

Feldetektering i induktorer i Tetra Pak A3/Flex

Niklas Mansfield
December, 2012



LUNDS
UNIVERSITET

Master's Thesis

Faculty of Engineering, LTH
Department of Measurement Technology and
Industrial Electrical Engineering
Division of Electrical Measurements

Supervisor: Pär Bierlein, Tetra Pak
Supervisor: Johan Nilsson, LTH

Sammanfattning

Induktorer är en central del i Tetra Paks förpackningsmaskin A3/Flex eftersom induktorerna levererar energin som förseglar varje förpackning. Fel, till exempel att en kork hamnar snett, orsakar efterföljande felaktiga förseglingar och i värsta fall driftstopp. För att undvika detta pågår ständigt arbete med att förbättra och utveckla maskinerna och undvika problem för kunder till Tetra Pak. Detta examensarbete är en liten del i utvecklingsarbetet för att minska reklamation av induktorer i A3/Flex.

Inriktningen på examensarbetet bestämdes genom att Tetra Pak-anställda föreslog ett antal möjliga angreppssätt. Detta ledde till arbetet med att integrera givare i induktorns närhet och därigenom möjliggöra mätning av ett antal storheter. En kravspecifikation ställdes upp och praktiska försök genomfördes i en A3/Flex. Tanken var att genom mätning av acceleration, läge och temperatur skulle vissa felaktiga förseglingar eller problem hos induktorn möjligtvis kunna upptäckas. Det långsiktiga målet, där examensarbetet endast är en mindre del, är att införa felsökning i en A3/Flex där maskinen inte befinner sig på samma ställe som felsökaren och därmed kan driftstopp undvikas.

Under och efter genomförda försök har en del oförutsedda problem uppdagats, såsom svårigheter med att praktiskt löda kopplingar, störningar i A3/Flex och att fästa en sensor på det bästa stället för att mäta acceleration. Försöken kan förfinas av Tetra Pak framöver med utgångspunkt från detta examensarbete men en slutsats som har dragits är att undersöka optiska sensorer närmare. Orsaken är att många av de felkällor som uppdagades under examensarbetets gång bör kunna undvikas med optiska sensorer.

Efter avslutat examensarbete insågs att fokus borde ha legat på att bestämma vad som eventuellt kan upptäckas med hjälp av stora dyra kommersiella sensorer, istället för att använda små billiga ytmonterade som fick plats i induktorn men som påverkades starkt av störningar från A3/Flex. En dyr sensor kan dock troligtvis inte sättas i en induktor med tanke på dagens prisbild.

Innehåll

1	Introduktion och bakgrund	1
1.1	Tetra Pak	1
1.1.1	Förpackningar	2
1.2	Induktionsförsegling	4
1.2.1	Historia	4
1.2.2	Princip	5
1.2.3	Induktionsförsegling i dag	5
1.2.4	Induktorer i dag	7
1.3	Examensarbetet	8
1.3.1	Examensarbetets syfte	8
1.3.2	Metod för utförandet	8
1.3.3	Avgränsningar	8
2	Metodurval	9
2.1	Akustisk sprickdetektering	9
2.2	Pulsed Magnetic Flux Leakage, PMFL	10
2.3	Piezoelektrisk färg	10
2.4	Elektriska storheter	10
2.5	3D-scanning	11
2.6	Magnetfält	11
2.7	Tryckmätning längs induktorn	11
2.8	Integrering av givare i induktorns närhet	12
3	Storheter att mäta	13
3.1	Specifikation av mätområden	14
4	Material och metoder	15
4.1	Beskrivning av införskaffade givare	15
4.2	Mikrokontroller Arduino Duemilanove	16
4.3	Inkoppling av givarna	17
4.4	Försök i en A3/Flex	19

4.4.1	Försök 1	19
4.4.2	Försök 2	19
5	Resultat och diskussion	21
5.1	Resultat av accelerometer, ADXL193	21
5.2	Resultat av gyro, L3G4200D	21
5.3	Resultat av temperatursensor, LM335z	22
5.4	Resultat av försök i en driftsatt A3/Flex	22
5.4.1	Resultat av försök 1	22
5.4.2	Resultat av försök 2	23
5.5	Felkällor	25
5.6	Diskussion	27
	Referenser	31
A	Kopplingsschema för accelerometer ADXL193	34
B	Programkod för accelerometer ADXL193	35
C	Kopplingsschema för temperaturgivare LM335z	37
D	Programkod för temperaturgivare LM335z	39
E	Studie av hakarnas rörelse	41
F	EMI-analys	43

Kapitel 1

Introduktion och bakgrund

1.1 Tetra Pak

Tetra Pak grundades år 1951 i Lund av Ruben Rausing som ett dotterbolag till Åkerlund & Rausing. Intresset var stort för en förpackning som kräver minimalt med material och samtidigt har god hygien. Företaget växte snabbt och redan efter tio år var den samlade produktionskapaciteten över en miljard förpackningar per år.[1]



Figur 1.1: En Tetra Pak A3/Flex. Bakom de rödmarkerade dörrarna befinner sig förseglingsutrustningen. Källa: Tetra Paks bildbank.

Idag har Tetra Pak verksamhet i över 170 länder och fler än 22 000 anställda. Varje år levereras fler än 150 miljarder förpackningar från de knappt 9 000 maskiner som är i drift[2]. Detta gör Tetra Pak till världsledande inom livsmedelsprocesser och förpackningslösningar[3].

1.1.1 Förpackningar



Figur 1.2: Exempel på förpackningar som tillverkas i en A3/Flex. Källa: Tetra Paks bildbank.

Tetra Pak A3/Flex är en fyllmaskin till förpackningarna Tetra Brik Aseptic, Tetra Prisma Aseptic och Tetra Gemina Aseptic. Som namnet antyder är hela maskinen designad för flexibilitet för att enkelt kunna byta mellan olika förpackningar och storlekar. En A3/Flex visas i figur 1.1.[4]

Kapaciteten för en A3/Flex ligger på maximala 8 000 förpackningar per timme beroende på förpackningstyp och storlek[5]. Se figur 1.2 för exempel på förpackningar tillverkade i en A3/Flex.

I vänstra nedre delen av maskinen i figur 1.1 sitter förpackningsmaterialet på en stor rulle. Materialet är förberett med tryck och bigningar, det vill säga inpressningar i pappret där vecken senare ska göras. Pappret går igenom maskinen och görs aseptiskt innan det rullas ihop till en tub som förseglas på längden.

Tube av förpackningsmaterial befinner sig bakom de i figur 1.1 rödmarkerade

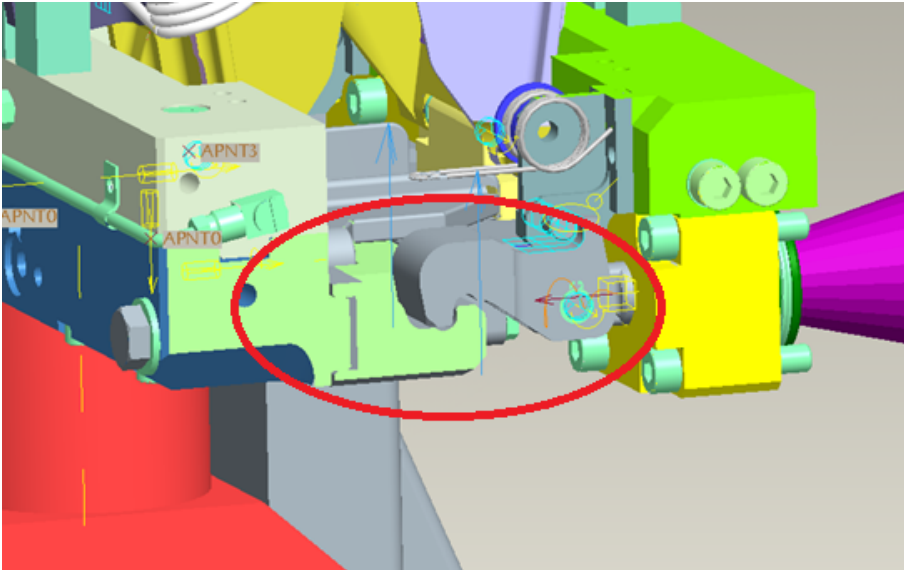


Figur 1.3: Förseglingsdelen av en A3/Flex. De gröna och blåa markeringarna visar de två identiska armar på vilka induktorerna är placerade samt deras rörelseriktning. Källa: Tetra Paks bildbank.

dörrarna och fylls med flytande produkt efter hand som tuben matas fram. Två armar med varsin induktor, se figur 1.3, har till uppgift att hålla botten av tuben stängd så att produkten inte rinner ut samt att mata fram förpackningsmaterialet efter hand som förpackningarna skapas.

För att få upp förseglingsstrycket till 6-12 MPa används i denna typ av maskin ett hydrauliskt haksystem. I figur 1.4 syns hakarna inringade i rött. Det är med hjälp av dessa hakar som ett högt tryck under förseglingen säkerställs.

Att tillverka aseptiska kartongförpackningar med flytande innehåll ställer väldigt höga krav på både maskin och material. I figur 1.5 visas de olika skikt som utgör förpackningsmaterialet. Förpackningsmaterialet går genom ett upphettat väteperoxidbad för att steriliseras innan förpackningen börjar formas och förseglas med hjälp av induktion. Vid fyllstationen sker sterilisering med het luft, ånga och/eller väteperoxid.[6]



Figur 1.4: Schematisk bild över delar av förseglingsystemet. Lägg märke till de två hakarna inringade i rött. De hjälper till att pressa ihop induktor, förpackningsmaterial och mothåll under förseglingsprocessen. [8]

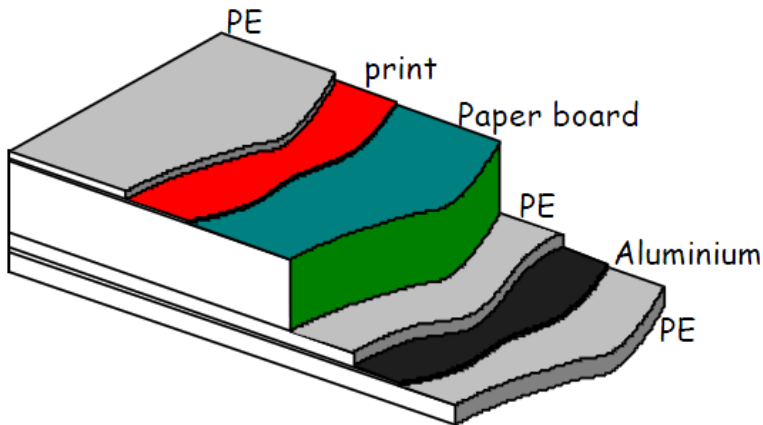
Kvaliteten på förseglingen är av stor betydelse för hur bra förpackningen är i sin helhet och inverkar på den förpackade produktens hållbarhet. En försegling måste ske med en viss värmeutveckling, under ett visst tryck och under en viss tidsperiod för att bli hållbar.

1.2 Induktionsförsegling

1.2.1 Historia

På 1960-talet diskuterades det huruvida induktionsvärmning skulle kunna användas som förseglingsmetod inom Tetra Pak, men metoden utvecklades inte förrän senare. Problemet var att induktionsvärmning bara kunde användas för förpackningar innehållande metall. När de första aseptiska förpackningarna producerades i början av 1970-talet upptäcktes problem med dåvarande förseglingsmetod, impulsförsegling, såsom att mycket av värmen transporterades bort av aluminiumfolien vilket gav en dålig försegling som var både svår att upptäcka och gjorde förpackningen ickesteril.[7]

De första induktionsvärmegeneratorerna köptes in och gav goda resultat i tester. Först på 1980-talet utvecklades den första egna generatoren, TPIH-2000, för



Figur 1.5: Schematisk bild av förpackningsmaterial som används för induktionsförsegling. [7]

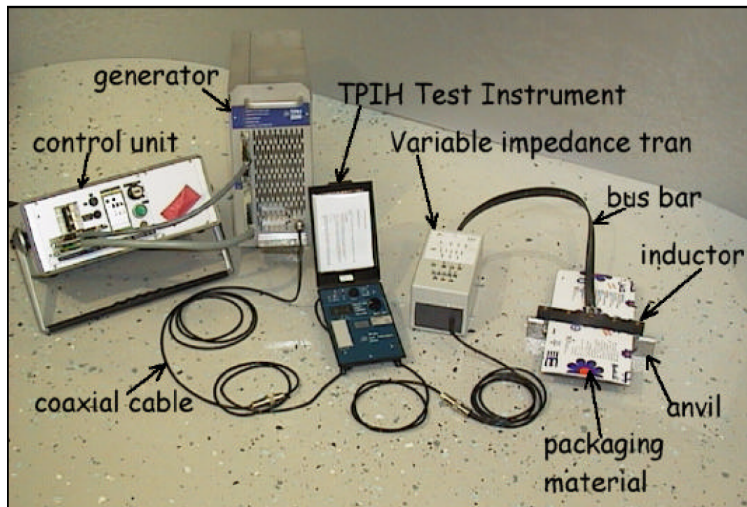
försegling på Tetra Pak. Den är en transistorbaserad generator på 2 kW vilken är betydligt mindre och smidigare än de externt inköpta varianterna.[7]

1.2.2 Princip

När en växelström skickas genom en spole skapas ett alternerande magnetfält. Metallföremål i spolens närhet påverkas av magnetfältet och en ström uppstår för att motverka magnetfältet. De inducerade virvelströmmarna, så kallade eddyströmmar, utvecklar värme på grund av resistiva förluster i metallen. I magnetiska material uppstår dessutom hysterese-förluster som bidrar till värmeutvecklingen. Eftersom förpackningsmaterialet för Tetra Pak A3/Flex innehåller aluminiumfolie så kommer värmen från eddyströmmar. Den utvecklade värmen i aluminiumfolien smälter ihop plastskiktet i förpackningsmaterialet så att en försegling bildas.

1.2.3 Induktionsförsegling i dag

Ett typiskt system för induktionsförsegling består av en generator, TPIH-2500, som via en koaxialkabel skickar en förseglingspuls under 200 ms till en impedanstransformator. Impedanstransformatorn leder pulsen vidare genom en platt lågohmig kabel, så kallad bus bar, till induktorn. Förpackningsmaterialet kläms mellan induktorn och ett mothåll för att energiöverföringen till förpackningsmaterialet ska bli effektivare och förseglingen bättre. Hela systemet



Figur 1.6: Alla komponenter som behövs för induktionsförsegling. [7]

inklusive en kontrollenhet och en testenhet kan ses i figur 1.6.

Generatoren, som är en nyare modell av den som utvecklades på 1980-talet, har till uppgift att konvertera nätspanningen till en signal som ligger runt 500 kHz beroende på önskad effekt. Denna signal är det som kallas för förseglingspulsen, eller bara pulsen, i det här examensarbetet.

Impedanstransformatorns två uppgifter är att transformera den låga strömstyrkan från generatoren upp till 50-100 A och att balansera kretsen med hjälp av kondensatorer så att dess resonansfrekvens sammanfaller med generatorfrekvensen.[7]

Kabeln mellan impedanstransformatorn och induktorn är en platt kabel tillverkad för att ha så låg resistans och induktans som möjligt vid 500 kHz. På grund av skinneffekten, som gör att högfrekvent ström i en ledare tenderar att koncentreras längs ytan på ledaren, hjälper det inte att göra kabeln tjockare för att sänka resistansen. Istället krävs en breddning av den redan platta kabeln eller materialbyte till ett material med lägre elektrisk resistivitet.

För att få en bra försegling krävs att induktorn är så nära förpackningsmaterialet som möjligt. Därför är kopparspolen försedd med en bom, se figur 1.7, vilket är en längsgående upphöjning på bråkdelen av en millimeter. Bommen hjälper till att pressa bort alla eventuella produktrester från förseglingsområdet. Dessutom ökar trycket mot förpackningsmaterialet och avståndet mellan induktor och material minskar, vilket förbättrar möjligheterna till en bra försegling.

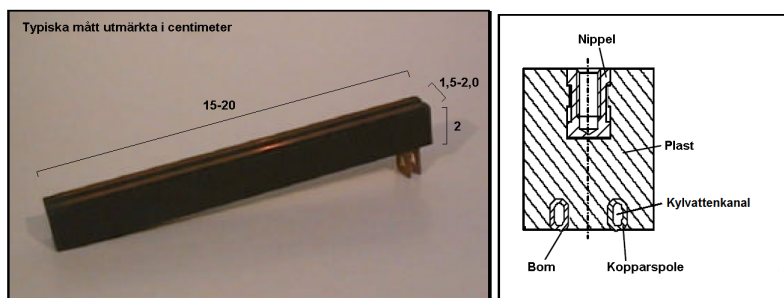
Spolen i induktorn är ett enda varv kopparrör. Det pumpas hela tiden kylvatten

genom röret för att spolen och induktorn inte ska bli så varm att det yttersta plastsnittet i förpackningsmaterialet klibbar fast. En för hög temperatur riskerar också att ändra de elektriska och magnetiska egenskaperna hos induktorn.

På andra sidan förpackningsmaterialet sitter ett mothåll gjort av polyuretan[7]. Genom att detta material inte är elektriskt ledande blir effektöverföringen till förpackningsmaterialet bättre och förluster hålls till ett minimum.

I figur 1.7 ses två raka kopparspår. Dessa två spår gör varsin försegling, den ena blir toppen på en förpackning och den andra blir botten på nästa förpackning. Mellan kopparspårerna löper ett tunt spår i vilket en kniv delar de två förpackningarna strax efter att de har förseglats.

1.2.4 Induktorer i dag



Figur 1.7: Till vänster: En induktor. Till höger: En induktor i genomskärning. [7]

Induktorns främsta uppgift är att generera ett magnetfält för att försegla förpackningen. Induktorn anpassas på flera olika sätt för att optimera förseglingen för varje typ av förpackning. I ytterkanterna av förpackningen där materialet viks samt vid den longitudinella förseglingen, där pappret är tredubbelt, krävs ett starkare magnetfält för fullgod försegling. Därför placeras insatser av ett material med hög magnetisk permeabilitet bakom spolen vid dessa punkter. Det gör att magnetfältet kan koncentreras och bli starkare där det behövs.

Induktorerna tillverkas genom formsprutning av polyfenylensulfid, PPS, blandat med ferritpulver. En kärna av PPS används för att hålla spolen, niplarna och insatserna på rätt plats under formsprutningen. Detta sätt att tillverka induktorer har utvecklats på Tetra Pak [7].

1.3 Examensarbetet

Inom Tetra Pak pågår kontinuerligt utvecklingsarbete för att göra förpackningsmaskinerna stabilare, billigare och därmed bättre. Detta examensarbete har sin plats genom att det utreder ett spår som annars inte hade undersökts. Beroende på vad examensarbetet visar kan Tetra Pak välja att gå vidare med det eller inte.

Ett användningsområde skulle kunna vara en platsberoende felsökning där Tetra Paks tekniker inte befinner sig på samma geografiska plats som maskinen. En positiv bieffekt är en minskad miljöpåverkan genom att färre förpackningar slängs. När ett fel upptäcks slängs nämligen fler förpackningar än nödvändigt eftersom förseglingarna inte kan kontrolleras i efterhand utan att förpackningen blir obrukbar.

1.3.1 Examensarbetets syfte

Detta examensarbete syftar till att undersöka, både teoretiskt och praktiskt, huruvida det är möjligt att upptäcka en trasig induktor eller en felaktig försegling genom att mäta ett antal storheter under förseglingsprocessen.

1.3.2 Metod för utförandet

I examensarbetets uppstart hölls ett möte där medarbetare på Tetra Pak fick komma med förslag på hur induktorerna skulle kunna förbättras ytterligare. Bland dessa förslag valdes ett huvudspår ut för detta examensarbete – mätning av olika storheter i induktorns närhet. Nästa steg i examensarbetet var att ta fram storheter som är intressanta att mäta ur ett feldetekteringsperspektiv och därefter införskaffades givare som kopplades upp och testades i labbmiljö samt i en driftsatt förpackningsmaskin.

1.3.3 Avgränsningar

Examensarbetet fokuserar på de storheter som är intressanta att mäta, vilken sorts givare som kan mäta storheterna samt hur detta bäst görs för att detektera ett fel. Beslutet att placera givarna i ett titanblock i vilket induktorn fästs togs på ett tidigt stadium och därför har bara de givare som är relevanta för detta tagits i beaktande. Tyvärr utesluter det många färdiga kommersiella sensorer eftersom de är för stora och/eller för dyra.

Kapitel 2

Metodurval

Att förbättra en existerande induktordesign på Tetra Pak kan ske genom att induktorn designas om eller att kunskapen om hur induktorn fungerar i praktiken ökar. Det är omöjligt att i ett examensarbete komma hela vägen fram och implementera eventuella förändringar i en maskin på Tetra Pak. Istället måste examensarbetet ses som en liten del i en utvecklingsprocess. När examensarbetet inleddes var inte metoden bestämd utan först hölls en brainstormingsession där flera medarbetare bjöds in för att bidra med sina tankar och funderingar. I avsnitt 2.1-2.8 presenteras förslagen översiktligt.

Förslagen utreddes med avseende på hur de skulle kunna bidra till en förbättring av befintliga induktorer. Det tillvägagångssätt som ansågs mest troligt kunna visa resultat på sikt var metod 2.8 och därmed fortskred examensarbetet längs den linjen. Med resultat menas här huruvida det är möjligt att gå vidare och om det är värt för Tetra Pak att utifrån examensarbetet till exempel starta ett projekt.

2.1 Akustisk sprickdetektering

Med en mekanisk påverkan i ena änden av induktorn och en mikrofon eller piezoelement som kan plocka upp vibrationer i andra änden av induktorn kan eventuellt sprickor detekteras.

Akustisk sprickdetektering bygger på att det mottagna frekvensspektrat hos en hel induktor har ett relativt väldefinierat utseende med minst en resonansfrekvens när induktorn är intakt. Sprickor påverkar utbredningen av ljudvågen och det karaktäristiska frekvensspektrat förändras.

Ifall det över huvud taget finns en väldefinierad resonansfrekvens i en induktor och det skulle gå att detektera denna så kvarstår problemet att det är ont om plats runt induktorn i en A3/Flex. Det är en hög bullernivå då maskinen körs och väldigt mycket vibrationer, vilka antagligen skulle plockas upp och göra mätningarna väldigt svåra att genomföra

Dessutom medför en spricka mitt i induktorn inte alltid att den utför felaktiga förseglingar. Det är förseglingarna som är det viktiga, inte att induktorn är hel.

2.2 Pulsed Magnetic Flux Leakage, PMFL

Om induktorn magnetiseras kan sprickor och felaktigheter detekteras genom att föra en hallsensor över induktorn. Sprickor och andra defekter ger upphov till abrupta magnetfältsändringar eftersom det magnetiska flödet påverkas av sprickan.[10] Eftersom plasten i induktorn innehåller järnpulver magnetiseras hela induktorn om ett magnetfält läggs på.

Detta är en intressant metod, men svår att genomföra på grund av den störande miljön i en A3/Flex samt att det finns varken tid eller plats att utföra en scanning av induktorn mellan varje försegling.

2.3 Piezoelektrisk färg

Genom att måla induktorn eller täcka den med en film av piezomaterial kan man kanske detektera sprickor. Med ett ytskikt av till exempel nickel och fosfor som agerar sensor kan sprickor upptäckas antingen genom att skillnad i elektrisk potential eller resistans mäts mellan olika punkter på induktorn.[11]

Det handlar om små förändringar i resistivitet eller spänning och med tanke på allt som händer i maskinen är det troligt att det är väldigt svårt att upptäcka fel. Dessutom kan induktorn vara sprucken men ändå leverera fullgoda förseglingar.

2.4 Elektriska storheter

Ifall ström, spänning och fasförskjutningen mellan dessa mäts kontinuerligt är det kanske möjligt att detektera vissa fel i förseglingen. Det är inte känt vilka fel som eventuellt skulle kunna upptäckas med denna metod och det är inte heller utrett hur mätningarna rent praktiskt ska gå till.

2.5 3D-scanning

Med hjälp av en kamera, laser eller ultraljud kan induktorn scannas och ytingegreteten hos den bestämmas. Denna metod är svår att realisera eftersom arbetsmiljön runt induktorn är väldigt fuktig. Små droppar på induktorn och vattenånga i luften finns alltid i en A3/Flex och det gör denna mätmetod svår att använda rent praktiskt.

2.6 Magnetfält

Ifall magnetfältet från induktorn hade kunnat mätas längs hela förseglingsbredden med tillräcklig rumsupplösning skulle man kunna förvissa sig om att förseglingen har potential att vara fullgod.

Det största problemet är placeringen av exempelvis hallsensorer för att mäta magnetfältet. Magnetfältet antas variera kraftigt mellan olika placeringar eftersom induktorn innehåller insatser för att koncentrera och rikta magnetfältet. För att säkerställa att magnetfältet mäts korrekt måste därför hallsensorn placeras i induktorns omedelbara närhet på den sida där förpackningen befinner sig, alternativt mellan förpackningsmaterial och mothåll.

Utrymmet kring induktor, förpackning och mothåll i maskinen är väldigt begränsat. Eventuellt skulle det gå att göra en tunn film med en matris av hallsensorer som kan placeras längs antingen induktor eller mothåll. Det innebär att sensorerna måste klara av höga tryck eftersom induktor och mothåll pressas samman med 12 MPa.

Fördelen med denna metod är att det handlar om att mäta storheter som är kopplade till förseglingen istället för att detektera en felaktig induktor. Det finns, som tidigare nämnts, ingen anledning att byta en induktor som trots en liten spricka i sidan utför fullgoda förseglingar. Genom att koncentrera arbetet kring förseglingen och mäta storheter som är kopplade till hur bra denna utförs kan eventuellt en behovsstyrd service implementeras för induktorn.

2.7 Tryckmätning längs induktorn

Om magnetfältet längs induktorns yta kan mätas samtidigt som en profil av trycket längs förseglingen mäts skulle en bra försegling kunna garanteras.

Försök till detta har utförts på Tetra Pak då en magnet och en lägessensor placerades på induktorn respektive mothållet, det vill säga på var sin sida om förpackningsmaterialet. Visserligen gjordes detta på den longitudinella förseglingen, men resultatet blev att förseglingspulsen störde ut sensorn totalt trots försök att filtrera signalen.[12]

Fördelen med denna metod är att den likt 2.6 och 2.8 mäter storheter som rör förseglingen istället för att detektera felaktiga induktorer.

2.8 Integrering av givare i induktorns närhet

Genom att placera givare i induktorns närhet, närmare bestämt i titanblocket som induktorn fästs i, kan storheter som rör förseglingen mätas, till exempel acceleration och temperatur. Givarna ska vara helt infällda för att inte riskera att vara i vägen eller skadas av produkt, förpackningsmaterial eller övriga maskindelar. Från titanblocket dras ledningar till spänningskälla och en DAQ-krets (Data Acquisition) för datainsamling. Spänningskällan och DAQ-kretsen kapslas in för att kunna placeras i maskinen och tåla omgivande fukt.

Tanken är att kunna skicka en sådan enhet till en kund som har problem med förseglingen. Bytet av titanblock görs enkelt av kunden och samtidigt som kunden fortsätter att producera fyllda förpackningar samlas data in för senare analys. Datan skickas sedan till Tetra Pak där en tekniker tittar på det och eventuellt kan avhjälpa felet. Det gör det billigare och snabbare för kunden att få problem undersökta samtidigt som förseglingsprocessen kan övervakas hos kund och produktionen inte nödvändigtvis måste avbrytas.

Fördelen med denna metod är att den i viss mån likt 2.6 och 2.7 mäter storheter som rör förseglingen istället för att enbart detektera felaktiga induktorer.

Att integrera givare i induktorns närhet är det förslag som valdes att gå vidare med i examensarbetet.

Kapitel 3

Storheter att mäta

Då beslutet att välja att integrera givare i induktorns närhet för att utröna huruvida existerande induktor kan förbättras var taget påbörjades arbetet med att ta reda på vilka storheter som är mest intressanta att mäta samt vad som kan detekteras med hjälp av dem.

Acceleration Om en accelerometer placeras i vardera ände på induktorn bör man kunna se ifall båda ändarna slår i förpackningsmaterialet samtidigt. Ifall de inte slår i samtidigt kan det till exempel bero på dubbelvikt förpackningsmaterial eller en kork som hamnat snett. En induktor kan nämligen bli obrukbar efter att ha slagit i korkar upprepade gånger.

Läge Det finns händelser som gör att induktorn hamnar snett och därmed lutar neråt. Möjligtvis skulle detta gå att detektera med ett gyro, men med tanke på hur liten risken är att induktorn hamnar snett samt svårigheter att mäta långsamma förändringar kan mätningar bli svåra att genomföra.

Temperatur En enkel termogivare ger temperaturen. Om temperaturen stiger för mycket indikerar det problem med kylningen, för hög effekt i förseglingspulsens eller onormala förluster beroende på något annat.

Kylvattenflöde Det är egentligen inte flödet genom spolen som är intressant utan det faktum att spolen inte blir för varm. Fel på kylningen kan lika gärna detekteras genom att mäta temperaturen och se till att den håller sig inom

vissa ramar. Enkelheten i temperaturmätning gör att mätning av kylvattenflödet blir överflödig.

Förseglingspuls Varje cykel för en A3/Flex är runt en sekund. Av denna sekund är ungefär 200 ms förseglingen då upp mot 100 A skickas med frekvensen 530 kHz genom spolen. Det är inte magnetfältet som är det intressanta i detta fall utan att säkerställa att förseglingspulsens verkligen skickas under den inställda tiden.

Eftersom risken för att förseglingspulsens inte skickas bedöms som försumbar utreds inte detta spåret vidare på grund av examensarbetets begränsade tid.

Kompression Induktorn och mothållet pressas ihop med tryck runt 10 MPa, vilket innebär mekaniska påfrestningar för induktorn. Genom att placera tøjningsgivare på titanblocket kan trycket på induktorn möjligtvis bestämmas. Det är en störig miljö för de väldigt små spänningsdifferenser som normalt uppkommer ur en bryggkoppling. Kanske går det att mäta med rätt förstärkare och signalbehandling, men det finns alternativ som verkar bättre.

Extrinsic Fabry-Perot interferometric (EFPI) och Fiber Bragg Grating (FBG) är två optiska metoder för att mäta kompression eller tøjning. Tekniken är totalt okänslig för elektromagnetiska störningar, men dessvärre dyr.[13]

Kostnaden och svårigheterna gör att det här spåret inte utreds vidare inom ramen för det här examensarbetet.

3.1 Specifikation av mätområden

En kravspecifikation ställdes upp för mätning av storheterna nämnda i kapitel 3 och presenteras i tabell 3.1. Siffrorna i tabell 3.1 är satta som förslag till utgångspunkt för försöken. Den enda siffran som verkligen står ut är mätområdet för accelerationen. Anledningen till att det är satt så högt är att dåliga gissningar bekräftades av en felaktig uträkning och därmed valdes ett stort mätområde.

Tabell 3.1: Kravspecifikation

Storhet	Mätområde	Mätoslaggrannhet	Samplingsfrekvens
Acceleration	± 100 g	1 g	≈ 1 kHz
Läge	$\pm 10^\circ$	$0,1^\circ$	≈ 1 kHz
Temperatur	$0-100$ °C	± 1 °C	1 Hz

Kapitel 4

Material och metoder

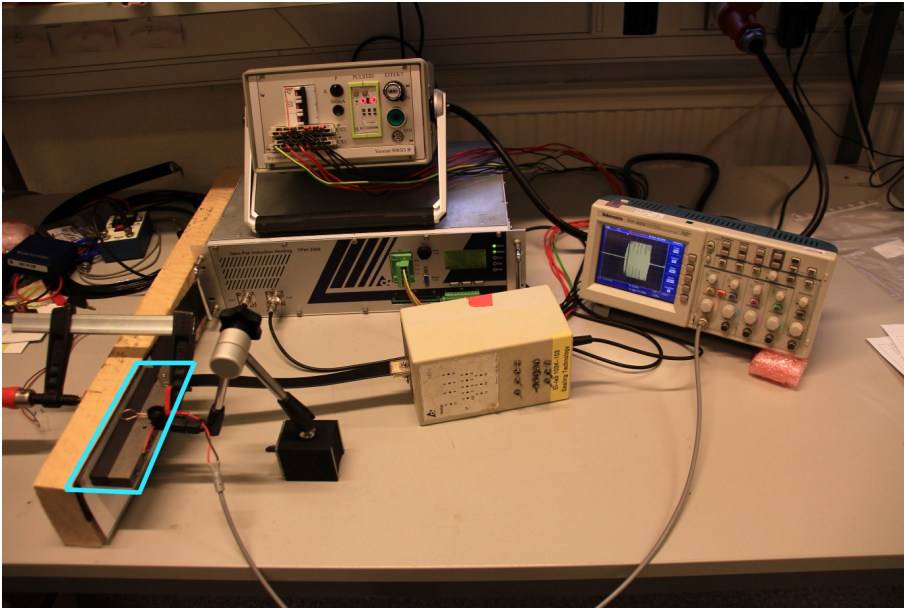
I detta kapitel går de specifika givare igenom som valts ut för att mäta acceleration, läge och temperatur som valdes ut i kapitel 3. Kopplingsschema och programkod finns tillgängliga i bilagorna A-D.

En förseglingsstation sattes ihop i labmiljö för att kunna studera förseglingspulsens inverkan på givarsignalerna. En generator kopplades via en impedanstransformator till en induktor som med hjälp av en skruvtving pressades mot en träbit med förpackningsmaterial emellan. Generatoren och impedanstransformatorn ställdes in för att uppställningen skulle fungera som en riktig försegling. Se figur 4.1 för uppställningen i labmiljö.

4.1 Beskrivning av införskaffade givare

Givarna nedan valdes för att de framför allt var tillräckligt små, men även billiga och lätta att införskaffa.

Accelerometer, ADXL193 från Analog Devices ADXL193 är en en-axlig accelerometer som bygger på principen om seismiska massor. Den är framtagen för att användas för krockkuddar i bilar vilket gör att den kan mäta väldigt höga accelerationer. Med en bandbredd på 400 Hz[14] uppfyller den tyvärr inte specifikationerna i tabell 3.1, men det beslutades ändå att fortsätta med denna givare. Accelerometern är kapslad i en 8-terminals LCC (Leadless Chip Carrier) med måtten 5x5x2 mm.



Figur 4.1: Uppställningen i labbet med generator, impedanstransformator och induktor. I den turkosa rutan ses induktorn (nästan svart) och titanblocket.

Gyro, L3G4200D från STMicroelectronics Ett av få tillräckligt små gyro i rätt prisklass. Det är ett tre-axligt gyro med digital utsignal och det mäter vinkelhastigheten med hjälp av principen om seismiska massor. Bandbredden på 800 Hz[15] är det enda som inte riktigt uppfyller kravspecifikationen i tabell 3.1, men det förmodades kunna fungera trots detta. Gyrot kommer kapslat i en LGA-16 (Land Grid Array) med måtten 4x4x1,1 mm.

Temperatursensor, LM335z från STMicroelectronics För att mäta temperatur valdes LM335z eftersom den fanns lätt tillgänglig på Tetra Pak och uppfyllde alla krav i tabell 3.1. Dess storlek är ungefär 5x5x4 mm i en TO92-kapsling (Transistor Outline)[16].

4.2 Mikrokontroller Arduino Duemilanove

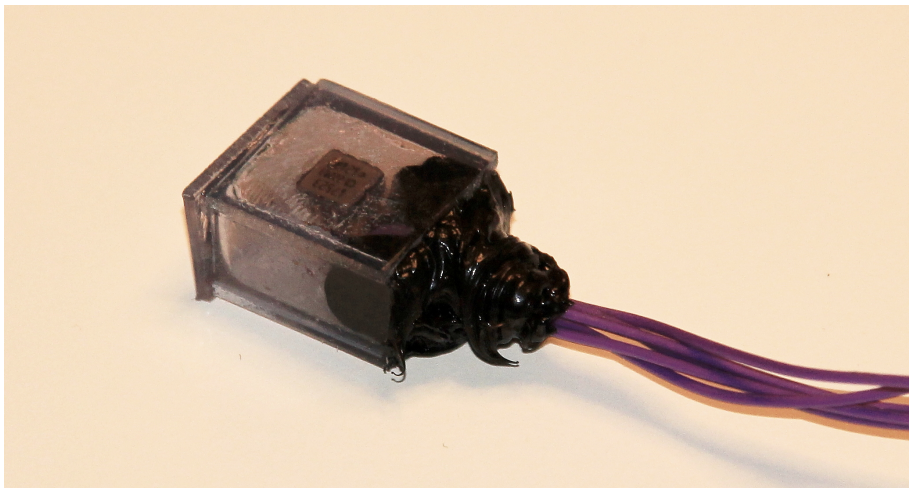
Arduino Duemilanove är ett mikrokontrollerkort baserat på en ATmega328-processor. Kortet har bland annat sex analoga in- och utgångar med 10-bitars AD-omvandlare och en intern oscillator på 16 MHz[17]. Som standard arbetar AD-omvandlaren med en klockfrekvens på 1/128 av den vanliga, vilket innebär

en maximal samplingsfrekvens på ungefär 10 kHz. Genom att använda färdiga bibliotek eller skriva egen maskinkod kan samplingshastigheten komma upp i 615 kHz[18]. I detta examensarbete används prototypkortet som ett enkelt sätt att förse givaren med rätt matningsspänning samt för att läsa utsignalen från givaren.

4.3 Inkoppling av givarna

Accelerometer, ADXL193 En LCC är en kapsling som är gjord för att ytmonteras på ett kretskort, därför är den svår att löda för hand. Med hjälp av mycket tålamod löddades ledningar fast och accelerometern kopplades enligt bilaga A. Kondensatorn är en avkopplingskondensator för att jämna ut eventuellt brus från spänningskällan.

Programmet för accelerometern i bilaga B skrevs och laddades i mikrokontrollern. Accelerometern utsattes för stötar i olika riktningar och vändes runt samtidigt som utsignalen från det skrivna programmet studerades för att verifiera att alla delar fungerade korrekt.



Figur 4.2: En ADXL193 införd i plastlåda tätad med silikon.

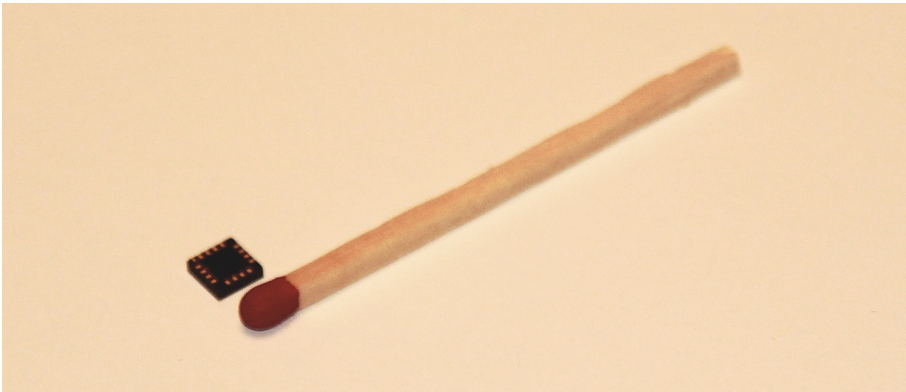
För att utröna huruvida accelerometern påverkades av det av induktorn skapade magnetfältet placerades sensorn på olika ställen i induktorns närhet. En förseglingspuls skickades samtidigt som utsignalen studerades dels via arduinoprogrammet, dels på ett oscilloskop.

Inför testkörning i en driftsatt A3/Flex var det nödvändigt att vattensäkra all

utrustning. Sensorn med kondensator placerades i en liten låda och det säkerställdes att den accelerationskänsliga axeln positionerades rätt. Därefter fylldes hållrum upp med silikon och nakna ledare isolerades, se figur 4.2. Ledarna förlängdes till två meters längd för att räkna ut genom luckan i maskinen. Slutligen verifierades att sensorn svarade likadant som tidigare.

Resultaten från dessa försök redovisas i kapitel 5.1.

Gyro, L3G4200D Lödningen gick inte att genomföra praktiskt, se kapitel 5.2.



Figur 4.3: En L3G4200D bredvid en normalstor tändsticka.

Temperatursensor, LM335z Temperaturgivaren kopplades enligt bilaga C. Resistorn ser till att temperaturgivaren får rätt ström, i det här fallet 2,5 mA.

Ett program för temperatursensorn, se bilaga D, laddades in i mikroprocessorn för att verifiera såväl sensorns funktion som att kopplingen var korrekt utförd. Genom arduinoprogrammet kontrollerades att sensorn svarade på uppvärmning och avkylning samt visade rätt rumstemperatur.

Sensorn placerades på flertalet positioner runt induktorn. Under tiden som förseglingspulser skickades studerades sensorns ut signaler dels via arduinoprogrammet, dels på ett oscilloskop. Detta gjordes för att undersöka om, och hur mycket, sensorn och kopplingen påverkas av förseglingspulsen.

Resultaten visas i kapitel 5.3.

4.4 Försök i en A3/Flex

4.4.1 Försök 1

Accelerometern ADXL193 fästes bakom titanblocket i en A3/Flex. Sladdarna drogs längs vattenslangar och ut ur maskinen där de kopplades till arduinon för strömförsörjning och till ett oscilloskop för att studera signalen. Som jämförelse placerades en kommersiell accelerometer (352A24 från PCB Piezotronics) med tillhörande enhet för signalkonditionering (480C02 från PCB Piezotronics) på samma ställe i maskinen. Dess utsignal kopplades till oscilloskopet. Maskinen startades och signalerna studerades på oscilloskopet.

Resultaten redovisas i kapitel 5.4.1.

4.4.2 Försök 2

Resultaten från försök 1 visade inte så mycket, bland annat på grund av begränsningar i det använda oscilloskopet. Därför gjordes en tid senare ett ytterligare försök i en driftsatt A3/Flex. Denna gång användes två kommersiella sensorer som fanns tillgängliga (en 352A21 och en 352A24, båda sensorer från PCB Piezotronics). Sensorerna placerades en åt gången på titanblockets baksida och kopplades via tillhörande enhet för signalkonditionering till en Yokogawa DL750 ScopeCorder för datainsamling. Skillnaden mellan sensorerna är mätområdet på ± 500 g respektive ± 50 g.

Med Yokogawa-instrumentet gavs en möjlighet att logga två sekunder med en samplingsfrekvens på 5 MHz. Syftet var att registrera hela förloppet med rörelser och accelerationer. Tack vare den höga samplingsfrekvensen förmodades vissa störningar, exempelvis förseglingspulsens runt 530 kHz, kunna plockas bort i efterhand med filtrering i frekvensplanet med hjälp av Fast Fourier Transform, FFT.

Resultaten redovisas i kapitel 5.4.2.

Kapitel 5

Resultat och diskussion

Resultaten från de införskaffade givarna redovisas i kapitel 5.1-5.3. Resultatet av praktiska mätningar med kommersiella sensorer i en driftsatt A3/Flex redovisas i kapitel 5.4.1 och 5.4.2. Kapitlet avslutas med en redogörelse över felkällor samt en diskussion kring resultaten.

5.1 Resultat av accelerometer, ADXL193

Då sensorn utsattes för stötar registrerades accelerationer som de skulle i fråga om riktning och relativ styrka.

Förseglingspulsens magnetfält påverkade accelerometern i vila så att den registrerade en acceleration av 1 g. Detta innebär att förseglingspulsen inte inverkar nämnvärt på accelerometerns funktion.

5.2 Resultat av gyro, L3G4200D

Efter många försök till lödning gav författaren upp att försöka koppla in det gyro som införskaffats. Det var alldeles för litet, se figur 4.3, för att författaren skulle ha en rimlig chans att löda fast ledningar. En viktig lärdom har dragits av detta; mindre är inte alltid bättre.

Möjligheten att tillverka ett eget kretskort undersöktes, men föll på att det inte fanns tid till detta inom examensarbetets tidsramar.

5.3 Resultat av temperatursensor, LM335z

Temperatursensorn visade en rumstemperatur som skiljde en grad från en sprit-termometer som fanns till hands och den höjdes vid uppvärmning och sjönk vid nedkylning på förväntat sätt.

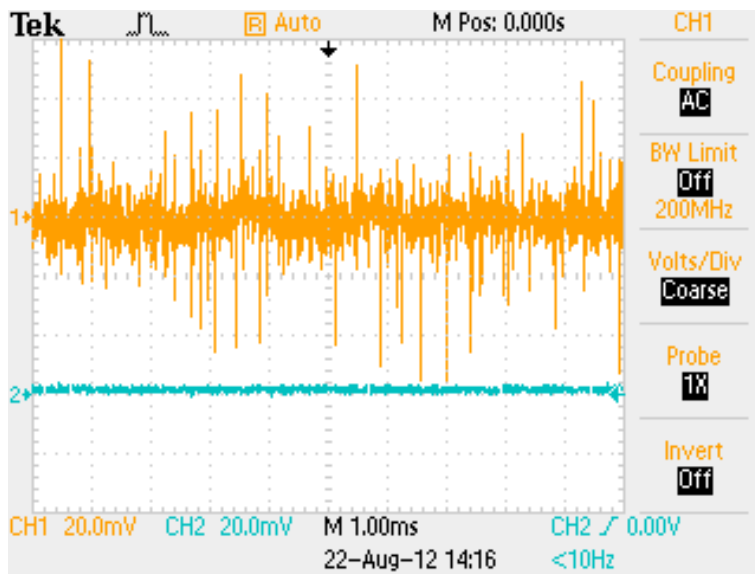
Då en förseglingspuls skickades genom induktorn med temperatursensorn placerad intill denna syntes små störningar på oscilloskopet, men utsignalen i programmet påverkades inte.

Slutsatser av detta är att det går utmärkt att mäta temperaturen utan att förseglingspulsen stör.

5.4 Resultat av försök i en driftsatt A3/Flex

5.4.1 Resultat av försök 1

Med både den egna sensorn (ADXL193) och den kommersiella sensorn (352A24) med signalbehandling placerade i en A3/Flex som var påslagen men utan att producera förpackningar, visade oscilloskopet en bild som återges i figur 5.1. ADXL193 är konstruerad att ge ett utslag på 8 mV/g[14] och 352A24 100 mV/g,[19].



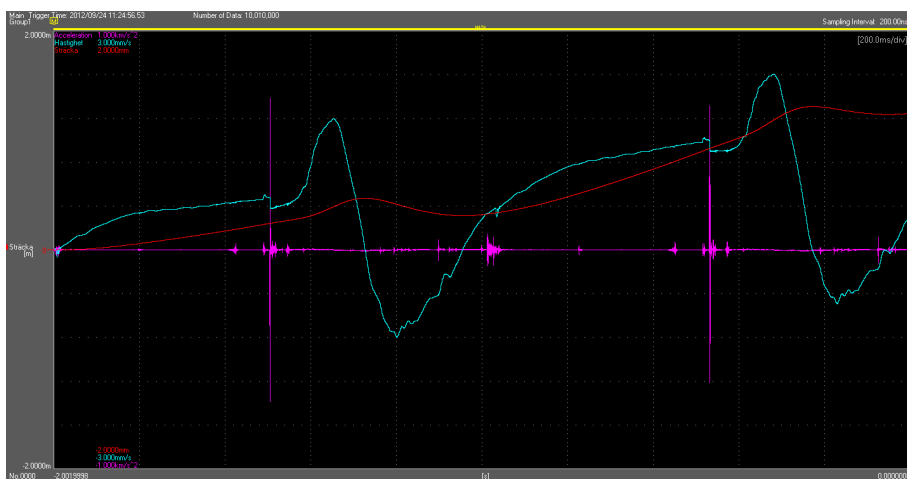
Figur 5.1: Orange kanal är ADXL193. Blå kanal är 352A24. Sensorerna är placerade i en påslagen, men inte arbetande A3/Flex.

Att skillnaden mellan den egna och den kommersiella sensorn är så stor beror förmodligen till största del på enheten för signalkonditionering samt att den kommersiella sensorn kopplades med en skärmad kabel. Den kommersiella sensorn är även skyddad i ett hölje av metall vilket minskar upplockade störningar.

På grund av den störande miljön och oscilloskopets begränsningar visade inte mätningarna i försök 1 något att dra slutsatser av. Därför gjordes försök 2 då ett oscilloskop med betydligt bättre samplingsmöjligheter användes.

5.4.2 Resultat av försök 2

Sambandet mellan utsignalen i volt hos dessa sensorer och accelerationen i g är linjärt. Därför gjordes en direkt integrering av signalen för att visa hastighet och ytterligare en integrering för att visa sträcka eller position. Resultatet av integreringen kan ses i figur 5.2. När armen har genomgått en rörelsecykel bör alla tre kurvor ha samma y-position som när rörelsen påbörjades, men den ljusblå kurvan, hastigheten, och den röda, sträckan, rör sig båda uppåt.

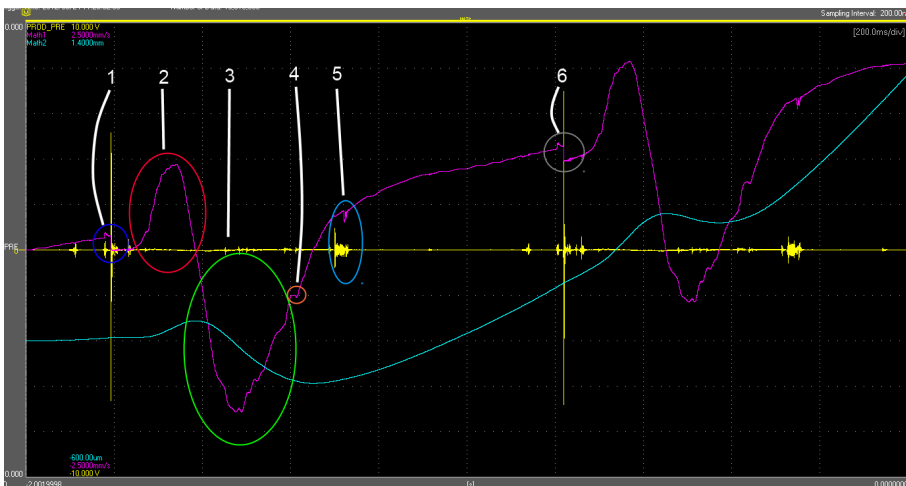


Figur 5.2: En två sekunder lång sampling av en accelerometer fäst bakom en induktor i en A3/Flex. Lila färg representerar acceleration, ljusblå visar hastighet och röd motsvarar sträcka.

Accelerometern är fäst på en yta som är lodrät under rörelsen nedåt, men lutar under färden uppåt (se figur 1.3). Axeln längs vilken accelerometern registrerar förändringar är normalen till ytan, vilket innebär att axeln också lutar olika i olika delar av förloppet. Detta gör att kurvorna som representerar hastighet och

sträcka i figur 5.2 ser ut att driva iväg. Detta insågs inte förrän efter det att försök 2 var avslutat.

Flera mätningar av de två accelerometrarna gjordes för att fånga förseglingsprocessen i sin helhet. Ett exempel av dessa samplings kan ses i figur 5.3. Den gula kurvan är signalen från accelerometern och representerar acceleration. Genom att integrera denna kurva en respektive två gånger fås den lila respektive den turkosa kurvan som representerar hastighet och sträcka. Nedan följer en tolkning till de sex inringade områdena i figur 5.3. Se gärna tillbaka på figur 1.3 för att se armarnas rörelser.



Figur 5.3: En två sekunder lång sampling av en accelerometer fäst bakom en induktor i en A3/Flex. Gul kurva är accelerometers utsignal, lila kurva representerar hastighet och turkos kurva representerar sträcka.

- 1: Mörkblå** Detta är starten på rörelsen för den ena armen som induktorn och accelerometern sitter på. Armen befinner sig i sitt bottenläge i lodrät led och börjar tippas utåt för att på sin väg upp kunna passera den andra armen, som för tillfället är på väg ner.
- 2: Röd** Armen fortsätter att tippas utåt och når sitt maximala avstånd från förpackningsmaterialet då den lila kurvan (hastigheten) skär x-axeln.
- 3: Grön** Nu rör sig armen inåt mot förpackningsmaterialet igen och den lodräta rörelsen avslutas. Ifall en kork hade hamnat snett eller om pappret hade varit dubbelvikt är det under denna period som en eventuell detektion av dessa fel kan göras.
- 4: Orange** Den korta perioden på ungefär 20 ms med konstant hastighet antas vara när hakarna, se figur 1.4, tar i varandra och börjar pressa induktorn

mot mothållet. Efter dessa 20 ms bromsas farten in eftersom förpackningsmaterialet börjar deformeras. I bilaga E förklaras varför detta skeende antas vara orsaken till den konstanta hastigheten.

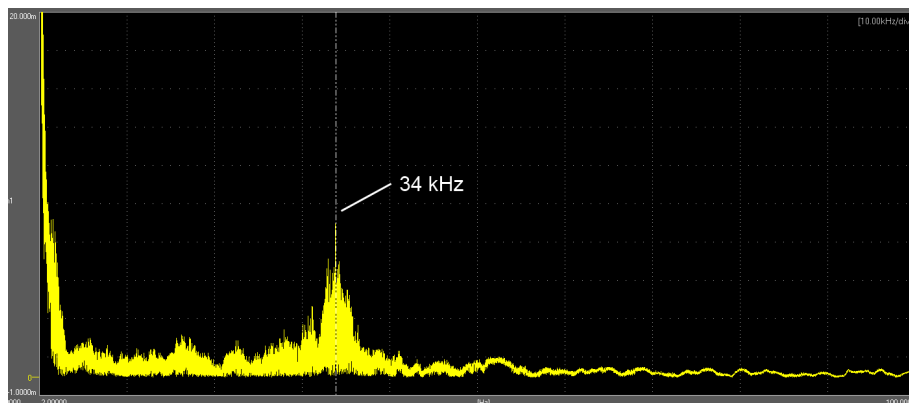
5: Ljusblå Signalerna från accelerometern antas vara vibrationer och störningar från den andra armen som nu befinner sig i sitt bottenläge och börjar tippa utåt och röra sig uppåt. Det antas vara vid den här tidpunkten som förseglingspulsens skickas.

6: Grå Den första armen är åter i sitt nedersta läge och påbörjar en ny cykel.

Det förväntades att förseglingspulsens skulle plockas upp som störningar, men en FFT-analys av datan visar ingen frekvenstopp vid dryga 500 kHz. Det kan bero på att kablar och sensor är bra skärmade och/eller att bandbredden för enheten för signalkonditionering (480C02) bara går upp till 500 kHz[20].

Däremot så ses sensorernas resonansfrekvenser som tydliga toppar. En FFT av en mätning utförd med sensor 352A24 visar en frekvenstopp runt 34 kHz under stora delar av förloppet, se figur 5.4. Enligt databladet för sensorn ska resonansfrekvensen vara ≥ 30 kHz[19].

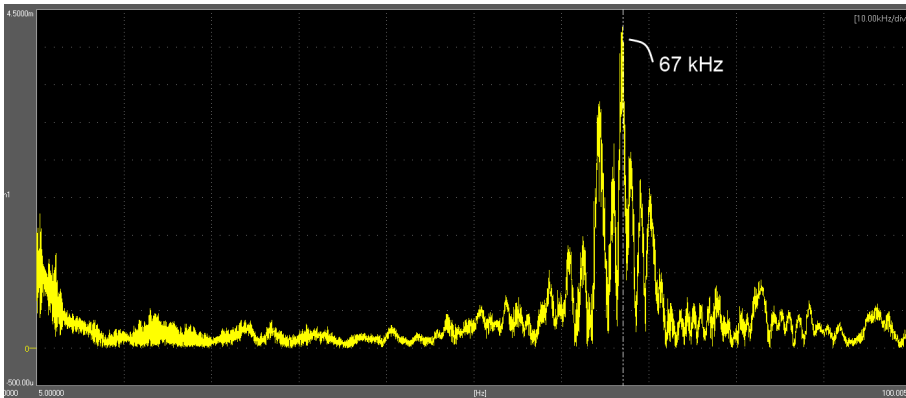
En FFT av en mätning med sensor 352A21 har en lika tydlig topp runt 67 kHz, se figur 5.5. Databladet anger att resonansfrekvensen är ≥ 50 kHz[21].



Figur 5.4: Frekvensspektrum för sensor 352A24 med dess resonansfrekvens på 34 kHz.

5.5 Felkällor

Den störande miljön i en driftsatt A3/Flex är en stor källa till störningar. Det går tyvärr inte att komma runt detta eftersom mätningar som rör förseglingen



Figur 5.5: Frekvensspektrum för sensor 352A21 med dess resonansfrekvens på 67 kHz.

måste utföras i omedelbar närhet till induktorn. En enkel EMI-analys kring det störande magnetfältet kring induktorn har utförts i bilaga F. Den visar att magnetfältet inte är överdrivet starkt, men det finns där ändå. Det finns mätmetoder som är bättre lämpade för att hantera den störande miljön, till exempel hade sensorer som bygger på optik kunnat användas.

I försök 1 var oscilloskopets samplingsmöjligheter en begränsande faktor men detta förändrades till försök 2 då ett annat instrument istället användes.

I försöken som utfördes i en A3/Flex med accelerometrar placerades dessa felaktigt, vilket insågs i efterhand. De fästes på en yta med olika lutning i den uppåtgående och nedåtgående rörelsen, vilket resulterar i accelerationen inte alltid mäts längs den avsedda axeln. En möjlig lösning skulle kunna vara att kombinera med ett gyro för att kunna räkna fram rätt accelerationen. Att bara använda en tre-axlig accelerometer kan räcka då hela rörelsen är känd och definierad, förutsatt att inga oförutsedda händelser sker.

Infästningen av accelerometern gjordes i försök 1 och 2 med hjälp av petrovax. Det är troligt att accelerometern inte fästes helt plant mot underlaget vilket bidrar till samma fel som ovan.

Slutligen går det inte att bortse från en möjlig felkälla som härrör från författarens lekmannamässiga kunskap i fråga om lödning.

5.6 Diskussion

I examensarbetets inledning hölls ett möte med kollegor, med kunskap om induktorer och försegling, på Tetra Pak där de fick komma med förslag på examensarbetets inriktning. Det fanns många idéer och mycket kunskap, men jag tror att det hade varit bättre om detta moment inte hade ingått i examensarbetet. Om Tetra Pak istället hade ställt upp examensarbetets inriktning och mål innan examensarbetet påbörjades så hade det funnits mer tid för mig som examensarbetare att hinna göra fler praktiska försök och successivt förfina dessa. Dock var det roligt och väldigt intressant att vara en del av utvecklingsteamet från första början.

Av föreslagna angreppssätt i kapitel 2 som valdes bort tycker jag att 2.6 och 2.7 fortfarande borde vara intressanta ur Tetra Paks perspektiv. Inte minst eftersom en mätning av magnetfält respektive tryck längs hela induktorn samtidigt i realtid kan garantera en bra försegling. De andra metoderna i kapitel 2 handlar om att försöka detektera fel hos induktorn och som tidigare nämnts är det inte säkert att felaktigheter hos induktorn direkt medför undermåliga förseglingar. Jag tror att en tryckprofil längs induktorn hade varit möjlig att ta fram med hjälp av optiska sensorer. Likaså finns det optiska varianter för att mäta magnetfält. Att de optiska varianterna nämns är självfallet för att miljön i induktorns närhet är störande för elektriska signaler, medan optiska sensorer är helt oberörda av dessa störningar.

Av de sex diskuterade storheterna i kapitel 3 anser jag, även efter utförda försök, att examensarbetet fokuserade på de tre mest intressanta för att detektera felaktiga förseglingar. Dock tycker jag att det är synd att praktiska hinder kom i vägen för att implementera gyrot eftersom det hade varit givande att se vad det hade kunnat tillföra examensarbetet.

Fördelen med att utgå från den nakna givaren är att jag fick förståelse för svårigheterna kring att skapa en sensor. Nackdelen är dock att vissa mätningar var omöjliga att genomföra i detta examensarbete, såsom försök med gyrot. Efter genomfört examensarbete tror jag att det hade varit bättre att använda kommersiella sensorer och testa vilka fel som kan detekteras och på vilket sätt.

Konstruktionen hos A3/Flex och hur armarna rör sig medförde oförutsedda problem kring att placera accelerometrarna. Jag önskar att jag hade uppmärksammat detta tidigare, men samtidigt hade det inte varit ett problem om gyrot hade kunnat användas eftersom jag då hade kunnat kompensera för detta. Det skulle gå att göra en riktig mätning med en tre-axlig accelerometer förutsatt att rörelsemönstret är känt och utan avvikelser. Accelerometrar kan inte skilja på acceleration som kommer från gravitation eller från en rörelse, så när rörelsen

är okänd krävs till exempel ett gyro för att veta vilken acceleration som registreras.

Störningarna som plockas upp av den kommersiella sensorn i försök 1, se figur 5.1, har peak-värde på ungefär 1 mV. Enligt databladet för sensor 352A24 är känsligheten 100 mV/g vilket skulle innebära att möjligheterna att avläsa ett tillräckligt korrekt värde är goda. Däremot är vibrationer ett mycket större problem, vilket märktes tydligt då maskinen producerade förpackningar. I princip under alla perioder under förloppet i figur 5.3 som valdes för en FFT sågs frekvenstoppen för den förmodade egenfrekvensen. Detta tycker jag visar att vibrationer och därtill hörande störningar påverkar sensorns utsignal under praktiskt taget hela förloppet.

Det bör inte vara B-fält som stör mätningarna. Anledningarna är att magnetfältet är svagare än väntat i induktorns närmiljö, se en enkel EMI-analys i bilaga F samt det faktum att förseglingspulsen inte alls plockades upp i försök 2. I utrymmet kring förseglingen i en A3/Flex ryms även många motorer. De kan eventuellt stå för delar av störningarna genom elektriska fält, men det har inte undersökts i detta examensarbete.

Ett alternativ till de sensorer som använts är att nyttja teknik som är okänslig mot elektromagnetiska störningar. Exempel på detta är optiska töjningsgivare som nämndes kort i kapitel 3. Vidare finns optiska varianter för mätning av såväl acceleration som temperatur. Det bör dock beaktas att dessa har ett avsevärt högre pris än konventionella sensorer.

En hög samplingsfrekvens genererar snabbt mycket data, vilket kan bli ett problem vid insamling och analys i efterhand. Förmodligen är en samplingsfrekvens på dubbla egenfrekvensen ett minimum om den ska kunna filtreras bort i frekvensplanet. Om datan inte ska sparas utan den kan analyseras i realtid spelar inte den snabbt ökande datamängden någon större roll.

Eftersom det inte finns några data för många av de nämnda storheterna under en försegling, så finns det heller ingen data då trasiga eller skadade induktorer använts. En tanke som fanns under hela examensarbetets gång var att utföra försök kring detta. Genom att mäta så många storheter som möjligt under ett större antal förseglingscyklar för både hela induktorer och induktorer med kända fel skulle man kanske kunna se vissa avvikelser i mätvärden och korrelera dem med ett fel. Tyvärr fanns det ingen möjlighet att göra dessa försök inom ramen för detta examensarbete, men verktygen för att utföra testerna finns.

En produkt för en platsoberoende felsökning med sensorer skulle säkerligen kunna tas fram, men inte med detta examensarbete som grund. Det krävs tester på vilka fel som eventuellt kan upptäckas och på vilket sätt det bäst görs. Under testerna kan även förseglingarna undersökas för att se om och hur dessa påver-

kas av olika fel. Ett fel hos induktorn som ger en avvikelse i en av storheterna behöver ju inte betyda att förseglingens kvalitet påverkas.

Om det finns starka korrelationer mellan ett avvikande värde hos en av de uppmätta storheterna och förseglingens kvalitet skulle det kunna leda till sensorintegration i samtliga maskiner och då är steget till behovsstyrd service av induktorer inte långt borta.

Litteraturförteckning

- [1] *Tetra Pak history:*
http://www.tetrapak.com/about_tetra_pak/the_company/history/Pages/Ourhistory.aspx (Besökt: 2012-08).
- [2] *Tetra Pak in figures:*
http://www.tetrapak.com/about_tetra_pak/the_company/facts_and_figures/pages/default.aspx (Besökt: 2012-08).
- [3] *Tetra Pak homepage:*
<http://www.tetrapak.com/Pages/default.aspx> (Besökt: 2012-09).
- [4] *Tetra Pak A3/Flex iLine:*
http://www.tetrapak.com/products_and_services/filling_machines/tetra_pak_a3_flex/pages/default.aspx (Besökt: 2012-08).
- [5] *Tetra Pak A3/Flex iLine:*
http://www.tetrapak.com/products_and_services/filling_machines/tetra_pak_a3_flex/Pages/A3FlexLineXplorer.aspx (Besökt: 2012-08).
- [6] *Aseptic packaging:*
http://www.tetrapak.com/products_and_services/aseptic_solutions/aseptic_packaging/pages/default.aspx (Besökt: 2012-09).
- [7] Håkan Andersson, *Induction Heating as sealing method at Tetra Pak*. Internt dokument, 1998.
- [8] *Jaw_systems_movements.xls*, Internt dokument.
- [9] Katarina Strömberg, *Technology Development Report RedInC Track Y3 Compound Cracking Measure and Analysis*. Internt dokument, 2011.

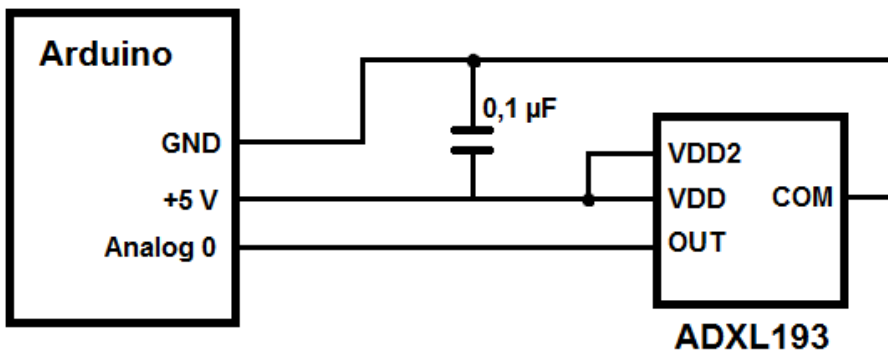
- [10] Mustafa Göktepe, Non-destructive Crack Detection by Capturing Local Flux Leakage Field, *Sensors & Actuators: A Physical*, Volym 91, Nummer 1, 2001.
- [11] S.Z. Zhang, Y.J. Yan, Z.Y. Wu, Electric Potential Detection for Structural Surface Crack Using Coating Sensors, *Sensors & Actuators: A Physical*, Volym 137, Nummer 2, 2007.
- [12] Michalis Chatijandreou, *Confidential report 0007712*, Internt dokument, 1998.
- [13] J.S. Leng, A. Asundi, Non-destructive Evaluation of Smart Materials by Using Extrinsic Fabry–Perot Interferometric and Fiber Bragg Grating Sensors, *NDT and E International*, Volym 35, Nummer 4, 2002.
- [14] *Datasheet for ADXL193*
<http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Accelerometer/ADXL193.pdf> (Besökt: 2012-10).
- [15] *Datasheet for L3G4200D*
http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00265057.pdf (Besökt: 2012-10).
- [16] *Datasheet for LM335z*
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/2158.pdf> (Besökt: 2012-10).
- [17] *Arduinos hemsida*: <http://arduino.cc/> (Besökt: 2012-09).
- [18] David A. Mellis, *Sensor Library for Arduino*
<http://dam.mellis.org/Mellis%20-%20Sensor%20Library%20for%20Arduino%20-%20Paper.pdf> 2010
- [19] *Datasheet for 352A24*
http://pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/Vibration/products/specsheets/352A24_B.pdf (Besökt: 2012-10).
- [20] *Datasheet for 480C02*
http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/Electronics/products/specsheets/480C02_L.pdf (Besökt: 2012-10).
- [21] *Datasheet for 352A21*
http://pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/

Vibration/products/specsheets/352A21_H.pdf (Besökt: 2012-10).

[22] *TP A3_flex 200V_family.xls*, Internt dokument.

Bilaga A

Kopplingschema för accelerometer ADXL193



Bilaga B

Programkod för accelerometer ADXL193

```
int accReading, acc;
float accInG;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0, INPUT);
}

void loop()
{
  \\Läser av ingången
  accReading = analogRead(0);

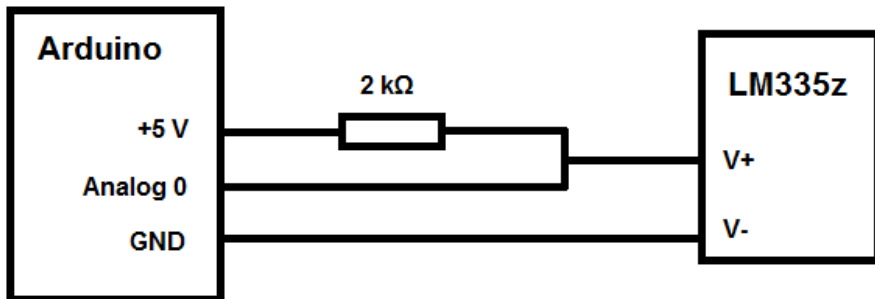
  \\Räknar om spänningen till g
  accInG = ((accReading - 504.5) * 5.0 / 1024.0) / 0.008;

  acc = accInG;

  \\Skriver ut accelerationen på skärmen
  Serial.print("Acceleration: ");
  Serial.println(acc);
}
```


Bilaga C

Kopplingschema för temperaturgivare LM335z



Bilaga D

Programkod för temperaturgivare LM335z

```
float temp_in_celsius = 0, temp_in_kelvin=0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

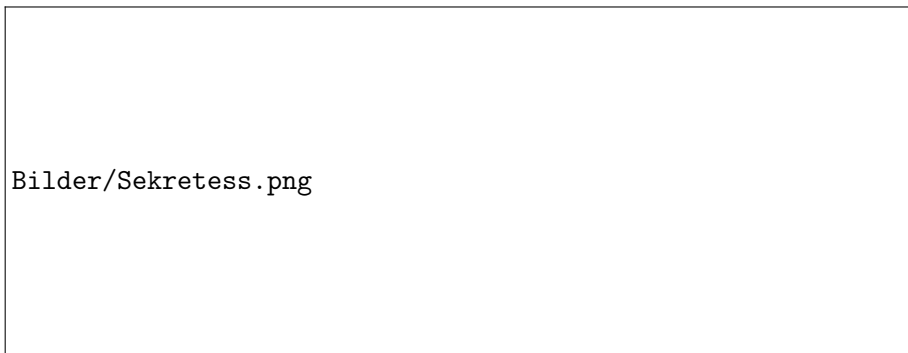
void loop()
{
  //Läser ingången och konverterar till Kelvin
  temp_in_kelvin = analogRead(0) * 0.004882812 * 100;

  //Konverterar Kelvin till Celsius
  temp_in_celsius = temp_in_kelvin - 273.15;

  //Skriver ut temperaturen på skärmen
  Serial.print("Celsius: ");
  Serial.print(temp_in_celsius);
}
```


Bilaga E

Studie av hakarnas rörelse



Figur E.1: Ett timingdiagram över olika delar inblandade i förseglingen. Den turkosa kurvan visar hydraultrycket för hakarna.[22]

Den turkosa kurvan i figur E.1 representerar hydraultrycket för hakarna, som visas i figur 1.4. Under perioden då hydraultrycket stiger kraftigt ses en plåtå. Den är markerad med de två lodräta markörerna, gul och grön. Den markerade tiden tros vara då hakarna har tagit i varandra, men fortfarande kan röra sig fritt. Kort därefter slår induktor och mothåll i förpackningsmaterialet från varsitt håll. Då bromsas rörelsen upp genom att förpackningsmaterialet deformeras och hydraultrycket stiger igen.

Denna period på cirka 25 ms är det som förmodligen ses i den orange ringen i figur 5.3.

Bilaga F

EMI-analys

Med labuppställningen gjordes en enklare EMI-analys för att undersöka hur stort magnetfältet kring en typisk induktor är. En ögla av koppartråd kopplades så att den kortslöt en oscilloskopgång. Ögla placerades på olika ställen och i olika vinklar i induktorns närhet. Samtidigt som en 100 ms lång förseglingspuls skickades studerades oscilloskopet, se figur F.1.

Ur datan från dessa mätningar skattades B-fältet med hjälp av sambanden i ekvation F.1 och F.2.

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{dB}{dt}A \quad (\text{F.1})$$

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt} \quad (\text{F.2})$$

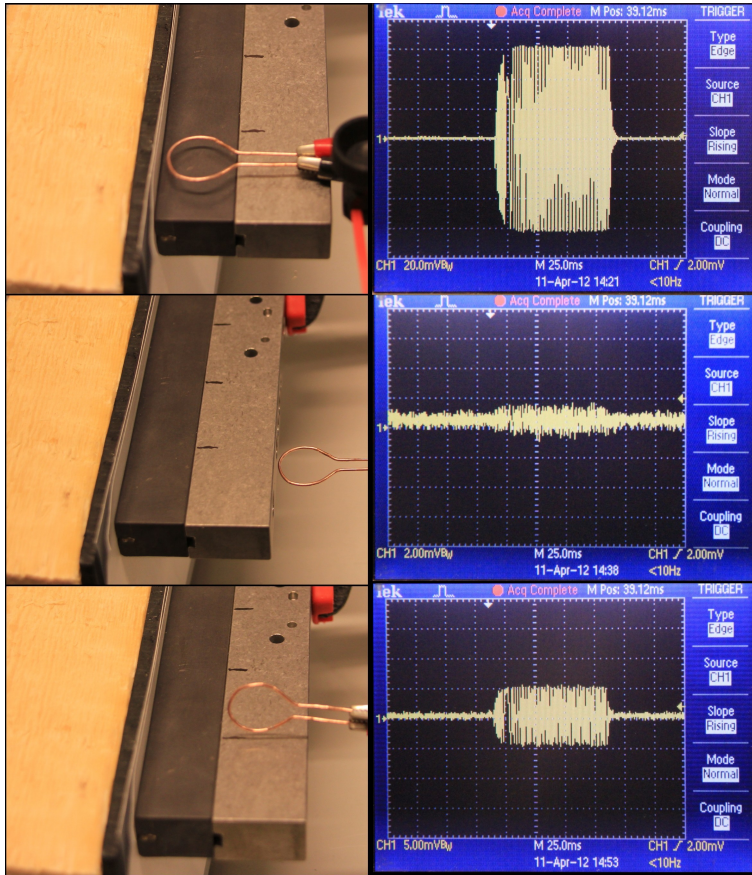
där φ är det magnetiska flödet, B är magnetfältet, A är slingans area, ε är den elektromotoriska kraften och N är antal varv på spolen.

Ekvation F.1 och F.2 kombineras och flyttas runt till

$$\frac{dB}{dt} = -\frac{\varepsilon}{A \cdot N} \quad (\text{F.3})$$

där $A = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, $N = 1$ och ε förmodas vara en sinusfunktion med frekvens 500 kHz och maximal amplitud enligt oscilloskopmätningen, till exempel 30 mV. Då fås $\varepsilon = 30 \cdot 10^{-3} \sin(2\pi 5 \cdot 10^5 t)$ vilket ger

$$B = \int -100 \sin(10^6 \pi t) dt = \frac{\cos(10^6 \pi t)}{10^4 \pi} \quad (\text{F.4})$$



Figur F.1: Slingan som användes för att skatta B-fältet i olika positioner och vinklar kring induktorn (den mörka biten, den ljusgrå är titanblocket) till vänster. Till höger ses motsvarande avläsning på oscilloskopet då en 100 ms lång förseglingspuls skickades genom induktorn.

B-fältet har i exemplet med 30 mV en maximal amplitud på $(\pi 10^4)^{-1} = 3 \cdot 10^{-5}$ T. Av alla gjorda mätningar är det högsta skattade B-fältet $60 \mu\text{T}$.