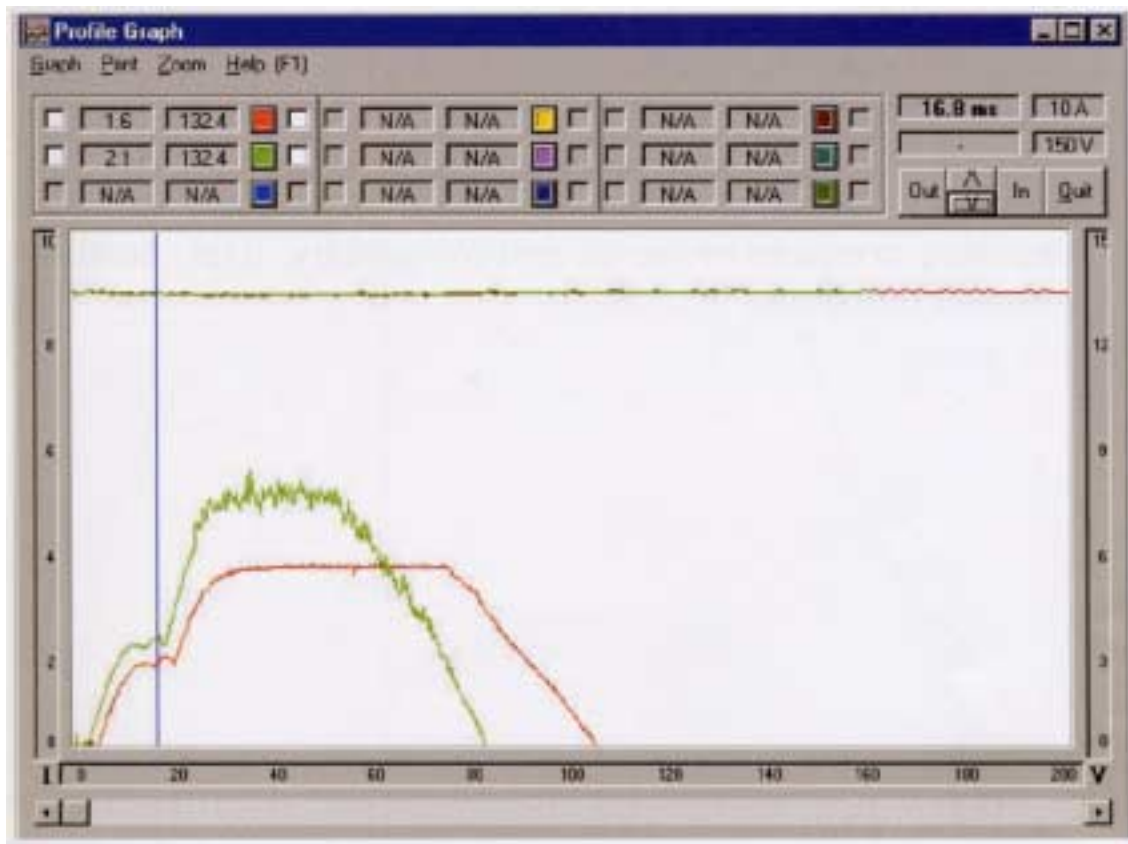


This example shows the effect of increasing friction the trip latch release mechanism of the breaker. Each millisecond of delay to the trip release point will cause the same delay in the main contact opening time. The breaker will therefore have a proportionally extended fault clearance time.

Notice that although the latch release time is delayed the actual mechanism velocity is not changed, i.e. once the trip latch is released the mechanism performs to spec. This is shown by the fact that the time difference between the latch release point and the time the 'a' contact drops out the trip coil remains constant at 52 ms.

This is typical of many problems in the field. It can be caused by a variety of problems, from mechanical wear to poor or incorrect lubrication. If left untreated the breaker will fail to trip in the near future. This type of problem is often first revealed by temperature extremes.

Burned-out Trip Coil



This example shows the trip coil profile caused by a semi-burned-out coil. The general form of the profile is valid for both trip and close coils. Arcing within the coil as the insulation is breaking down causes the noise superimposed on the normal profile.

The coil remaining energised for much longer than specified usually causes coil burnout. Since trip coils generally only conduct for a few milliseconds, continuous current can easily damage them. This type of fault is interesting for several reasons.

- The breaker operation (trip times and velocity) remains unchanged by this problem, until the breaker suddenly fails. Therefore a conventional timing test is unlikely to show this problem.
- The problem can be fixed by simply replacing the coil, however this ignores the likely cause of the coil damage. The root cause of this is probably a problem with the auxiliary contacts in the dc control circuitry. (Ref. Auxiliary contact problems).

Poor Contact in Trip Circuit

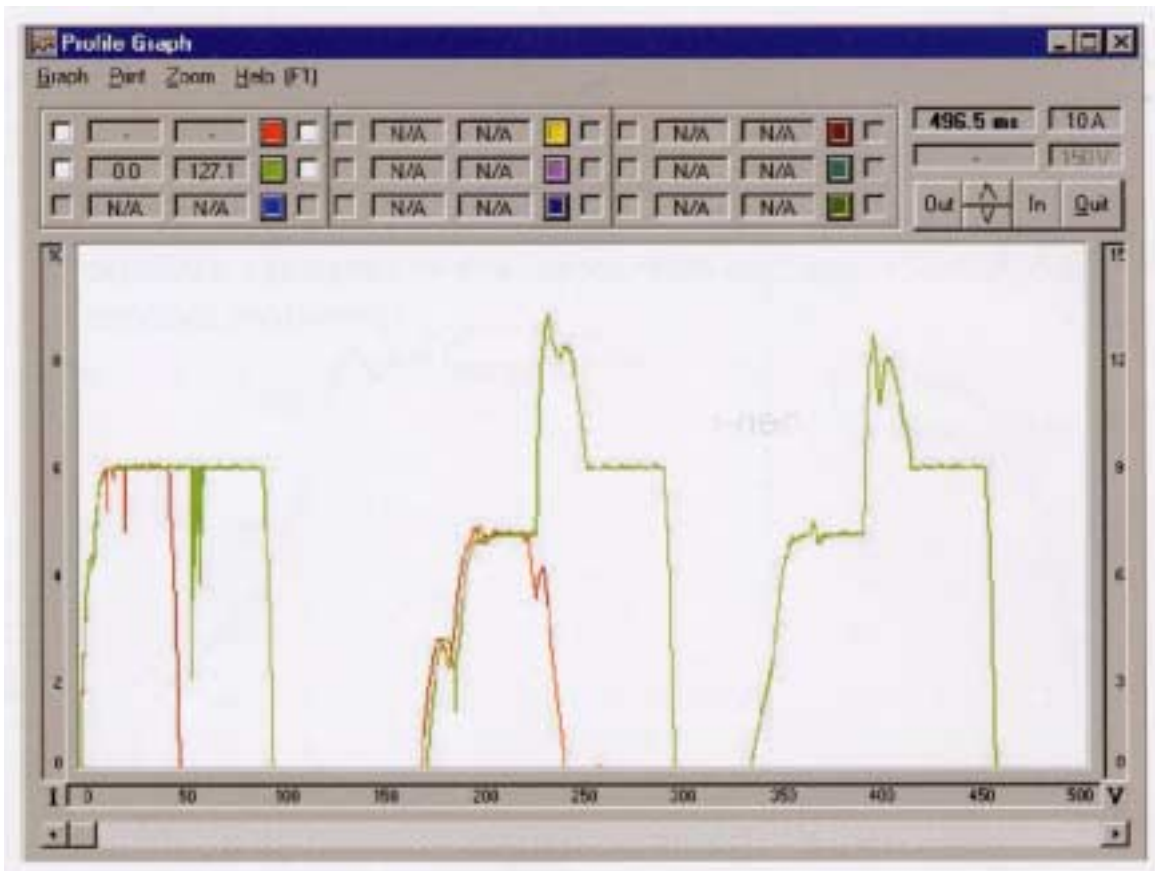


This example shows the trip coil profile caused by a poor contact, or loose wire in the trip circuit. The general form of the profile is valid for both trip and close coils.

Loose fuses in the breaker cabinet can often cause this type of fault, however if this is the case, the problem should also be visible in the dc voltage trace.

This type of fault is interesting since the breaker operation (trip times and velocity) remains unchanged by this problem, until the breaker suddenly fails. Therefore a conventional timing test is unlikely to show this problem.

Anti-pump Relay Scheme Failure

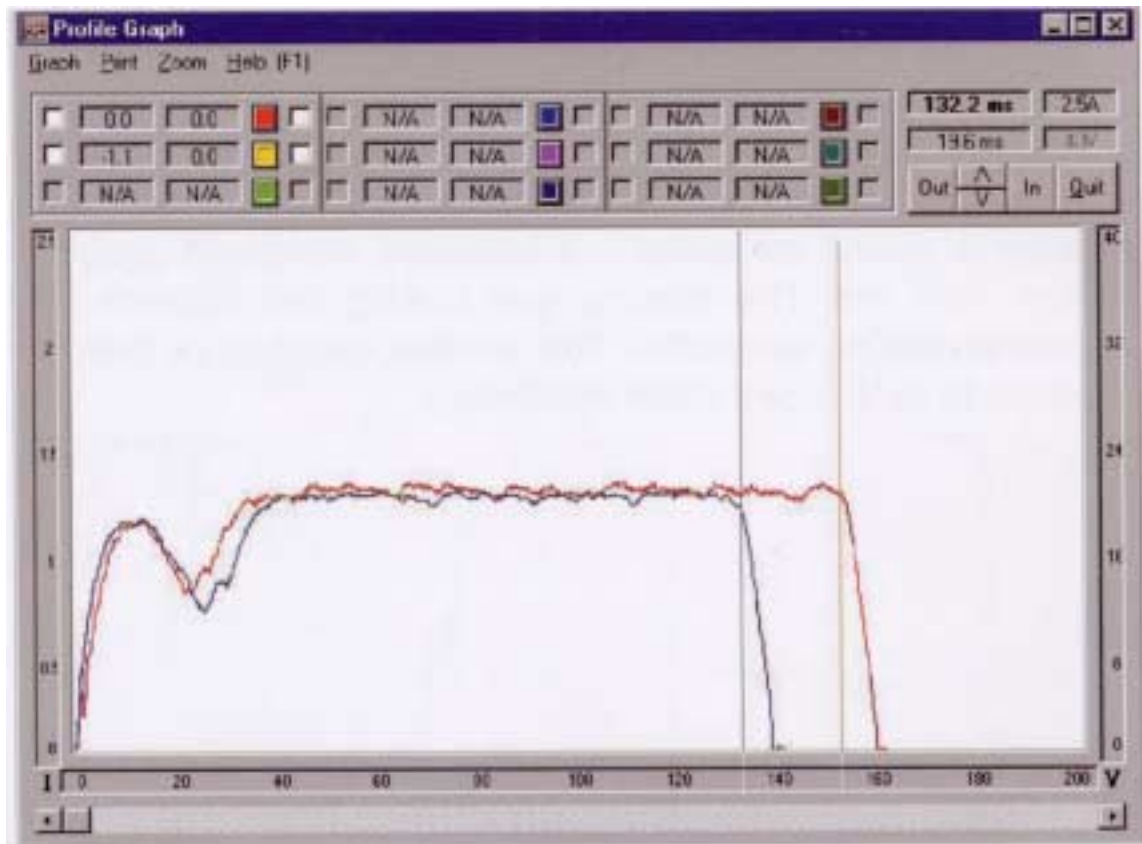


Many breakers incorporate an 'anti-pump' relay scheme in the dc control circuit. This is also known as an X-Y scheme. It usually uses 52x and 52y relays in a self seal-in mode to prevent the breaker from cycling open-close-open etc indefinitely under some operating conditions. If this occurs the mechanical forces can destroy a breaker in a matter of seconds.

This example shows a 'trip-free' or close-open operation to simulate the effect of a breaker closing into a faulted line. In the 'good' trace the close coil can be seen to be interrupted at approx. 50 ms, this is then followed by the trip coil from approx. 170 ms to 240 ms to reopen the breaker immediately.

In the 'bad' example the close coil current should have been interrupted after approximately 50 ms by a self-sealing relay contact. The faulty trace shows the relay contact attempt to interrupt the current but failing to remain open, allowing the current to continue to flow until interrupted by another series auxiliary contact after approximately 100 ms. This is then followed by the trip coil as before, but since the anti-pump scheme is faulty, the close coil becomes energised again at approx. 235 ms. The tripping and closing coil currents are superimposed on the profile. The breaker can then be seen to continue to cycle open-close indefinitely.

Reduced Mechanism Operating Speed



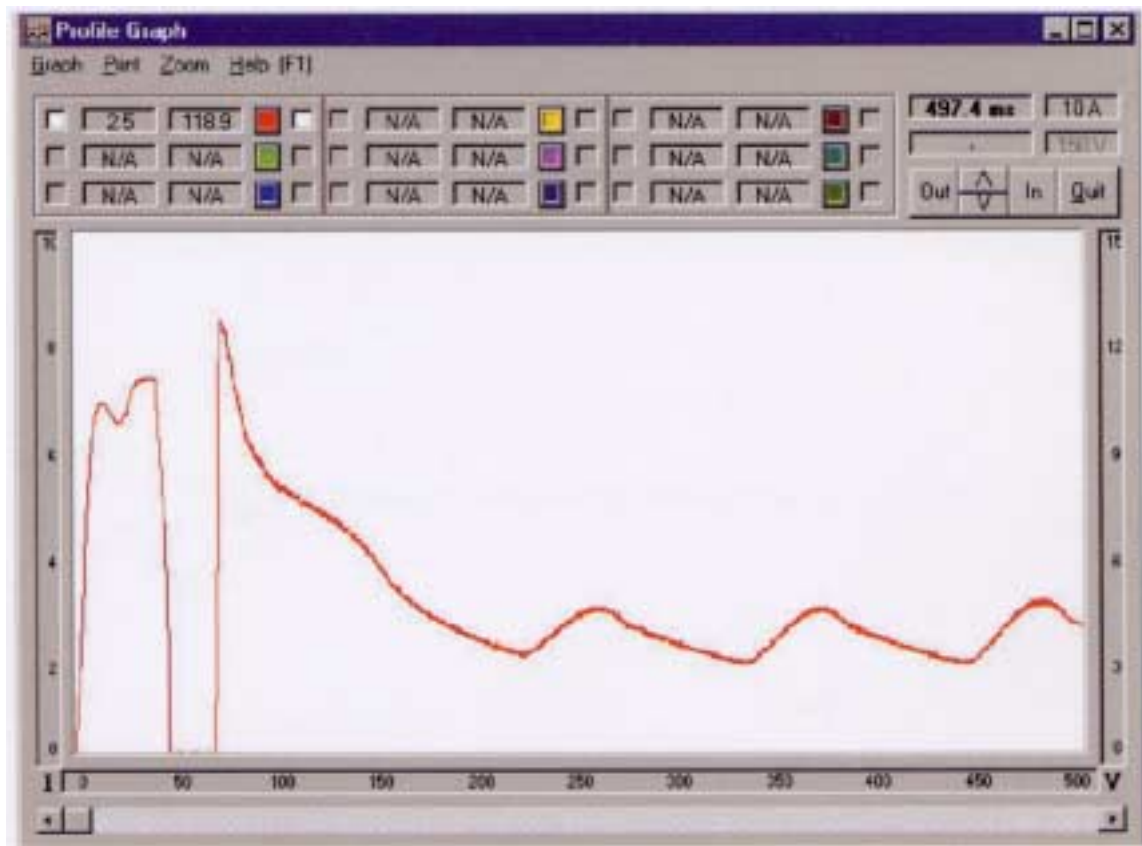
This example shows the effect of reduced mechanism operating speed on 'a' contact operating times.

This will cause a delay in the main contact opening time, but more importantly a reduction in the speed at which the contacts are moving as they part. The fault current interrupting capability of the breaker will be greatly reduced if the tripping velocity is out of spec. Increased contact erosion and insulator contamination will result from the longer arcing times, if this problem is not rectified.

The problem can be caused by, low operating air/oil pressure, insufficient tension, or friction in the mechanism, amongst others. It is often first revealed by temperature extremes.

An increased 'a' contact time gives the best indication of slow operating speeds when comparing sequential records from the same breaker. Manufacturing tolerances between breakers of the same type can often mask speed problems when comparing profiles from breakers of similar design.

DC Spring Motor Charging Current

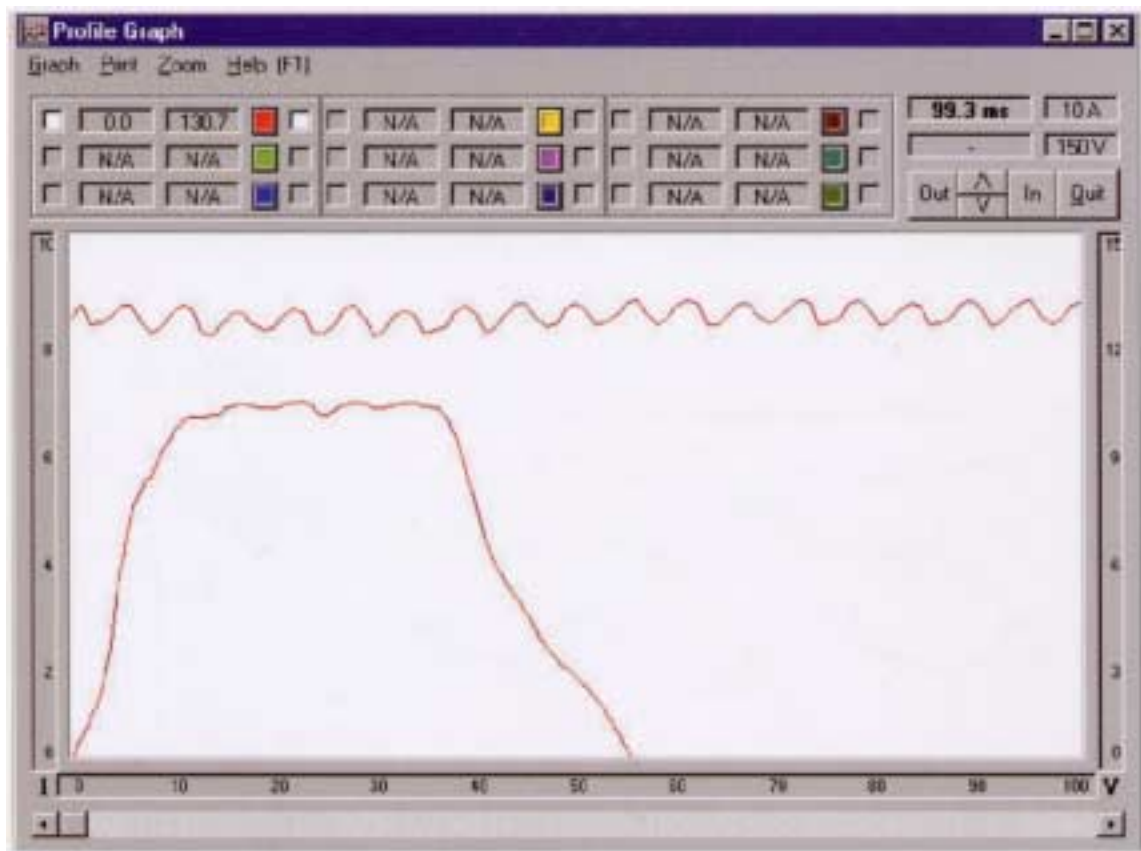


Many LV breakers use a spring to store mechanical energy store trip and close operations. This energy is usually sufficient for several operations (perhaps as many as 5) but needs to be recharged periodically. This usually is performed at the end of the close operation by a motor gearing mechanism.

These motors can be driven from either an auxiliary ac supply, or the station dc. If the ac supply is used the Profile will see no signal during spring charging. However, if the motor is run from the dc supply the Profile can see signals of the type shown above.

The magnitude and shape of the motor current will vary between individual breaker designs. The motor running time will usually be several seconds. In some cases the magnitude of the motor current will be much greater than the close coil current.

Faulty Battery Charger

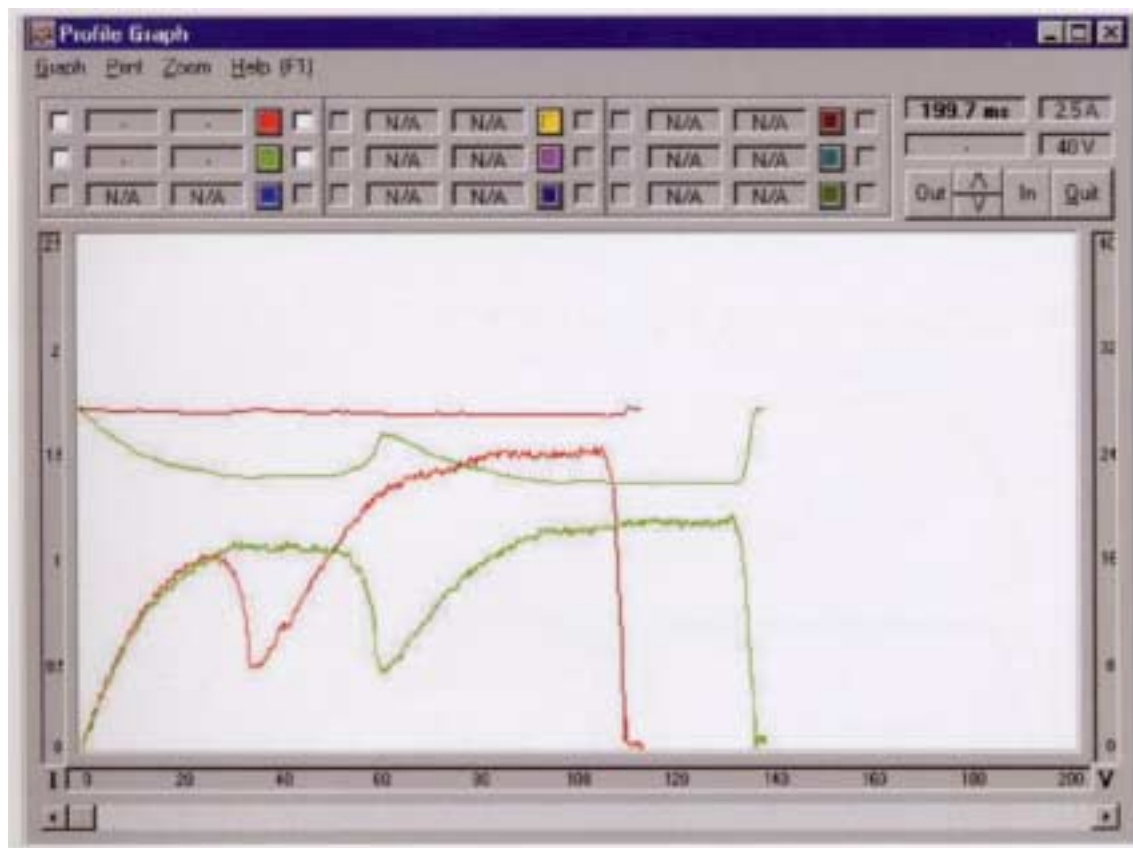


This example shows a 12 volt peak-peak ripple superimposed on the station battery voltage. The ripple frequency is 180 Hz (3 times system frequency) indicating a problem with the 3 phase battery charger in the station.

The ripple can also be seen reflected in the trip coil current profile.

While this is not a direct threat to the breaker under test, it does represent a potentially serious problem for the entire substation if not repaired quickly.

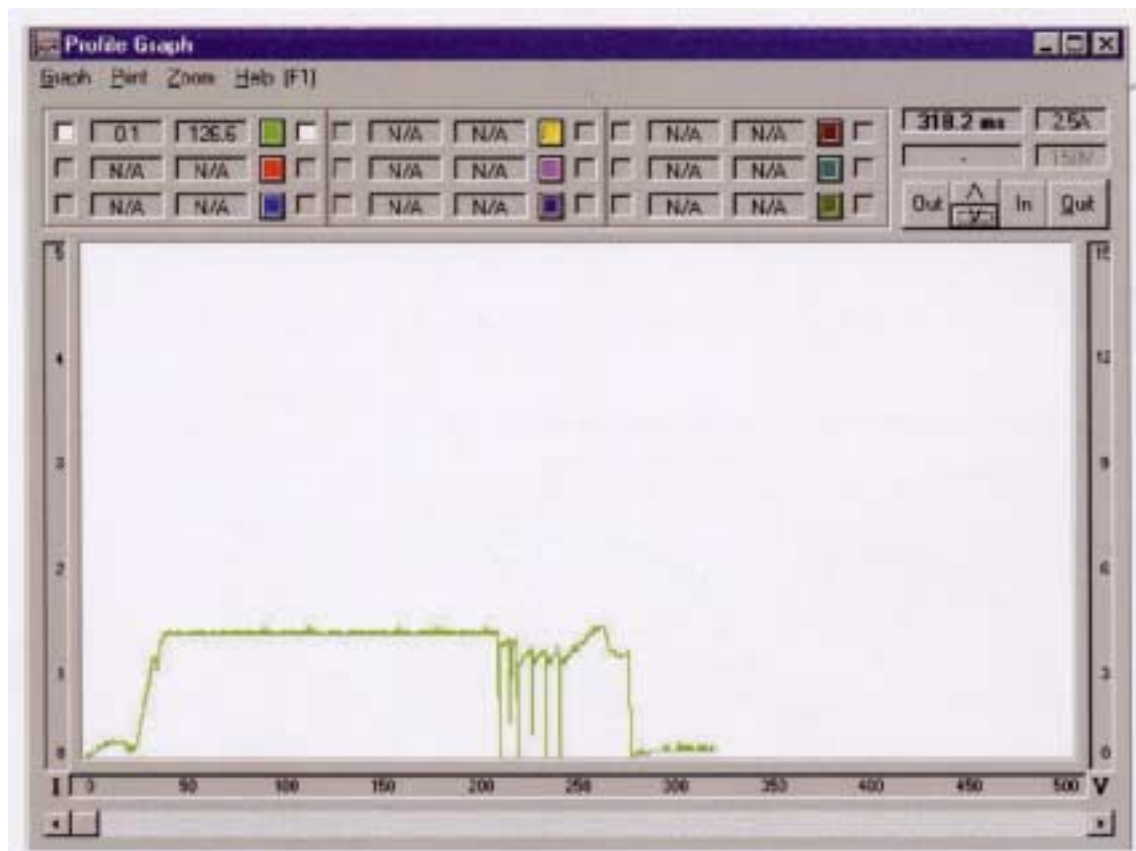
High Impedance DC Supply



These records show the voltage drop during breaker operation caused by increased resistance in the dc supply of the breaker. This can be caused by several problems ranging from a high impedance cell, to poor wiring, to bad connections in the circuit.

It should be noted that the level of the dc current is also reduced. In this example the breaker operation time is slower although this is not necessarily caused solely by the dc voltage drop.

Faulty Auxiliary Contact Operation



This example shows the effect of a faulty auxiliary contact that is failing to interrupt the coil current and the end of the breaker close operation. Similar effects can be observed in the trip circuit.

If this problem is not repaired it will lead to coil burnout and eventually failure of the breaker to operate on command. (Ref. Coil burnout traces).

Notice that in this close operation, the characteristic coil profile shape is preceded by a few milliseconds of very low current. This can often be observed in the close profiles as the actual close coil is usually energised by an interposing auxiliary relay (X-relay).

G Tidskriftsartikel "Diagnostic technique facilitates timing and condition monitoring of circuit breakers" (Kelman)

Artikeln, som är hämtad ur tidskriften "Condition Monitor" No 169, January 2001, beskriver bland annat bakgrunden till och utvecklingen av Kelman Profile P1+.

Diagnostic technique facilitates timing and condition monitoring of circuit breakers

An innovative test instrument has been developed to replace routine 'trip testing' with a fast and straightforward but a more informative 'profile' test. It facilitates the timing and condition monitoring of circuit breakers at all voltages. Without taking a circuit breaker out of service, the operating sequence can be recorded, the main timing parameters measured and the condition of the circuit breaker mechanism accurately assessed.

'Stiction' problems which have developed in the trip mechanism can be identified. In particular the plunger time, latch time and mechanism times can be extracted as an aid to circuit breaker condition assessment. This can be carried out by personnel who have a minimum of training, and can help those involved directly in the maintenance task to increase their effectiveness. The 'Profile', as it is called, provides industry with an easy-to-use, accurate, intelligent instrument which provides the opportunity to make improvements in supply reliability while significantly reducing maintenance costs. The test facilitates:

- relay timing;
- trip coil current analysis; and
- vibration analysis.

Background

The basic 'Profile' technique for the testing of circuit breakers has been in use since 1989. The work was pioneered by Southern California Edison (1,2,3), and was used to great effect on transmission and distribution circuit breakers.

The driving force behind the introduction of this new technique has been the move away from traditional scheduled maintenance to a more flexible and efficient condition-based maintenance philosophy. In doing so the industry has embraced the concepts of reliability-centred maintenance (RCM), which has long been used in the aerospace industry, and applied this prac-

This article describes an instrument and a technique which replaces routine 'trip testing' with a fast and straightforward but a more informative profile test. It facilitates the timing and condition monitoring of circuit breakers at all voltages. The authors, Robin Watson from UK company Kelman Ltd, Bjorn Holm of BC Hydro, Canada, and Albert Pondes of Essent Netwerfacilities BV, The Netherlands, summarise their companies' experience of using this instrument. They also show how it has been used to facilitate new maintenance policies in various utilities.

tice to sub-station equipment. Ultimately the aim has been to reduce maintenance costs while increasing equipment reliability. It improves quality and maintenance efficiency on the MV network. Lack of quality in this area leads to a significant increase in outages.

The instrument discussed in this article was developed by Kelman Ltd and was introduced in 1996 (Figure 1). As a result, the technique is now in use in many countries and industries. For example, it is used by railway operators and oil producers. Over the past four years, the technique has been developed further by Essent, Netwerfacilities BV, which is based in The Netherlands. The company has included simultaneous testing of the protection relay and circuit breaker. Field experience has shown that this has been able to identify a wide variety of faults in the system which have caused 'failure to trip' events in day-to-day operations.

This article highlights the key points which make the technique a success. It covers the experience gained in The Netherlands, and looks at the impact which 'Profile' has had on operational efficiency. It also briefly describes how the technique has been extended to gas distribution sub-stations. The way in which BC Hydro has been able to resolve some key issues regarding inconsistent operation of circuit breakers, and some UK experience and possibilities for combined relay and breaker testing, are also described.

Basic details of the technique

The 'Profile' instrument provides significant savings by allowing maintenance personnel to quickly identify and prioritise their maintenance expenditures while increasing breaker reliability. It captures a 'profile' of the circuit

breaker's 'first trip' while in service. This test reveals how the breaker would have performed if called upon to trip in a real fault situation. By assessing this 'first trip' condition, a cost-effective RCM programme for circuit breakers is established.

The instrument has been used to test many circuit breakers in use today. These range from large transmission breakers to small distribution breakers. It quickly and inexpensively identifies breakers in need of attention, and it eliminates costly and unnecessary work on healthy equipment, allowing utilities to efficiently administer their maintenance budget. Many defects are identified, and potential problems solved before they can cause major disruption to the system.

In conventional spring mechanisms used in many circuit breakers, the trip coil is used to impart momentum to the plunger, which then hits the latch to release the spring energy. The surprising fact is that the trip coil and plunger act like a sensor. Careful analysis of the current shape allows us to assess plunger action, latch action and the spring release process. This is shown as a sequence in Figure 2.

Development of Essent's concepts

After many years of scheduled maintenance, Essent began looking for new techniques to replace manufacturers' maintenance instructions. These were very expensive to continue, and were obviously an overkill because the field staff often reported that on most occasions nothing was found wrong with the circuit breaker during its scheduled maintenance. The need to identify and focus more on the major problem associated with the circuit-breaker population became the issue.



Figure 1. The 'Profile' instrument.

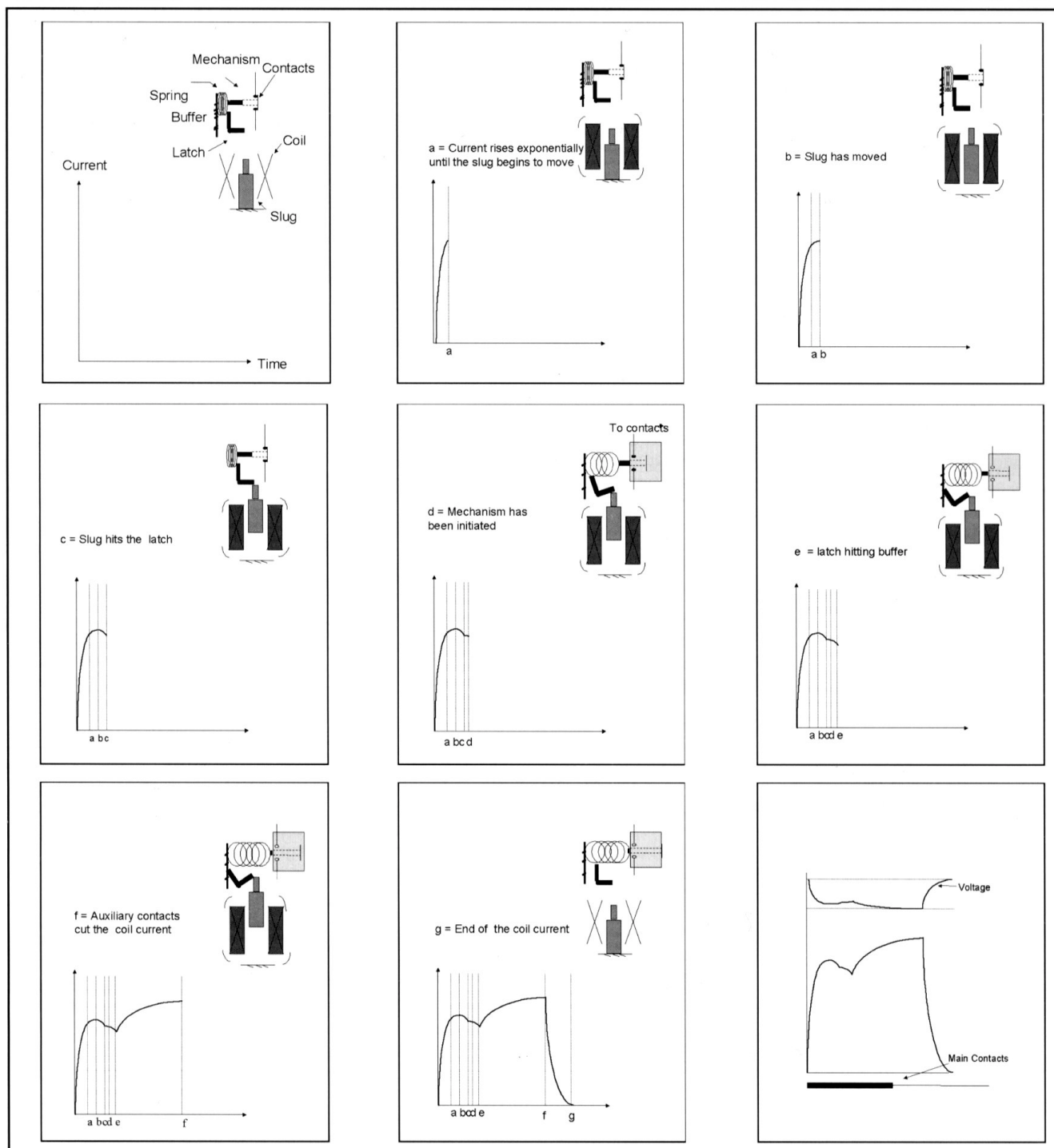


Figure 2. The trip-coil profile.

A review of the national 'non-availability statistics' for electrical supply revealed that over 75% of the customer minutes of lost supply was caused by faults on the MV (10 kV) distribution system. Essent decided to try and reduce the number of failures at this voltage level.

The most common type of fault is a short circuit on the buried cable. The main problem areas are damage caused by excavation machinery, or degradation of the cable joints leading to short circuits in joints. However, the figures show that the chance of such

a fault occurring is less than once in every 25 years of operation in each cable. When the system protection and circuit breakers operate correctly the number of customers experiencing a supply interruption can be limited to a small number. However, if there is a failure of the relays or circuit breakers, the fault will cause an interruption to a much wider area. Essent perceives this as the main problem associated with circuit breakers, because it is associated with a wide spread interruption of supply, where fault localisation takes more time. More customers are off supply for a longer time, and

this adversely affects the continuity statistics.

Essent (which, at that stage was PNEM) began to conceive an instrument which would allow it to test the complete circuit-breaker and protection system, and it began to draw up a functional specification, the main points of which are listed here.

- The technique must give an accurate measurement of the true state of the total equipment. This meant that the test had to be able to show the 'first trip' operation since this is the most important.

- It is necessary to be able to install the sensors 'non-invasively' while the breaker is still energised and in service.

- The principle used must measure signals which highlight the majority of the mechanical and electrical problems of the switchgear. The key issue in management of the circuit-breaker population is to make a major impact on performance. Being a purist and trying to focus on a 100% solution does not do this. A deliberate policy was taken to ignore the finer points of condition assessment which account for less than 10% of the problems that can occur.

- The test must be able to be performed quickly and simply in the field. The test result should be 'Passed' or 'Failed', but the device should also give objective data which can be stored. It would be highly desirable to be able to compare these data with those recorded during former years, or for the data to be used, should customers want to know if the switchgear is in a good condition.

Development of the Dutch 'Profile'

Kelman developed a version of 'Profile' for Essent, which enabled a test to be performed of the complete protection relay and circuit breaker. The trip-coil current and the vibration profiles are both captured, as well as the operating time of the protection relay.

Implicit in these conditions is the fact that direct access to the high-voltage elements of the system is not possible and therefore the profile technique must be able to show the performance of these components with indirect measurement.

So what started out as a concern about customer minutes lost, – through a study of cause and effect – became focused on relay and circuit-breaker defects. It was concluded from a qualitative failure mode and effect analysis (FMEA) that on the Essent system, the primary circuit was not the reason for the main problems, but relay and circuit-breaker failures in fault situations were causing significant increases in customer minutes lost.

Testing technique

The testing procedure involves injecting an alternating current, of sufficient magnitude, into one of the terminals of the 'secondary' of the current transformer circuit to simulate a fault condition on the line. This is achieved by simply connecting a current injection

set in parallel with the relay, the low impedance of the relay coil means that almost all of the injected current flows in the relay and not in the current transformer.

The time from the start of current injection to the relay-trip command is measured and recorded by the 'Profile' instrument. This gives the relay response time. It is important to note that the relays used in Dutch 10 kV networks have a 'definite time' characteristic and therefore the magnitude of the injected current is not critical. (A simple way to use the same technique on networks with IDMTL relays would be to inject a fixed current value of say 20 A.)

Once the relay has issued the trip command the profile of the circuit breaker operation is recorded. After capturing more than 10 000 measurements, analysis shows that measuring only the trip-coil current is sufficient. Making use of the vibration sensor is necessary only on some breakers. The test configuration is shown in Figure 3.

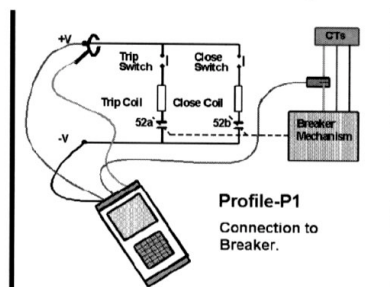


Figure 3. Test connections: making use of the vibration sensor is necessary only on some breakers.

Essent has been conducting these tests since early 1996. Figure 4 shows typical records using the original laboratory test instrumentation. The procedure has evolved, and the following

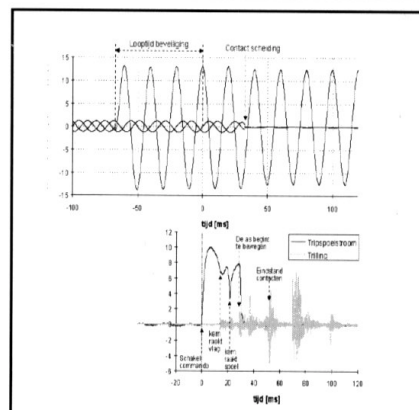


Figure 4. Typical records from the original laboratory test instrumentation.

parameters are currently captured and examined using the 'Profile' instrument:

- relay operating time;
- circuit breaker – trip-coil time;
- circuit breaker – mechanical time;
- circuit breaker – main contact operation time; and
- circuit breaker – end of motion.

After the analysis of these waveforms was completed, the most important parameters were identified as the circuit-breaker time and relay operation time. This was expected from the qualitative FMEA.

Gas sub-station 'fingerprinting'

The philosophy behind the 'Profile' is to identify those causes of frequent potential disruption to the operation of the network, and to resolve them be-

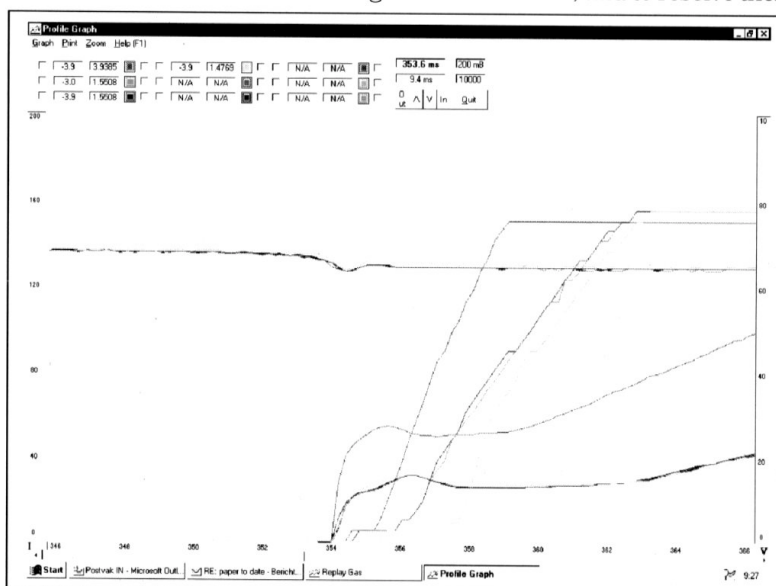


Figure 5. A new prototype 'Profile' for gas sub-stations has been developed and has been tested during 2000. This figure shows typical measurements for such installations.

FEATURE

fore the disruption occurs. Essent carried out a similar RCM analysis on gas sub-stations. This showed that the same technique of 'fingerprinting' can be used on the pressure-reduction valves to replace scheduled maintenance.

A new prototype 'Profile' for gas sub-stations has been developed and has been tested during 2000. Figure 5 shows typical measurements for such installations.

Essent's conclusions so far

- Use of the 'Profile' measurements gives a tremendous insight into the operation of various types of circuit breakers. The information has had a major impact on maintenance strategies and is used to highlight how Essent's maintenance methods can be improved.
- Essent has been able to reduce maintenance costs, and increase the reliability of the 'circuit-breaker asset'. The use of the 'Profile' technique, instead of scheduled maintenance, has meant that costs of maintenance of circuit breakers were reduced by about 50%.
- The basic concept of the 'Profile' is sound, but it is necessary to build it into the procedures to achieve real savings. It is essential to invest time in order to convert the organisation to condition-based maintenance, or reliability-centred maintenance (4).
- By carrying out objective assessment, important business decisions can be made which optimise the integration of the technique into the maintenance schedule. The application depends on the experiences of the past. Asset managers, in electricity companies, have a unique set of issues to deal with as they attempt to manage a diverse set of equipment which has been acquired over several decades under different specifications and management disciplines.
- The next step is to use the technique as a tool to help make better use of personnel. The technique allows the prioritisation of work. It divides the

maintenance work into very urgent, urgent and not very urgent items. This assists in deciding who should be called whenever there is an outage, and how to make better use of spare hours

- Using the 'Profile' over a period of time has resulted in a greater understanding of the behaviour and fault patterns of circuit breakers in service. Essent now has base knowledge of what really fails and what really needs maintenance.

BC Hydro's experience - circuit-breaker types tested

Live testing with the 'Profile' instrument has been performed on 12 kV and 69 kV bulk oil breakers; 12 kV air magnetic breakers; 12 kV, 25 kV and 230 kV SF6 breakers; 12 kV and 25 kV vacuum breakers; and 230 kV disconnects and circuit switches.

The work was carried out when the breakers were due for being tested. This was determined by present time-based maintenance practices. Assessments have been made of those difficulties which need to be overcome, instrument suitability and the benefits that may be expected.

The largest database has been acquired for one type of 25 kV SF6 breaker. Refurbishing all breakers of this type has been started as a result of diagnostic tests using the 'Profile'. Trip-coil and vibration signatures have been used, and a number of observations have been made.

Vibration sensor location

A number of different locations for vibration sensors have always been tried on each type of breaker before choosing the best one. The most informative vibration signatures have usually been found somewhere on the front of the operating mechanism. In all cases, the sensor has provided information about the breaker's operating speed. The addition of the vibration signature im-

proves the overall quality of the diagnoses.

Information obtained from the sensors

The information which was provided by the trip-coil current signatures was the simplest and easiest to interpret. These signatures have been used to diagnose problems with tripping and closing mechanisms, operating mechanisms, as well as problems with other components.

Close-operation signatures turned out to be very important to record on one type of breaker, where the closing springs were binding and at times unable to fully close the breaker, which resulted in slow closing with spring charging motor.

The current transformer clip-on sensor has provided contact-part and contact-make timing in most cases. Some current transformer wiring locations on indoor equipment have been more difficult to access.

The DC voltage recording has been most useful where high currents are involved, such as on breakers with closing solenoids which need large currents.

Problems solved so far

In a station, all eight, indoor metal-clad circuit breakers of one type were refurbished in order to find the exact cause of the problems which were diagnosed using the 'Profile' instrument.

Based on conventional testing, the above breakers were found to be slow at times, but within accepted limits after a few operations. Therefore, all eight 25 kV, SF6 breakers of this type (in one station) were tested live using the 'Profile' instrument. The breakers were diagnosed to be slow on the first operation and then close to normal, or normal, on the second and subsequent operations. In addition, latching and damping problems were diagnosed.

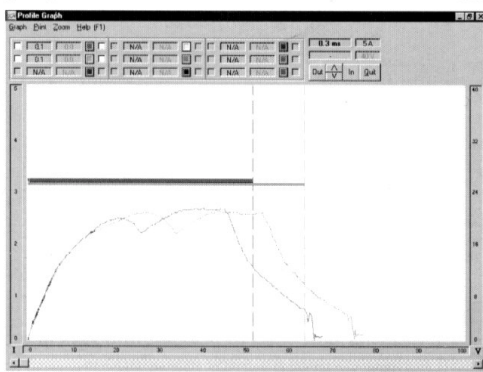


Figure 6 (left). Two records, showing the first and second trip on an indoor, metal-clad type FRUR 25 kV, SF6 breaker. The first trip is much slower than the second. This was observed using 'Profile' with clip-on CTs to view the trip-coil current.

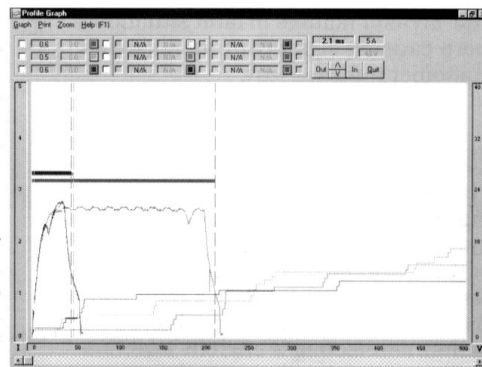


Figure 7 (right). Three records, showing signatures of the breaker type FRUR 25 kV, SF6. There was a problem with the trip mechanism on the first test. Two live trips, taken after repair work, show reasonable consistency.

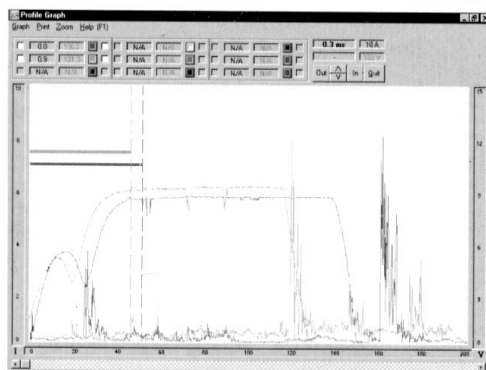
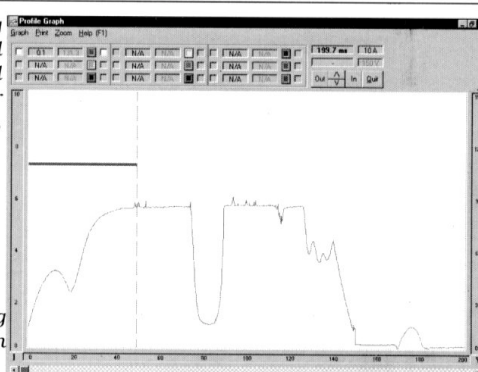


Figure 8 (left). Two records, showing trip operations from two identical breakers (KSO 69 kV bulk oil breaker). One is significantly slower than the other, based on contact part, trip-coil current and vibration.

Figure 9 (right). One record, showing a trip-coil current circuit problem on a type KSO 69 kV bulk oil breaker.



These breakers had been in service for about 20 years without complete re-lubrication. Some lubrication had been performed, but only on exposed surfaces and latches. The latching-mechanism lubrication, and adjustments, caused delays in operation or a failure. Bearing lubricants which had dried out, particularly on the main shaft bearings, caused reduced speed. The breakers were all refurbished and re-tested live. Two additional problems were identified during these tests. These problems were easily found and repaired. (Figures 6 & 7)

A good test-plan, and sufficient data to diagnose deviations from normal signatures, now exists for these breakers. Numerous 69 kV bulk oil breakers have been tested with the 'Profile'. Various problems have been diagnosed, such as slow operations, loose mechanisms, poor wiring connections and poor electrical contacts. These breakers require repair followed by live testing to verify the effectiveness of the maintenance. (Figures 8 & 9)

BC Hydro's conclusions

- Test results from the first operation of a circuit breaker is critical in order to diagnose its condition.
- Live diagnostic testing is easier to perform, provides better information and costs less than methods which are currently used. Reliability should improve.
- Normally expected signatures for each breaker type varies widely. By knowing what constitutes a normal signature requires information about each breaker type, and a database of sufficient size.

UK developments

Valuable insights were gained into several tripping defects in circuit breakers during the initial experience of using the 'Profile'. To illustrate the benefits, two simple records are

shown here which illustrate two very common problems which the 'Profile' helps to identify.

Slow tripping – Figure 10 shows two extremely slow first and second trips on the same circuit breaker, which was in service at the time of the test. The plunger time fell from 600 ms to 120 ms. Proper operation should be around 60 ms. Excessive friction inhibited the plunger's movement.

Slow tripping – This was brought about a weak tripping supply. This could have been caused by wiring defects or faulty battery cells. The effect is shown in Figure 11. In this case there is a collapse of voltage of around 20% with an increase in plunger time of around 100%. The Profile allows the vibration pattern to be captured and analysed (Figure 12). This shows the degree of uniformity between the vibration patterns of the two circuit breakers which were analysed.

The phenomenon of 'dead pin failure' was identified in each country's experience. If the trip coil is out of adjustment and the plunger is set too close in to the coil, the momentum gain can be insufficient to successfully de-latch the circuit breaker. This aspect of the adjustment has a major influence on the operation of the circuit as it progresses into the period between

maintenance. Properly set circuit breakers have a much higher 'readiness-to-trip' factor.

Combined inverse relay and circuit-breaker testing

The development of the enhanced-function 'Profile' instrument for Essent opened another opportunity in UK. Most relays which are used in the UK distribution system have an inverse characteristic. It was realised that a relatively minor change to the equipment would facilitate the checking of this type of relay. Relay testing is generally time-intensive, it requires a significant skill level, and demands adequate documentation to provide evidence that the relay is functional.

A detailed examination of the test results highlights that spot checking each relay at one current is sufficient to identify a drift in performance. Once this issue is accepted, the relay setting changes are not necessary during testing, and relay covers do not need to be removed.

If relay type, relay settings and the current measured can be input into the firmware, the actual operating time can be compared with the calculated operating time, and a variance figure can be determined. The results can be

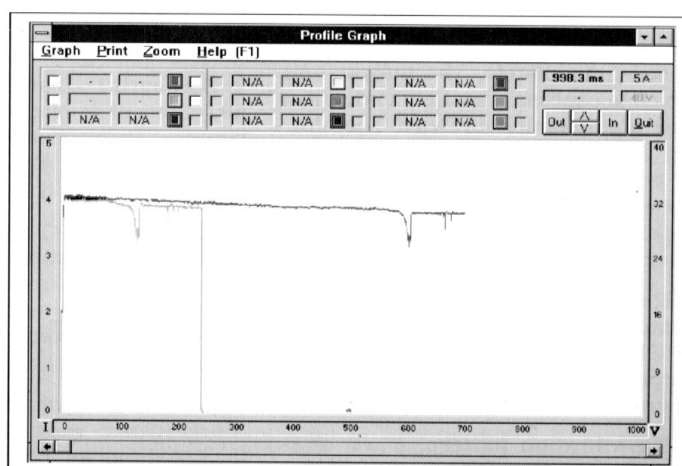


Figure 10. Extremely slow first and second trips.

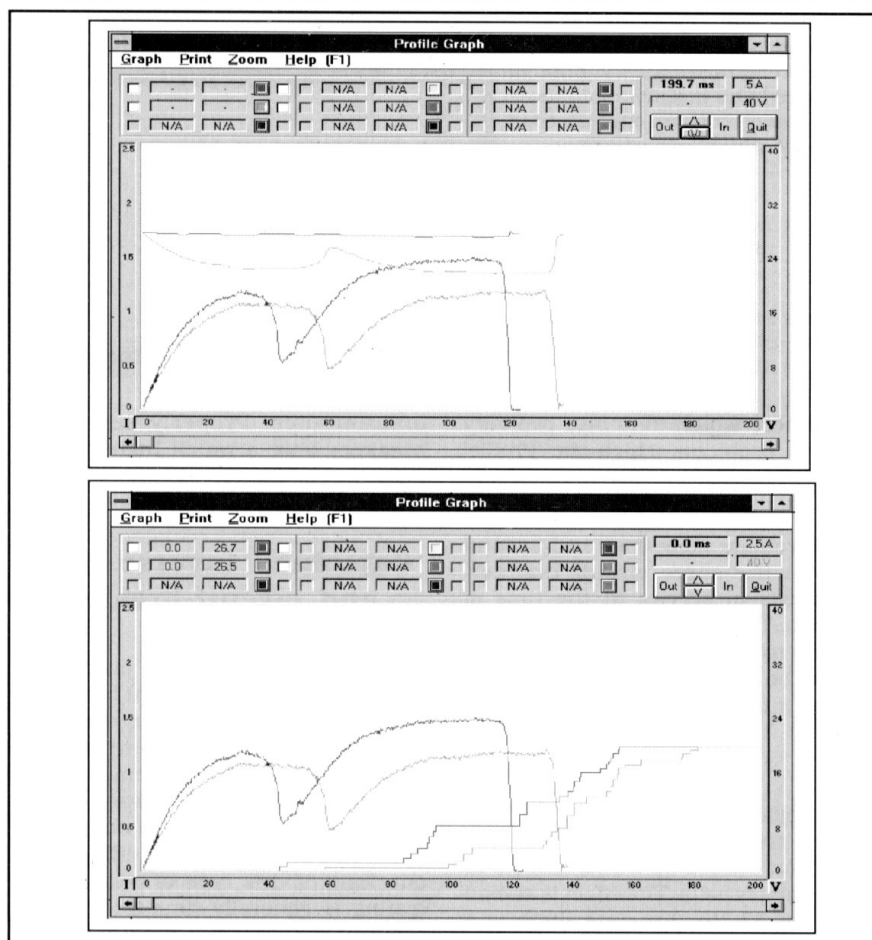


Figure 11 (top). Slow tripping caused by a weak tripping supply. Figure 12 (bottom). Similar vibration profiles.

stored and tabulated automatically. A basic current injection set is all that is required to drive the test. This can be done during a visit to assess maintenance requirements for the plant, or it can be kept as a separate exercise. If modern numerical relays fail, it is likely to be a total failure, so a spot check should be better for such systems.

Overall conclusions

Many benefits are gained by using these simple techniques. The main conclusions in this article are summarised below.

- The 'Profile' concept can be introduced immediately. The information which is captured can help to define a new maintenance strategy. The 'Profile' can be used to create a database. In addition, it can be used to check the effect of maintenance by measuring circuit-breaker response before and after maintenance.
- The simple process of capturing and comparing the shape of the trip-coil profile gives valuable information regarding the state of the tripping mechanism in circuit breakers.
- The vibration pattern, when analysed, provides complementary confir-

mation to the TCP analysis, and additional information relating to the operation of the primary contacts.

- The ability to assess the whole plant (the relays and the circuit breaker), in a quick and easy process, which provides an insight into plant condition, can radically focus the real 'maintenance effort'.

References

1. Nelson, G.K. Circuit Breaker Response Time Testing, Edison Electric Institute, T & D Committee Meeting, San Diego, California, USA, 16-19 January 1990.
2. Borchart, D.J. and McIlroy, C.D. A new concept in circuit breaker maintenance, Pennsylvania Electric Association, Hershey, Pennsylvania, USA, 25-26 September 1990.
3. Nelson, G.K. Circuit Breaker Response Time Testing, An Evaluation, Edison Electric Institute, Electrical Equipment Systems Committee Meeting, Phoenix, Arizona, USA, 17-20 February 1991.
4. Krikke, K. *et al.* PNEM ontwikkelt 'Fingerprint' voor MS schakelaars (PNEM develops 'Fingerprint' for Me-

dium Voltage switchgear), *Energietechnik* October 1996.

5. van Aiphen, J.C. *et al.* Switchgear Condition Monitoring *Journal of the South African Institute of Electrical Engineers* November 1996.

6. Speed, W.R. 'Circuit Breaker Operator Signature Analysis', TXU Electric USA Doble Conference (2000).

Author biographical notes

After a career in the electricity supply industry Robin Watson helped create Kelman Ltd. As Director of Market Development he focuses on new product development and new business opportunities.

Bjorn Holm, a senior maintenance engineer at Canadian company BC Hydro, has over 20 years of switchgear maintenance experience. He has provided consulting services to field personnel for maintenance, repairs, rebuilding, testing and failure analysis work for various switchgear makes and types. Holm has a strong interest in the application of modern testing methods to extend the useful life of existing equipment.

Albert Pondes has a unique blend of experience in various industries, especially gas and electricity distribution. He worked at the Innovation Department of Essent, before moving to ABB in The Netherlands, where he is currently based.

This article is based on a paper entitled 'The impact of a new diagnostic technique for circuit breakers and protection on the management of distribution systems', which is taken from 'Engineering Asset Management Conference Proceedings', 3-4 October 2000. Copies of this publication are available from: ERA Technology, Publication Sales, Cleeve Road, Leatherhead, Surrey KT22 7SA, UK; tel: +44-1372-367000; fax: +44-1372-367099. For further details on the next 'Engineering Asset Management' conference, which will be held during October 2001, contact Laura Christie. ERA is an independent international contract research, development and testing organisation, specialising in electro-technology and related fields.

Robin Watson, Kelman Ltd, Lissue Industrial Estate East, Lissue Road, Lisburn, BT28 2RB Northern Ireland; tel: +44-2892-603958; fax: +44-2892-603959; e-mail: robin@kelman.co.uk
Bjorn Holm, BC Hydro International Ltd, 6911 Southpoint Drive, Burnaby, BC V3N 4X8 Canada; tel: +1-604-528-3020; fax: +1-604-528-3007; e-mail: bchil@bchil.com.

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 2530. Telefax 08-677 2535
www.elforsk.se