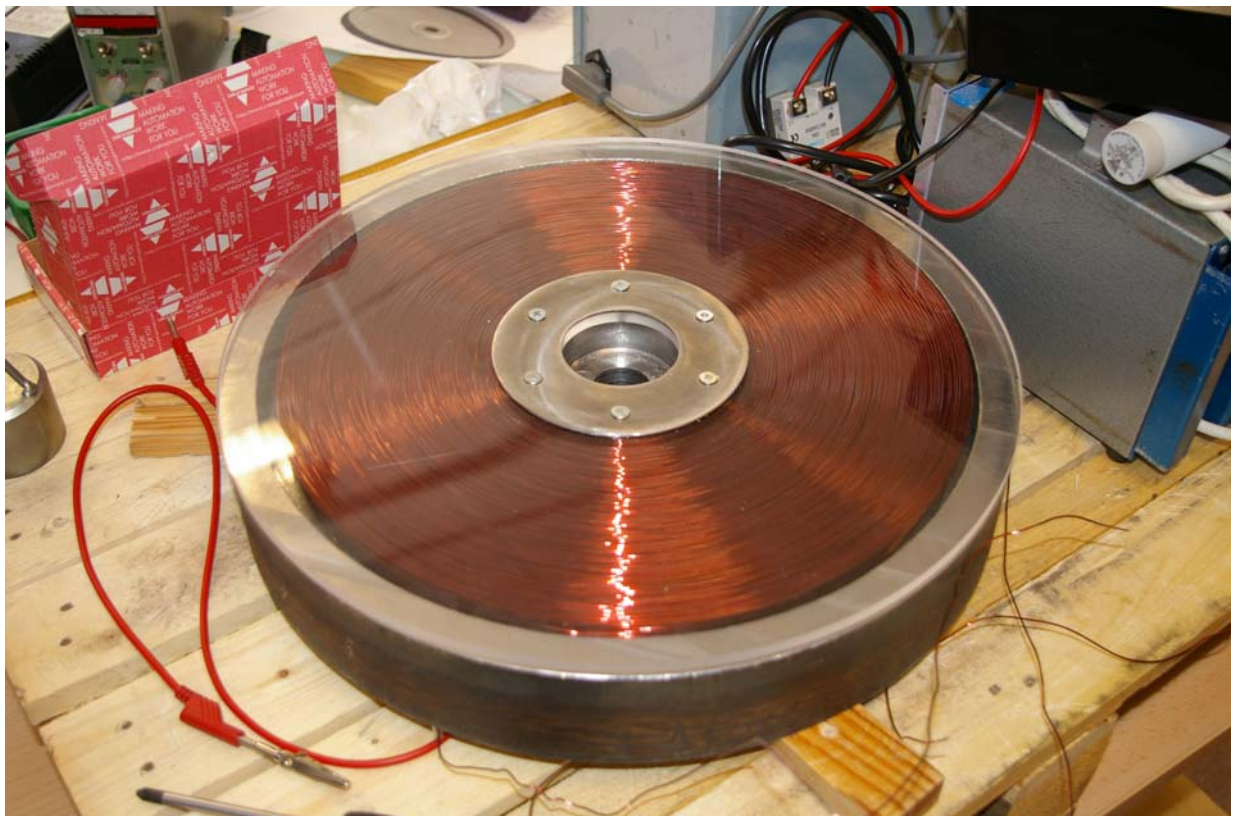


Projekt Pendel



Av: Felix Stridsberg, Mikael Persson, Erik Hallqvist

Innehållsförteckning

Projektbeskrivning.....	3
Bakgrund	3
Metodbeskrivning.....	4
Genomförande	9
Elektrisk krets.....	9
Lödning	10
Sensorn	11
Slutförandet av den elektriska kretsen.....	11
Järnkärnan.....	12
Material.....	12
Leverans och tillverkning.....	13
Spolen.....	13
Planing av rör	14
Förstärkning av spolen	14
Jämförelse.....	15
Resultat	16
Tidsplan	16
Budget	16
Kunskap.....	16
Sammanfattning.....	17
Ritningar	bil.

Projektbeskrivning

Vårt projekt som gick under titeln Pendel började med ett projekt som avslutades förra året. En stor pendel byggdes i vår skola, en pendel som ska kunna påvisa jordens rotation. Själva syftet med denna pendel var att den skulle svänga så länge som möjligt. Enligt fysikens lagar ska pendeln fortsätta att pendla i samma riktning hela tiden och jorden ska helt enkelt rotera under pendeln. I praktiken ser det ut som att pendeln sakta men säkert byter riktning men i själva verket är det jorden som roterar.

Bakgrund

Problemet som uppstod var att denna pendel inte svängde så länge som man önskade. Pendeln stod helt still redan efter lite mer än 6 timmar. Vår idé var att bygga ett system som skulle hålla igång denna pendel så att den inte stannade över huvud taget. Första tanken var att något skulle skjuta på pendeln så fort den passerat mitten. Efter lite forskning och efter att ha spanat in andras lösningar kom vi dock fram till att det bästa vore att bygga ett magnetsystem som sitter i pendelns jämviktsläge och drar pendeln till sig så fort den närmar sig mitten. Vi kikade lite på en skola i Motala och ett universitet i Tyskland som båda löst detta på samma sätt, med en magnet. Där startade vårt projekt, vi skulle ta till vara på dessa redan framforskade lösningar och bygga en variant som höll igång även vår pendel.

Själva anordningen består av två delar. En elektrisk krets som styr själva magnet och en magnet som sätter fart på själva pendeln. El-kretsen skulle fungera så att den släpper igenom ström till magneten hela tiden. Men om något befinner sig ovanför mitten på magneten så slås strömmen av i en viss tid och sedan slås på igen.

Metodbeskrivning

Idén om hur arbetet skulle gå till och se ut fick vi utav den Tyska pendeln och den i Motala. Kirchhoff-Institut für Physik i Heidelberg gav oss en ritning av en elektromagnet så vi kunde få en uppfattning om hur den skulle se ut. Vi fick också fakta om spolens varv, pendels vikt osv, dock fick vi ingen hjälp med hur styrningen fungerade, det fick vi lösa själv.

Tyskarnas pendel var väldigt lik våran och därmed kunde vi göra våran elektromagnet lik deras.

Jämförelse, pendeln:

Tyskarnas Sandvikens

Pendelns längd	-	11 m	9 m
Kulans vikt	-	69,3 kg	63,8 kg
Kulans diameter	-	250 mm	250 mm
Pendeltid	-	6,677 s	ca 6 s

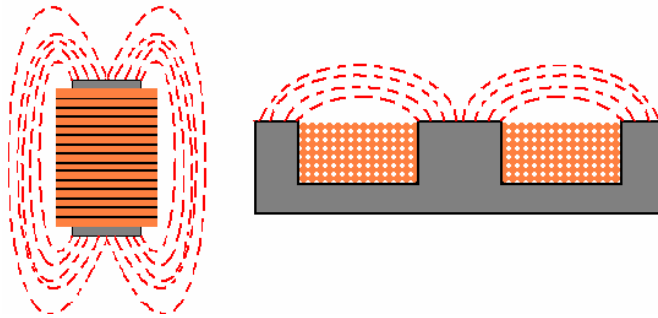
Tyskarnas elektromagnet:

Antal varv	-	2120
Diameter	-	310 mm
Trådens diameter	-	1 mm

Efter mycket diskuterande och skisser så bestämde vi oss för följande:

Antal varv	-	ca 1800
Diameter	-	400 mm
Trådens diameter	-	1 mm

Utseendet på elektromagneten är lite udda pga att vi vill få ett stort och brett magnetfält. Här visas skillnaden på hur magnetfältet går med två olika elektromagneter.



Själva järnkärnan består av en rund stålplatta av materialet SIS 1312 som sedan frästs ur efter våra mått, se fig 1:

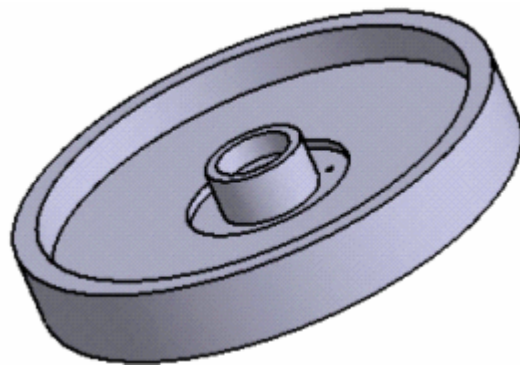
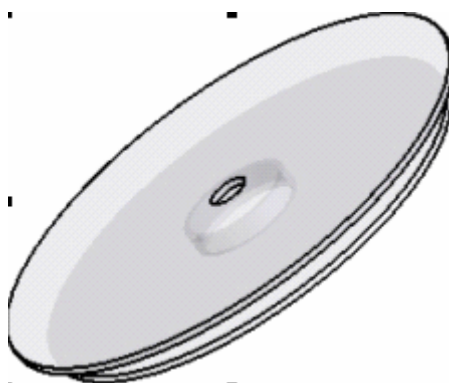


Fig. 1

Spolen ska sedan ligga i järnkärnan som det syns i fig. 1.

Spolen består av ett plexiglasrör och två plexiglasskivor som limmats ihop, det förstärks sedan utav brickor i rostfritt stål på varsin sida, se fig 2.



.Fig. 2

Därefter lindas koppartråd runt spolen, och spolen sänks ner i järnkärna, se fig 3

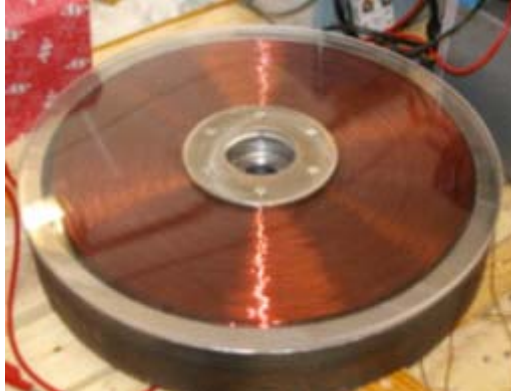
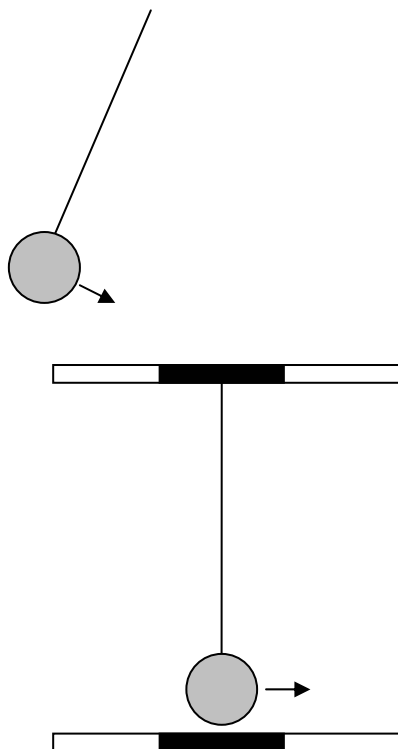


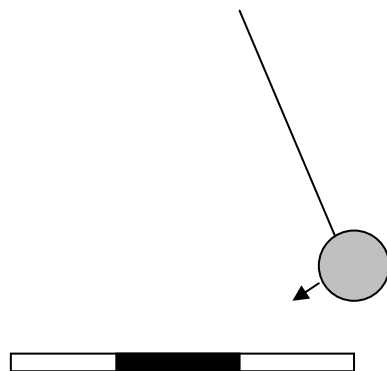
Fig. 3

Eftersom elektromagnetens placering är i mitten så måste styrningen fungera enligt denna teori:



Vid detta läge så är elektromagneten (Svarta) påslagen och attraherar därmed pendeln

När pendeln sedan passerar jämviktsläget så slås elektromagneten av med hjälp utav en sensor.



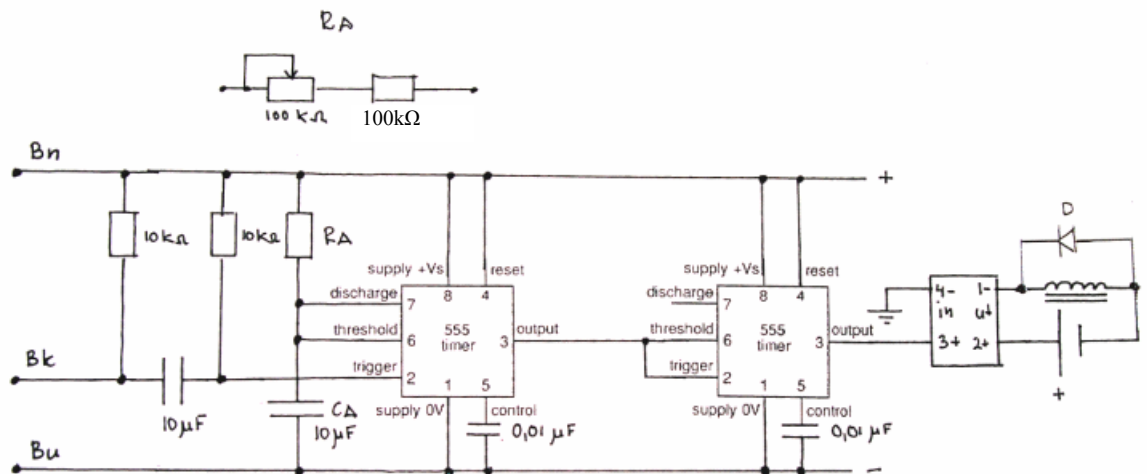
Då pendeln vänder tillbaka så ska elektromagneten slås på igen, och detta upprepas gång på gång.

Detta ska då styras utav en elektrisk krets.

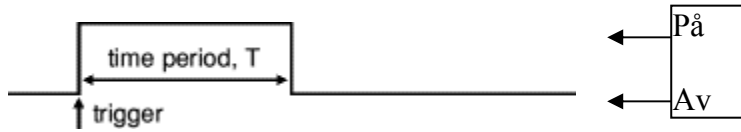
Kretsen fungerar så att den med hjälp utav sensorn (en kapacitiv givare) slår på en timer när pendeln passerar jämviktsläget, timern består av en 555:a som med andra komponenter utgör en fördröjning. Under den fördröjningen så är elektromagneten avslagen och pendeln fortsätter upp mot sin vändpunkt. När pendeln sedan vänder så har elektromagneten slagits på igen och attraherar pendeln och ger därmed pendeln lite extra fart, och tack vara den farten så kommer pendeln kunna pendla oavbrutet. Hur kretsen kunde se ut fick vi hjälp utav Ernst på elprogrammet. Anders konstruerade sedan nedanstående krets.

Kopplingsschema:

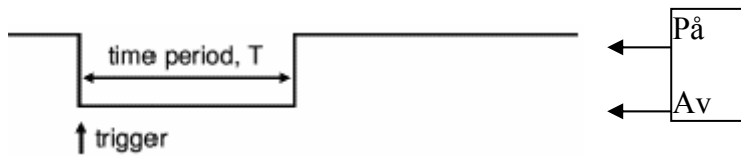
Kapacitiv sensor Tidskrets Inverterare Relä och elektromagnet



Reaktionen som skrev i kretsen är följande:



Eftersom reaktionen blir omvänd så lägger vi till en inverterare som inverterar reaktionen, dvs:



Genomförande

Elektrisk krets

Vi valde att starta projektet med den elektriska kretsen för att Anders Lönn som är vår handledare inom elektronik ansåg att det här var den svåraste delen i projektet. Det är den elektriska kretsen som slår av och på magneten som vi sedan ska bygga och om inte hjärnan i projektet fungerar så är det ingen idé att bygga magneten. Efter att ha planerat mycket och tittat över en ritning som vår elektroniklärare och projektledare Anders Lönn hade gjort, med hjälp av ett förslag från Ernst Pötzcher, med två stycken kretsar som heter 555:or så gick vi till el-programmet för att göra en beställning på de komponenter vi behövde.

Saker som vi behövde till kretsen var:

- * 2 TLC555CP-tidskretsar, Texas Instrument. Dessa är huvudkomponenterna i kretsen och fungerar som tidskrets och inverterare.
- * 2 Hållare till 555:orna
- * 1 Halvledarrelä 10A/200V, 84 137 850 FET, Crouzet
- * 1 Kapacitiv givare EC3025NPAPL, Carlo Gavazzi
- * 1 diod (10A) LT10A04, Lite-On
- * 2 resistorer $10k\Omega$
- * 1 resistor $100k\Omega$
- * 1 potentiometer $100k\Omega$
- * 1 kondensator, elektrolyt $10\mu F$
- * 2 kondensatorer, keramiska $0,01\mu F$
- * 1 kondensator, polypropylen $10\mu F$
- * 1 elektromagnet med järnkärna
- * 1 spänningsaggregat 0-15 VDC
- * 1 spänningsaggregat 0- 30VDC
- * En kopparplatta, där allt ska lödas fast
- * Sladdar

Det var dock många av dessa komponenter som vi blev tvungen att vänta med att beställa för att vara säkra på att vi beställde rätt, som t.ex. sensorn och relä.

När vi hade fått de flesta av våra komponenter så började vi med att bygga upp kretsen på en kopplingsplatta istället för att direkt löda fast dem på kopparplattan. Anledningen till det är för att vi vill se till så att kretsen fungerar felfritt innan vi slutligen löder fast allting på kopparplattan. Det är inte så kul att behöva löda av komponenter som man tidigare har löst fast.

Det första försöket som vi gjorde med kretsen blev misslyckat. Tanken var att vi skulle få en elektrisk impuls av kretsen som vi senare skulle kunna använda för att skjuta på pendeln. Felet var att impulsen som gick genom kretsen försvann direkt, dvs. strömmen stannade inte kvar i kretsen i några sekunder som vi hade tänkt oss. Men detta var ganska snart löst då Anders kom på att det fattades en kondensator i kretsen. När vi hade monterat dit den så fungerade kretsen precis som den skulle dvs. den utsänder en elektrisk puls som håller i sig i några sekunder när kulan närmar sig jämviktsläget. Nu när kretsen fungerade som den skulle på kopplingsplattan så behövde vi löda fast den på vår kopparplatta.

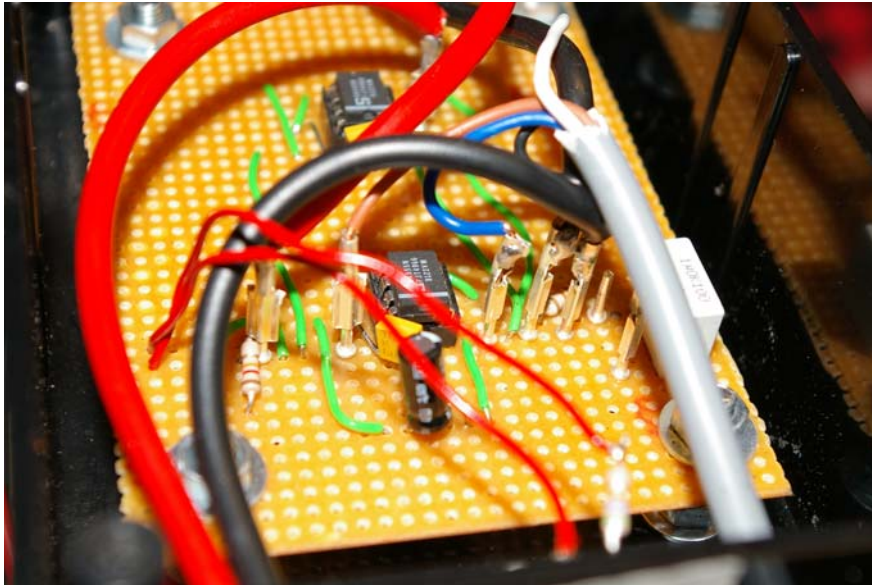
Lödning

Eftersom att ingen av oss har löst så mycket förut så bestämde jag och Felix oss för att bygga ihop en såkallad ”syrsa” för att få lite träning innan vi ska löda på vår kopparplatta. En syrsa är en liten krets med komponenter som med hjälp av en högtalare ska pipa då det är mörkt. Vi hade riktigt kul när vi lekte med denna och det var perfekt lödträning.

När vi nu började löda fast våra komponenter på den slutgiltiga kopparplattan så var vi naturligtvis väldigt försiktiga i början för att vara säkra på att vi gjorde rätt. Om man använder för mycket tenn då man löder så blir det bara en stor smet av allting och man måste också se till så att man träffar bra så att man inte gör en såkallad ”kallödning” så att kretsen inte fungerar. Efter varje ben som vi lödde fast så mätte vi dessutom mellan spåren för att vara säkra på att det inte fanns någon spänning mellan dem. Eftersom att vi var väldigt osäkra i början så tog det oss ungefär en timme att löda fast två komponenter. Den andra gången vi lödde så gick det betydligt smidigare, vi lödde fast halva kretsen på bara några timmar och den tredje gången blev vi helt klara med lödningen.

Till vår stora förvåning så fungerade inte den elektriska kretsen trots att vi hade satt fast allting precis som på den andra kopplingsplattan. Vi testade att bygga upp hela kopplingen på både kopparplattan och den vanliga kopplingsplattan flera gånger och vi fick samma resultat varje gång, kopplingen fungerade utmärkt på kopplingsplattan men inte på vår kopparplatta.

Efter väldigt mycket felsökande så hittade vi äntligen felet. Vi hade gjort en såkallad ”kallödning”, dvs. en av sladdarna satt inte fast ordentligt på kopparplattan. När felet hade hittats så åtgärdade vi det väldigt snabbt och fick kretsen att fungera. Det som var kvar att göra nu vara att koppla på in- och utgångarna, löda fast en potentiometer, koppla in ett relä, koppla in sensorn samt montera kopparplattan och potentiometern i en plastlåda för skydd.



Sensorn

Vi gick nu till Per, vår digitaltekniklärare, för att låna några olika sensorer som vi senare skulle testa tillsammans med kretsen. Detta var inga problem så Per lånade ut en hel burk med kapacitiva givare. Ur denna burk hittade vi ganska snart en gul sensor som vi sedan testade ihop med kretsen. Detta fungerade bra men denna sensor blev vi nu tvungen att lämna tillbaka till el-programmet så vi beställer nu en egen ifrån Elfa.

När vi hade beställt en kapacitiv givare från Elfa som vi behöver för att känna av när kulan är vid jämviktsläget i pendeln så hade vi tyvärr lite för bråttom. Vi hade beställt en givare som bara har 2 sladdar (plus och jord) och den var dessutom av typen ac som står för växelström.

Vi behövde en kapacitiv givare som har 4 sladdar, dvs. plus, jord och två utgångar. Givaren måste också vara av typen dc (likström). Vi fick därför skicka tillbaka ac-givaren och beställa den rätta.

Slutförandet av den elektriska kretsen

Efter ett långt uppehåll med den elektriska kretsen var det nu dags att slutföra denna del. Vi borrade hål i plastlådan för att sedan kunna dra igenom sladdar i dessa. Vi borrade ett extra hål för att fästa potentiometern i så att man ska kunna ändra impulstiden i kretsen utan att behöva öppna denna plastlåda. Nu löt vi fast några kondensatorer för att ta bort störningar från kretsen och vi kopplade sedan på in- och utgångarna, sensorn och relät. Som vanligt när vi gör förändringar i vår krets som redan fungerade bra så slutade den att fungera och vi fick börja felsöka på nytt. När vi felsökte så exploderade våra 555:or så vi blev tvungen att beställa nya. Med nya 555:or så visade det sig i alla fall inte vara något större fel då det bara var att löda fast ett extra motstånd så fungerade kretsen igen.

Det blev ungefär samma sak med relät som det blev med sensorn som vi beställde. Det första relät som vi skickade efter styrde endast växelström och vi behöver ett relä som styr likström. Vi blev därför tvungen att skicka tillbaka även denna komponent och beställa en ny.

Järnkärnan

För att bygga en elektromagnet så behövs tre saker – järnkärna, koppartråd och ström. Redan vid planeringen av detta projekt så var vi alla därför överens om att vi behövde hitta ett cylinderformat järnstycke från någon och sedan få någon att tillverka järnkärnan åt oss. I december gjorde vi den första ritningen på hur vi ville att vår järnkärna skulle se ut, det var en enkel cylinderformad järnkärna som inte hade så mycket detaljer. Problemet med arbetet om järnkärnan visade sig vara att få till alla mått precis som det skulle vara och att vi inte upptäcker efter tillverkningen att det är något som saknas. Vi blev därför tvungen att göra om ritningen på järnkärnan väldigt många gånger för att få mer utrymme för saker.

Problem som gjorde att vi behövde göra om ritningen var att:

- * Glasskivorna på spolen behövde vara tjockare än planerat.
- * Vi behövde ha två små hål för att koppartråden skulle komma in och ut från järnkärnan.
- * Sensorn kände av järnet vid kanterna.
- * Spolen behövde en förstärkning i form av järnbrickor.

Material

När vi var klara med alla ritningar så åkte vi in till Tommy Gaude på högskolan i Gävle för att prata med honom om tillverkningen. Då han visste vad vi skulle använda järnkärnan till så gick med på att tillverka den åt oss, han föreslog också att vi skulle använda oss av materialet gjutjärn då det inte skulle bli konstant magnet samt att det var lätthanterligt. Vi ringde nu till Sandvik för att höra om dem hade ett cylinderformat gjutjärn med diametern 400 mm. Mannen på Materialverkstaden på Sandvik sa att han skulle leta och höra runt lite och återkomma till oss då han hade svar.

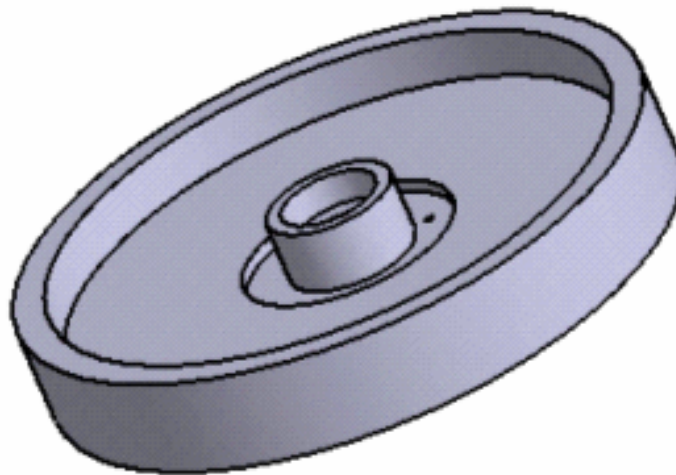
Efter lite forskning och samtal med Gunnar så kom vi fram till att vi istället skulle använda oss av materialet ”SIS 1312”. Detta var samma material som Tyskarna använde till deras pendel och Gunnar var dessutom skeptisk till att gjutjärn hade bra magnetiska egenskaper. Vi fick därför avboka beställningen av gjutjärn hos Sandvik och istället beställa samma järnkärna men med materialet SIS 1312.

Leverans och tillverkning

Vår kontakt Ola på Sandviks metallavdelning ringde mig samma kväll som beställningen och sa att de hade en sådan cylinderformad kärna som bara låg och skräpade, vi fick därför komma och hämta denna helt gratis!

Väl vid Sandvik gjorde vi ett tappert försök att bära ut denna 80-kiloskluns till bilen som stod på parkeringen utanför Sandvik, men vi gav snabbt upp. En snäll truckförare fick lov att skjutsa ut materialet till grinden där vi sedan fick köra in Felix bil. När Järnkärnan äntligen befann sig i bilen begav vi oss in till Gävle där Tommy Gaudes elever på verkstaden tog emot materialet.

Några veckor senare ringde Gaude och sa att vi kunde komma in och hämta den färdigtillverkade järnkärnan. Kärnan var så gott som felfri så vi stoppade nu ner spolen i järnkärnan och förde kopparsladdarna från spolen genom de små hålen som vi hade i järnkärnan. Vår elektromagnet var nu färdig.

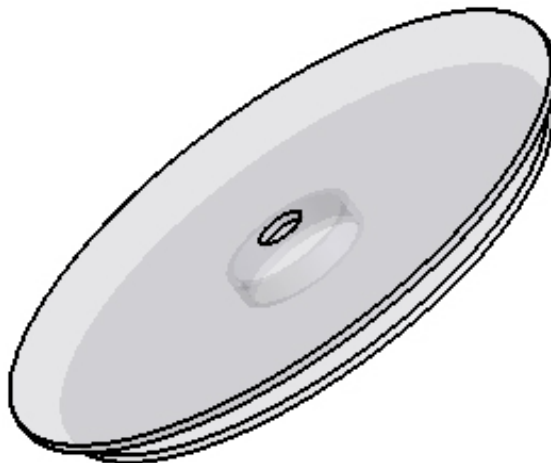


Spolen

För att bygga spolen så behövde vi två stycken skivor av olika mått och ett kort rör. Om vi limmade de två skivorna på rörets kortsidor så fick vi en ”trådrulle”. Denna rulle skulle lindas med kopparsladd där vi sedan för en ström igenom och på så sätt göra en elektromagnet. För designens skull bestämde vi oss för att göra denna spole i ett genomskinligt material och högst på listan kom givetvis plexiglas eftersom det är starkt och lätt att få tag på. Efter mått från den tyska ritningen bestämde vi oss för att röret skulle vara 80mm i diameter invändigt och 90mm utvändigt, alltså en godstjocklek på 5mm. Vi begav oss till ett företag med inriktning på glas, Selins glas i Sandviken, och förklarade vårt problem. Vi fick hjälp att finna ett lämpligt plaströr. Detta rör måste dock svarvas till rätt storlek för att få en jämn och plan yta så att limningen skulle bli så stark som möjligt. För att göra detta så effektivt som möjligt så gick vi till industriprogrammet på vår skola som hade tillgång till svarv och kompetens inom detta område. Efter några missöden med spruckna rör så gav vi dock upp idén om hjälp därifrån.

Planing av rör

Eftersom det var högst nödvändigt att få detta rör så plant som möjligt så var vi tvungna att fixa detta på nått vis utan överskrida vår budget mer än nödvändigt. Vi tog därför kontakt med högskolan i Gävle och hörde med dem varför röret sprack och hur vi skulle kunna lösa detta. Tommy Gaude som jobbar på högskolan erbjöd sig att hjälpa oss och svarvade till vårt rör helt utan problem på första försöket. Efter vårt lyckade besök på högskolan begav vi oss åter igen till Selins glas för att färdigställa vår spole. Vi behövde dock sätta fasta mått på skivorna som ska omsluta koppartråden på varsin sida av järnröret. Dessa mått måste vara tillräckligt stora för att alla koppartråd vi fått av ABB i Storvik men inte så stort att det blir massa luft över. Efter olika typer av beräkningar på den koppartråd vi hade till goda kom vi fram till att den mista skivan som ska sänkas ner i järnkärnan måste ha en diameter på 360mm. Den andra skivan skulle ligga uppe på själva järnkärnan och därför ska den ha samma diameter som själva kärnan, 400mm.



Förstärkning av spolen

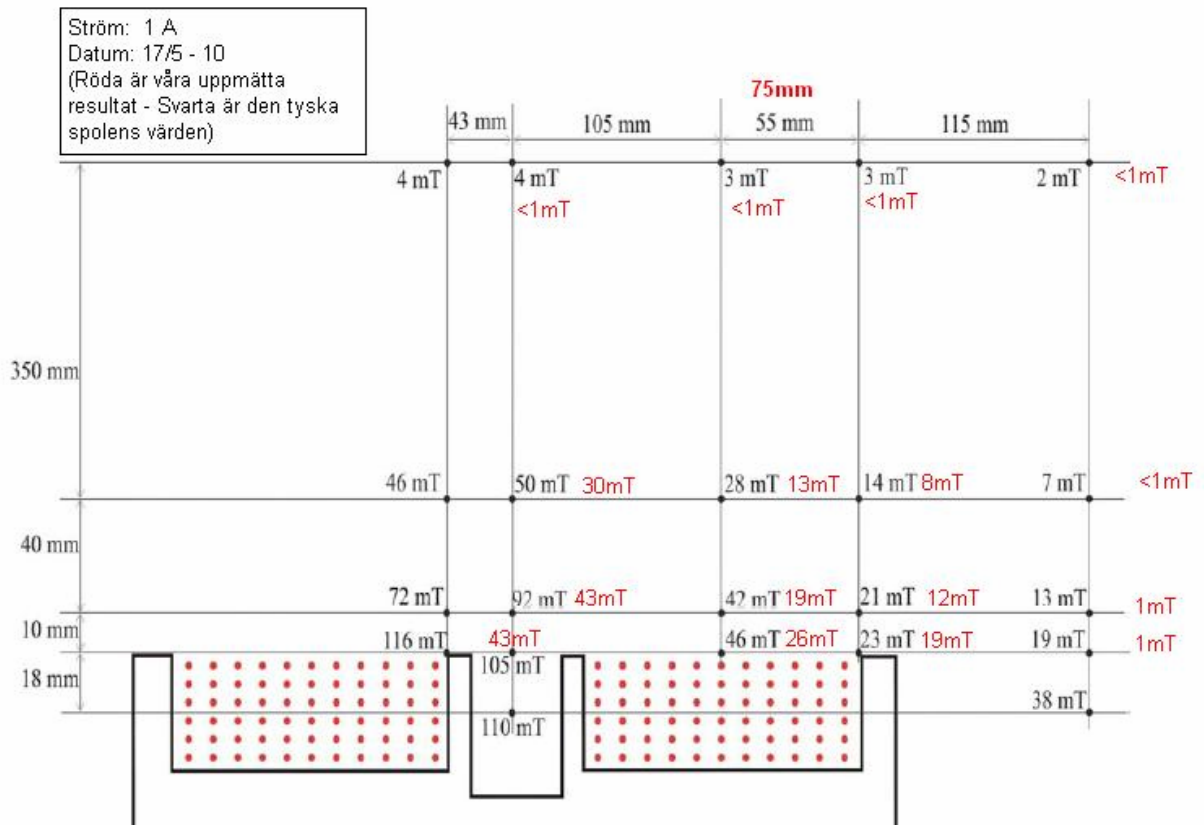
Efter att vi satt dessa mått begav vi oss återigen till Selins glas för att lägga in en beställning på vår spole. Några dagar senare så var den limmad och klar och vi kunde börja linda koppartråden på den. För att effektivisera arbetet så bestämde vi oss för att bygga en ställning där vi kunde hänga spolen på högkant och montera en vev på den så att vi kunde veva in koppartråden. Allt fungerade perfekt till en början. Dock så blev spänningarna för stora och efter ca 150 varv så släppte limmet mellan ena skivan och röret. Sidan lossnade och koppartråden föll ut.

Efter detta missöde så funderade vi hur vi skulle lösa detta, uppenbarligen blev sprängverkan för stor av koppartråden så att limmet aldrig skulle klara av krafterna som uppstod. Efter bara att en tiondel av all tråd var upplindad så blev krafterna för stora så vi måste på något sätt förstärka spolen på ett mycket

effektivt sätt. Efter lite spekulationer på olika lösningar så bestämde vi oss för att förstärka spolen med två stycken ringar av metall, en på vardera sida av spolen och sedan borra rakt igenom och skruva ihop dessa. Metallringarna fick vi hjälp att göra av industriprogrammet. Vi borrade så nära röret som möjligt i spolen för att förlora så litet utrymme som möjligt för koppartråden.

Väl klart så lindade vi några varv med el-tejp runt skruvarna för att dessa inte skulle ligga och nöta mot koppartrådens yta, förstöra lacken och på så sätt kortsluta spolen. Efter det så satt vi upp spolen på sin ställning igen och återupprepade processen med lindningen. Den här gången gick det bättre, vi kom till 1 903 varv sedan var spolen full.

Jämförelse



Resultat

Nu när allt det praktiska i vårt projekt är klart så har vi fått precis det vi efterfrågade från början, en pendel som svänger konstant. Vägen till slutprodukten har varit väldigt kurvig och vi har kastats mellan hopp och förtvivlan. Många gånger har vi varit nära att ge upp på grund av att det känts som att projektet varit kört i botten och tiden till att slutföra varit mycket knapp. Vi har dock alltid gett det en chans till och på så sätt kommit framåt.

När elektromagneten var monterad så ställde vi upp elektromagneten med den elektriska kretsen och spänningsaggregat vid pendeln för att se hur allting fungera tillsammans. Resultatet var bättre än väntat, pendeln fick mer fart än vad vi hade hoppats på och allting fungerade perfekt tillsammans. Vi började ge pendeln en pendlingssträcka på ca 1m, därefter slog vi på elektromagneten, efter 30 minuter så pendlade pendeln på en sträcka på 2.5m. Eftersom elektromagneten kunde ge pendeln att få mer fart, dvs, få större pendlingssträcka så visar det att allting fungerar som vi hade planerat.

Gunnar Lundberg, Anders Lönn och Thomas Järlstig bygger på bottenplattan som sedan ska skickas på målning, när detta är klart så ska den täcka all elektronik och elektromagneten ska ligga nedsänkt i mitten.

Tidsplan

Tidsplanen vi gjorde innan vi påbörjade projektet stämde inte alls överens med tiden det tog i verkligheten. Leveranstider, beräkningar, missförstånd mm. gjorde att tiden blev mer och mer utdragen. Vi fick dispens eftersom skolan väldigt gärna ville se ett slutresultat samt att projektet blev allt bredare. Nu i efterhand så har vi sett att om vi delat upp projektet i tre delar så hade vi fått ett snabbare resultat. Som vi gjorde nu så genomförde vi tre relativt stora projekt i ett vilket gjorde att vi var tvungen att jobba betydligt mer än de 100 poäng kursen tilldelats. Skulle vi summera alla dagar och extra timmar så har vi säkert jobbat minst det dubbla eller till och med det tredubbla.

Budget

Budgeten på 500kr per projekt tycker jag att vi höll ganska bra trots att vi landade på runt 2 000kr. Det var skolan som köpte produkten vi tillverkade och de dyraste komponenterna blev vi sponsrade med av bl.a. Sandvik och ABB. Ett sätt att kunna täcka upp de kostnader vi översteg budgeten var att tillverka ytterligare ett magnetsystem och sälja till Tekniska museet i Stockholm som gett oss en förfrågan om detta. Dock så blev bristen på tid allt för påtaglig och vi fick avböja.

Kunskap

Givetvis har vi även fått nya erfarenheter av det här projektet. Vi har lärt oss mer om hur man löder och hur man bygger en mindre el-krets. Vi har även lärt oss mer om hur en magnet fungerar och hur man ska bygga den så effektivt som möjligt. I övrigt så har vi fått mer kontakt med företag och högskolan i Gävle vilket vi kanske kan dra nytta av i framtiden.

Sammanfattning

Ska vi sammanfatta hela vårt projektarbete så kan vi nog vara överens om att vi fått ett mycket bra resultat, mycket bättre än vi förväntat oss till och med. Till en början såg projektet ut att bli väldigt komplicerat och svåröverkomligt, men när vi väl kommit in i projektet och börjat jobba med det så flöt allting på riktigt bra. Alla problem vi fick på vägen löste vi mycket snabbt och smidigt, vi var alla tre som deltog i projektet väldigt drivna och kände att vi ville slutföra detta trots att vår tidsplan var överskriden redan efter första veckan. Vi satt in ett par eller tre extra timmar varje vecka för att enbart jobba med projektet utanför ordinarie tid.

En del problem vi hade, t.ex. när kretsen kortslöts, gjorde dock nästan att vi lade projektet på hyllan men alltid var det någon i gruppen som fick oss att fortsätta tills problemet var övervunnet. Ser man till våra egna erfarenheter kan vi nog dra slutsatsen att om ett problem uppstår så måste man ta tag i det direkt annars kommer det aldrig bli löst. Det är mycket tråkigare att lösa ett problem som är flera veckor gammalt än att lösa ett som uppstod för några minuter sedan. Vår snabba problemlösning var nog nyckeln till att det här projektet blev klart över huvud taget.

Tack till

Ritning till elektromagnet

Kirchhoff-Institut für Physik i Heidelberg:
Professor Dr. Karlheinz Meier

Hjälp med el-kretsen

Elprogrammet:
Ernst Pötzcher
Kjell-Arne Hansson

Tillverkning av spolen

Selins Glasmästeri

Koppartråd

ABB i Storvik

Material till järnkärnan

Sandvik

Bearbetning av järnkärnan

Högskolan i Gävle:
Tommy Gaude
Eleverna som skötte fräsen

Våra handledare

Anders Lönn
Gunnar Lundberg
Tomas Järlistig

Förstärkning av spolen

Industriprogrammet



KIRCHHOFF-
INSTITUT
FÜR PHYSIK

Källor

Den tyska rapporten Ruprecht Karls Universität Heidelberg "Konzeption, bau und inbetriebnahme eines foucaultschen pendels am kerchhoff-institut für physik" skriven av Ekkehard W. Müller

För information om elektroniken för pendeln:

Anders Lönn

anderslonn@spray.se

Mikael Persson

Felix Stridsberg

Erik Hallqvist