

Extern varvtalsmätning på permanentmagnetiserad likströmsmotor



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Industriell elektroteknik och automation

Examensarbete:
Sarah Borg
Andreas Karlin

© Copyright Sarah Borg, Andreas Karlin

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Industriell elektroteknik och automation
Lunds universitet
Lund 2016

Sammanfattning

Detta examensarbete har utförts hos BorgWarner AB i Landskrona. Själva arbetet gick ut på att undersöka vilka mätmetoder det fanns för att externt mäta varvtalet på en permanentmagnetiserad likströmsmotor då rotorn inte var åtkomlig. En färdig krets som omvandlar mätsignalens frekvens till ett varvtal skulle designas samt bygga ett färdigt mätverktyg.

Olika mätmetoder testades för att sedan dra slutsatser för vilken av metoderna som var att föredra. Merparten av arbetet gick ut på att utveckla kretsen som i slutändan gav en tillräckligt bra signal att skicka till en frekvens till spänningsomvandlare, F/S-omvandlare. Kretsen löddes ihop på ett experimentkort och monterades sedan i ett inköpt chassi med F/S-omvandlarens utgång kopplad till en display.

Det färdiga mätinstrumentet bestod av en hållare för pickup spole samt chassit med display som visade varvtalet. Mätinstrumentet skulle även ha oscilloskopsutgångar för avläsning av den analoga och digitala signalen vilka byggdes in samt en kontakt för en nätadapter.

Nyckelord: Permanentmagnetiserad likströmsmotor, pickup spole, varvtalsmätning

Abstract

This Bachelor thesis was performed at BorgWarner AB in Landskrona, Sweden. The assignment was to investigate different methods for external measurement of a permanent magnetized DC motor speed in rpm when you have no access to the rotor. The assignment was to examine different measurement methods, to produce a finished circuit that converts the signals frequency to rpm and build a complete tool.

A couple of different measurement methods were tested and evaluated to draw conclusions for any of the methods that were preferred. Most of the work was to develop the circuit that gave a good enough signal to send to the frequency to voltage converter, F/V-converter. This circuit was then mounted in a purchased chassis with the F/V-converters output coupled to a display.

The finished handheld tool consists of a holder of the pickup coil and the chassis with a display representing the speed of the motor. The handheld tool would also include two oscilloscope outputs for the analog and the digital signal and an input for the power supply was also made.

Keywords: permanent magnet DC-motor, pickup coil, speed measurement

Förord

Vi vill först och främst tacka BorgWarner som låtit oss utföra vårt examensarbete hos dem. Framförallt vill vi framföra ett stort tack till Nils Bjelk på BorgWarner som tagit sig tid och gett oss bra rådgivning och handledning under arbetets gång.

Även ett stort tack till Johan Björnstedt för all handledning och tid han gett oss, vi har verkligen uppskattat mötena och de gångna åren ihop.

Vi vill även tacka våra respektive och familjer som stöttat oss under arbetets gång.

Arbetet har varit väldigt lärorikt och gett en klar bild av hur ett arbete inom produktutveckling kan se ut. Vi har fått en del praktisk erfarenhet inom kretsdesign och vi har även lärt oss att man enkelt underskattar hur lång tid olika moment tar.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	1
1.3 Problemformulering	2
1.4 Avgränsning	2
1.5 Källkritik	2
2 Teknisk bakgrund	3
2.1 Likströmsmotor	3
2.2 Princip för mätmetod	4
2.3 Hallgivare	5
2.4 Pickup spole	6
3 Genomförande	8
3.1 Mätmetoder	8
3.1.1 Hallgivare	8
3.1.2 Pickup spole.....	9
3.1.3 Summering.....	10
3.2 Elektronikkonstruktion	10
3.3 Mekanisk konstruktion	18
3.3.1 Hållare av spole	18
3.3.2 Chassi.....	20
3.4 Dokumentation	21
4 Slutsatser	22
4.1 Slutgiltigt test	22
4.2 Framtida utvecklingsmöjligheter	23
5 Terminologi	24
6 Referenser	25
7 Bilagor	26
7.1 Materiallista	26
7.2 Användarmanual	27
7.3 Kretsschema	28

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Examensarbetet har utförts på företaget BorgWarner som tillverkar kraftöverföringsdetaljer till fordon. Företaget tog form 1928 och 2011 köpte de upp Haldex AB i Landskrona som producerar fyrhjulsdriфтsystem. Avdelningen som arbetet har utförts på heter Power Drive Systems och har två huvudgrenar; vridmomentsöverföring och hjulaxelstyrning. Tidigare hette denna avdelning Torq Transfer Systems men bytte 2015 namn då BorgWarner köpte upp Remy International.

Detta examensarbete gick ut på att undersöka om det fanns någon metod för att mäta varvtalet externt på en permanentmagnetiserad likströmsmotor (PMLM) som driver en centrifugalpump på BorgWarners AWD system. Vid de två vanligaste metoderna utförs varvtalsmätningen på rotorns axel eller med en integrerad sensor inuti motorn. I detta fall så var rotorn som driver pumpen inte åtkomlig och på grund av detta måste mätningen ske externt.

Metoden som företaget i nuläget använder utnyttjar strömriplet för att mäta varvtalet vid kalibreringen. Det görs genom att mäta frekvensen på strömriplet som uppstår vid varje kommutering eftersom frekvensen är direkt relaterad till varvtalet.

1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet var att undersöka olika metoder för extern varvtalsmätning på en PMLM och därefter utveckla ett handhållet mätinstrument. Instrumentet kommer sedan användas i produktionen när pumparna ska kalibreras och även vid eventuella reklamationer. En vanlig orsak till reklamation är att sot och olja kommit på kommutatorplattorna och försvårar kommuteringen. På så vis fås en missvisande mätning av strömriplet, som i sin tur ger fel varvtalsmätning.

Det fanns ett intresse från företaget att kunna mäta ett så lågt varvtal som möjligt.

Målet med uppgiften var uppnått när varvtalet på motorn kunde avläsas och ett mätinstrument utformats.

I början av arbetet skrevs det en kravspecifikation som följdes och användes som en mall vid utformningen av mätverktyget.

I kravspecifikationen stod det:

- Varvtalet ska presenteras på en display
- En analog utgång för att kunna ansluta till ett oscilloskop
- En digital utgång för att kunna ansluta till ett oscilloskop
- Mätinstrumentet ska kunna drivas både på batterier och från en nätadapter
- Mätinstrumentet skulle ha en felmarginal på under 10%

1.3 Problemformulering

I detta examensarbete har följande tre frågor undersökts och besvarats:

- Vilka mätmetoder finns det för att mäta varvtalet externt på en permanentmagnetiserad likströmsmotor?
- Vilken av metoderna fungerar/ ger bäst resultat?
- Vilken typ av anpassningskrets behövs för att få en bra mätsignal?

1.4 Avgränsning

Mätmetoderna skulle bara realiseras på en typ av permanentmagnetiserad likströmsmotor, nämligen motorn som driver centrifugalpumpen som sitter på BorgWarners Gen5 AWD-system.

1.5 Källkritik

All text som använts genom arbetets gång har granskats av oss båda samt jämförts med andra källor för att sedan kunna avgöra hur sanningsenligt materialet var. Flertalet hemsidor visade inte vem författaren var, alternativt skribenten, och det var den stora anledningen till kritisk granskning. Alla komponenter som används har datablad och de anses trovärdiga då det är tillverkarna själva som skrivit dem.

2 Teknisk bakgrund

2.1 Likströmsmotor

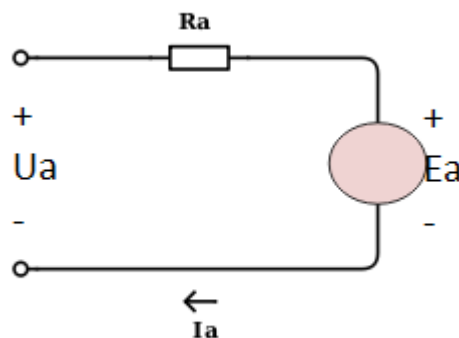
Likströmsmotorer används i många olika applikationer. De är särskilt populära i applikationer där varvtalet ska styras med hög precision då de är relativt enkla att reglera jämfört med växelströmsmotorer, det beror på det linjära förhållandet mellan spänning och varvtal.

$$\omega = \frac{U_a - R_a I_a}{\Psi}$$

Ekvation 1. Varvtalet för likströmsmotor [1]

$$E_a = \Psi \omega$$

Ekvation 2. Inducerad spänning [1]



Figur 1. Rotorkretsen i en likströmsmotor

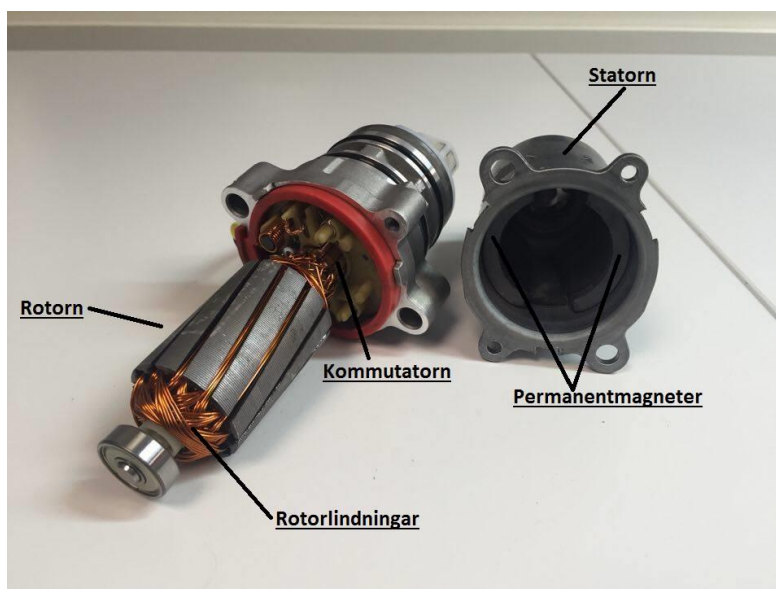
Nackdelen med likströmsmotorer är deras komplicerade konstruktion som gör dem dyrare att tillverka och svårare att underhålla jämfört med växelströmsmotorer. [1]

Likströmsmotorn är uppbyggd av en stator, en rotor, två borstar och en kommutator. Statorn är den stationära delen och förser motorn med ett magnetfält, antingen med fältlindningar eller med permanentmagneter. Rotorn är den roterande axeln som består av rotorlindningar som är anslutna till kommutatorn. Borstarna förser rotorlindningarna med spänning genom kommutatorn. [2]

Principen för hur likströmsmotorn fungerar innebär att, när en spänning ansluts till borstarna går det en ström genom rotorlindningarna via kommutatorn, strömmen ger upphov till en elektromagnetisk kraft som får rotorn att rotera när den befinner sig i statorns magnetfält. Borstarna förser

lindningarna med spänning varje gång de kommer i kontakt med kommutatorn, detta kallas för kommutering. För varje kommutering skapas det ett magnetfält ifrån varje lindning, det ger intrycket av ett varierande magnetfält från rotorn som beror på växlandet av lindningsspåren när rotorn roterar. Vid rotationen av rotorn induceras det en spänning som vill motverka förändringen i flödet. Genom att förse rotorn med fler lindningar fås ett jämnare moment runt hela varvet.

Det finns olika metoder för att excitera magnetfältet i statorn. De vanligaste är att fältlindningen är antingen seriekopplad eller parallellkopplad med rotorlindningen, eller som i detta fall där man använder sig av permanentmagneter i statorn.[1]



Figur 2. PMLM

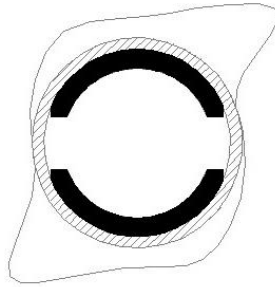
2.2 Princip för mätmetod

Principen för att mäta varvtalet handlar om att kunna mäta variationerna från rotorns magnetfält som uppkommer vid kommuteringarna. Frekvensen för kommuteringarna är direkt relaterade till motorns varvtal. Genom att räkna antalet kommuteringar som sker under en viss tid kan varvtalet för rotorn beräknas.

Motorerna som mätningarna skulle göras på hade 12 stycken lindningar, det innebär att efter 12 kommuteringar har ett varv roterats.

$$\text{Varv}/\text{min} = \frac{60}{\text{Tiden för 12 kommuteringar}}$$

Ekvation 3. Varv/min för PMLM



Figur 3. Läckflödets spridning från rotorn

2.3 Hallgivare

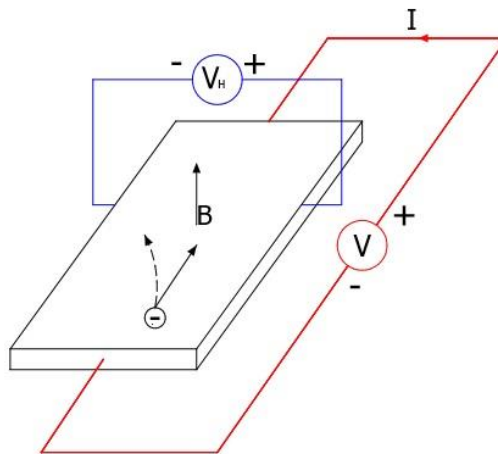
Hallgivare, även kallad halleffektsensor, utnyttjar den så kallade Hall effekten. Denna effekt upptäcktes av vetenskapsmannen Edwin Hall under sent 1800-tal. Själva upptäckten gjorde Hall när han strömförde en metallplatta och applicerade ett lodrätt magnetfält vilket bidrog till att en spänningspotential utvecklades över plattan.

Senare kunde man konstatera att spänningspotentialen berodde på att magnetfältet fick elektronerna att bryta av i en krökt bana vinkelrätt mot det applicerade magnetfältet. Från plattan upplever magnetfältet en kraft, Lorentz kraft, som är normal mot både det tillförda magnetfältet och strömflödet.

$$F = qvB$$

Ekvation 4. Lorentz kraft [3]

Det är just denna kraft som påverkar elektronerna och spänningspotentialen fick namnet hallspänning. Denna spänning lyder enligt formeln nedan som visar att spänningen är proportionell mot det pålagda magnetfältet och dess polaritet bestäms av magnetfältets lodräta riktning. [3]



Figur 4. Halleffekten

$$V_H = \frac{IB}{\rho_n q t}$$

Ekvation 5. Hallspänningen [3]

V_H är hallspänningen över plattan

I är strömmen i plattan

q är magnituden av laddningen från laddningsbäraren

ρ_n är antalet laddningsbärare per volymenhet

t är plattans tjocklek

Denna sensortyp är en av de vanligen förekommande vid mätning av magnetiska fält då de är robusta, billiga samt enkla att använda. Själva sensorn är uppbyggd av halvledarmaterial (ofta kisel) vilken ofta är kapslad som små chip med integrerade styrkretsar. En klar fördel med denna typ av sensor är dess storlek då de är mindre jämfört med andra magnetiska sensorer och det innebär att man enkelt kan placera dem i trånga utrymmen där andra magnetiska sensorer vanligtvis inte får plats.

Ovanstående egenskaper gör att sensortypen kan hittas i många olika branscher och applikationer. Där de används flitigast är i fordonsindustrin, styr- och reglersystem och i konsumentenheter där man önskar mäta position, varvtal och ström.

Det finns två olika typer av hallgivare, linjära och latchade. De linjära givarna ger en utspänning som är proportionell mot det pålagda magnetfältet medan den latchade lämnar ifrån sig en bestämd spänning när ett visst tröskelvärde på fältet har överskridits.

2.4 Pickup spole

Spolen, även kallad induktor, är en passiv komponent utformad för att lagra energin i ett magnetfält. En spole består av en tråd av ledande material som antingen är luftlindad eller lindad runt en kärna. Kärnan kan vara solid eller ha ett luftgap och kan förekomma i olika geometrier.[5]

Pickup spolar kan användas för mätning av varvtal på axlar där en permanentmagnet placerats för att detektera ett roterat varv. Det är även vanligt att de används som positionsgivare i olika sammanhang. I denna typ av spolar utnyttjas dess inducerade spänning. Denna spänning uppstår när spolen befinner sig i ett varierande magnetfält och variationen ger upphov till en spänning som enkelt kan mätas. Spänningens frekvens kan sedan användas för att beräkna varvtalet på axeln.[4]

$$v = N \frac{d\Phi}{dt}$$

Ekvation 6. Inducerad spänning för spolen[4]

Fördelarna med en pickup spolen är dess enkla konstruktion och att de är robusta. Den enkla konstruktionen medför att de är billiga att konstruera och är därmed vanliga i sammanhang där ett magnetfält ska mätas. En skillnad med spolen jämfört med hallgivaren är att spolen enbart känner av ett varierande magnetfält medan hallgivaren känner av både de statiskafälten och de varierandefälten. Med spolen kommer man bara mäta upp det varierande fältet från rotorn och slipper därmed det statiska fältet från permanentmagneterna i statorn.

3 Genomförande

Innan arbetet påbörjades genomfördes litteratursökning och rapporter för att samla information om olika mätmetoder av varvtal och magnetfält för likströmsmotorer. Mycket av arbetet bestod av att utföra olika tester och försök med olika givare.

3.1 Mätmetoder

Då magnetfältets frekvens från rotorn är direkt proportionellt mot varvtalet ansågs det lämpligt att undersöka olika metoder för att mäta just rotorns magnetfält. Under litteratursökningen upptäcktes att det finns olika metoder för att mäta/uppskatta varvtalet hos en PMLM. De främsta mätelementen som hittades var hallgivaren och pickup spole då de kan användas för att mäta variationen hos magnetfältet som i sin tur kan omvandlas till ett varvtal. Med motorns uppbyggnad i åtanke var dessa två de lämpligaste alternativen då återkomst till själva rotorn inte fanns.

3.1.1 Hallgivare

För att kunna testa den linjära hallgivaren behövdes förståelse för dess uppbyggnad. Den hallgivaren som användes hade tre ben, ett för matningsspänning, ett för jord och ett för hallspänningen.

(Matningsspänningen fanns angiven på databladet och användes för de två testerna som gjordes.) Det första testet gick ut på att hålla hallgivaren mot statorhöljet för att undersöka hur stort statorns magnetfält såg ut medan motorn var avstängd. När det gjordes kunde vi konstatera att en latchande hallgivare skulle böttna direkt. För att vara säkerställa detta gjordes ett test som konstaterade antagandet.

Nästa test gjordes med motorn i ansluten drift. Då syntes en liten ökning av hallspänningen på oscilloskopet men inte så pass tydlig att det gick att urskilja rotorns magnetfält. Samma test gjordes sedan med en analog förstärkarkrets ansluten till hallgivaren då den placerades runt om på statorhöljet.

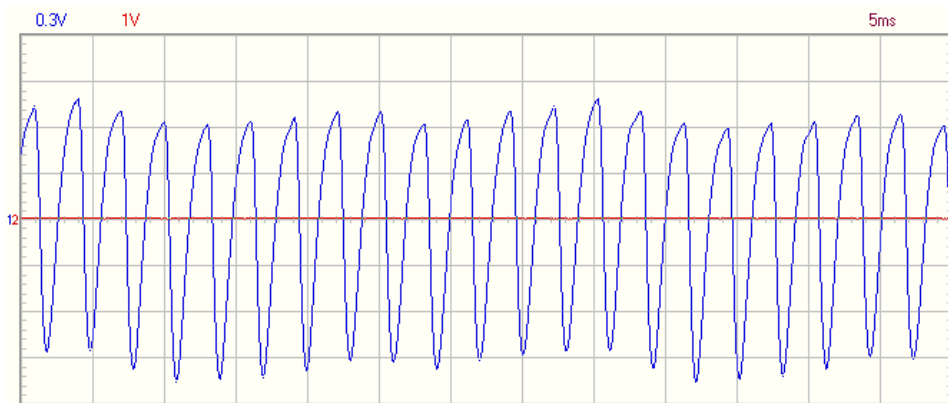
Det enda som uppmättes var brus från matningen, störningar från omgivningen och, som tidigare nämnts, statorns magneter. På vissa ställen tycktes en brusig sinusvåg framträda men den kan ha berott på nätspänningens variationer.

Det konstaterades att det inte gick att mäta rotorns magnetfält med hallgivare, då den även mätte upp det statiska fältet från statorn. Det fältet var så pass mycket starkare än variationerna på rotorfältet och därmed drunknade de i det statiska fältet.

3.1.2 Pickup spole

Vid mätningarna av rotorns magnetfält testades tre olika spolar med varierande geometrier, antal lindningsvarv och tråddiameter. Dessa demonterades från tre olika reläer och därav fanns inte någon vetskap om spolarnas parametrar.

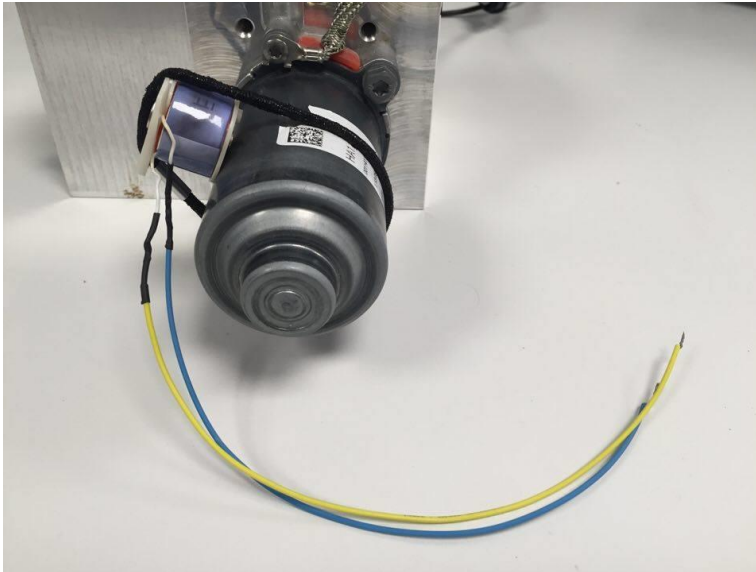
Undersökningarna gick till på så sätt att spolen placerades direkt på statorkåpan samt kopplades direkt till ett oscilloskop. Sedan tillfördes spänning på motorn som fick rotorn att rotera. Redan vid råsignal syntes en tydlig sinusliknande signal som visade kommuteringarna som uppkom för varje lindning. De olika spolarna gav olika karaktärer och kvalitet på signalen.



Figur 5. Råsignal av den inducerade spänningen med inkopplad spole vid 1580rpm

Resultaten av de olika försöken visade att en spole med ett stort antal lindningsvarv gav en bättre signal. Placeringen av spolen på motorhöljet visade sig också ha en viss inverkan på signalen. Placering bakom permanentmagneterna visade sig ge bäst resultat genom hela varvtals-området. Försöken visade även att om spolen placerades mellan magneterna försämrades signalens kvalitet, framförallt vid lägre varvtal på motorn.

Av spolerna som konstaterades ge bäst signal, fanns det ett flertal tillgängliga av och därför beslutades det att linda upp en av dem för att ta reda på antalet lindningsvarv för att få en känsla om hur många lindningsvarv det krävdes för att få en fin signal. Antalet lindningsvarv som räknades var ungefär 14000 varv. Resistansen hos koppartråden uppmättes med en multimeter till $2.7\text{k}\Omega$ och trådens tjocklek mättes med en mikrometer till 0.7mm .



Figur 6. Placering av spolen bakom permanentmagneterna

3.1.3 Summering

Efter att alla tester genomförts konstaterades att pickup spolen var det bästa alternativet att gå vidare med för att utveckla ett mätinstrument. Under försöken konstaterades även att det lägsta mätbara varvtalet begränsas av hur starkt magnetfältet från rotorns lindningar är, magnetfältet är i sin tur beroende av hur stor strömmen är i lindningarna. Det lägsta varvtal som mättes upp var 670rpm och det högsta 5100rpm, detta var vid en drivspänning på 2V respektive 12V för motorn.

3.2 Elektronikkonstruktion

Efter att det konstaterats att pickup spolen gav bäst resultat för att mäta magnetfältet designades och byggdes en krets för att behandla den uppmätta signalen.

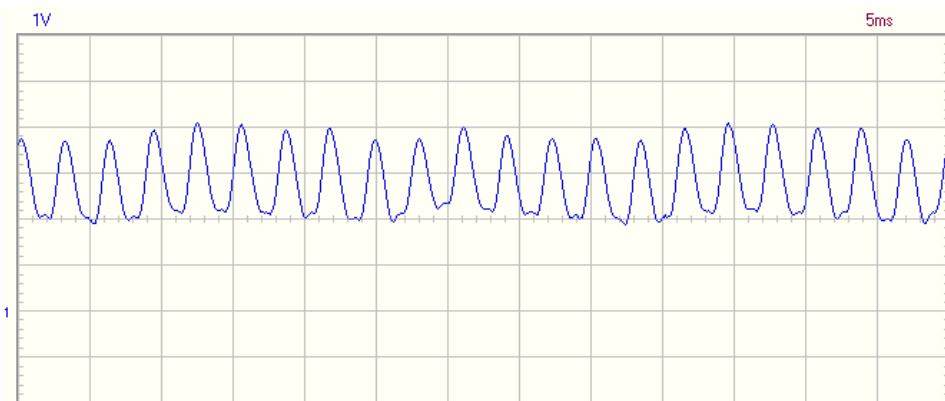
Först byggdes en prototyp av kretsen på ett kopplingsbräde för att enkelt kunna byta ut olika komponenter efter behov. Arbetet med kretsen bestod av att anpassa de olika komponenterna till varandra för att kunna behandla signalen så att den sedan skulle kunna användas till varvtalsräkningen. Många mätningar med oscilloskop gjordes för att analysera signalens karaktär och hur den uppförde sig vid ändringar av kretsen.

Arbetet innebar att beräkna förstärkningar på signalen så att den inte blev större än vad de valda komponenterna tålde och inte översteg operationsförstärkarnas drivspänning[d1]. Olika konfigurationer på förstärkare och filter testades innan ett slutgiltigt val gjordes. Den önskade signalen behandlades genom att filtrera ut rätt frekvenser. Filtringen gjordes i första hand med avseende på det lägsta uppmätbara varvtalets frekvens, ca 10Hz.

Vid lägre frekvenser än 10Hz började signalen bli alltför brusig och oregelbunden vilket resulterade i att det inte gick att urskilja kommuteringarna i signalen.

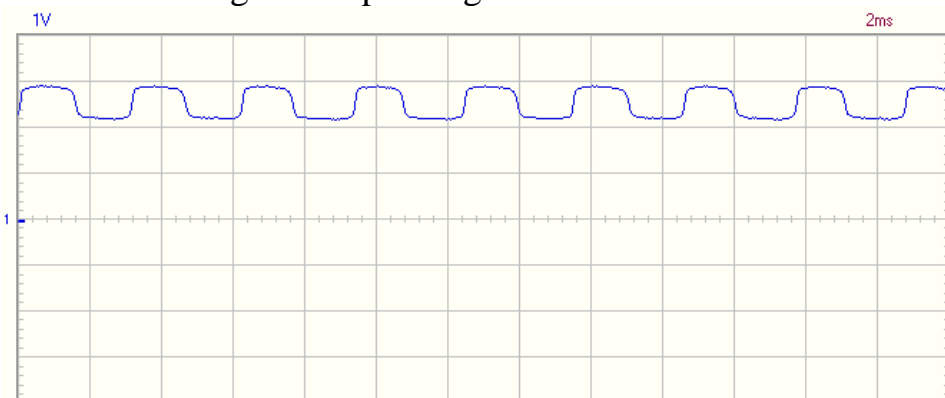
I den resulterande kretsen blev första steget av kretsen en inverterande förstärkare med en offset på 2.5V och ett aktivt högpasfilter på ingången för att filtrera bort likspänningskomponenten. Pickup spolen anslöts till den negativa ingången och till jord[5]. En förstärkning på 2.13 valdes[Ekvation 7]. I samma förstärkare kopplades det in ett lågpasfilter som hade uppgiften att filtrera bort det högfrekventa sinusliknande bruset($F_c=1196\text{Hz}$), det gav en bättre analog signal för avläsning med oscilloskop. Tillsammans blev filterna ett bandpass filter.

Efter förstärkarsteget anslöts en analog utgång för oscilloskop där en spänningsföljare tillsammans med ett skyddsmotstånd användes för att inte belasta signalen.



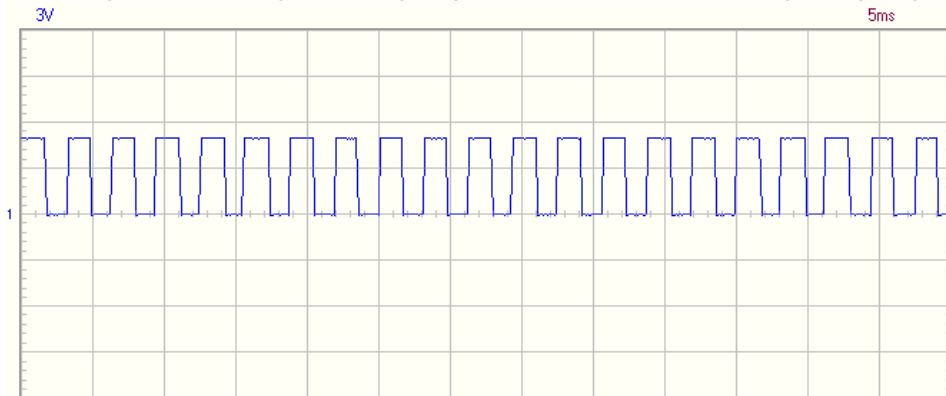
Figur 7. Signalen efter första förstärkarsteget där motorns varvtal är 1580rpm.

Det andra steget bestod av en inverterande förstärkare med en förstärkning på 3.13[Ekvation 7] och ett högpasfilter för att filtrera ut det lägsta varvtalets frekvens ($F_c=10\text{Hz}$)[5]. I samband med det andra förstärkarsteget placerades även två dioder antiparallellt med varandra för att förhindra att signalen klipper om den överstiger drivspänningen.



Figur 8. Signalen efter andra förstärkarsteget där motorns varvtal är 1580rpm.

Kretsens tredje steg omvandlade den analoga signalen till en digital signal med hjälp av en icke-inverterande schmitt-trigger[6]. På utgången valdes samma lösning till den digitala utgången som för den analoga utgången[5].



Figur 9. Signalen efter schmitt-triggern där motorns varvtal är 1580rpm.

Det krävdes en del uträkningar för de olika värdena och dessa har beräknats enligt följande:

Förstärkningarna har beräknats enligt:

$$U_{UT} = -\frac{R_2}{R_1} U_{IN}$$

Ekvation 7. Utspänningen från de inverterande förstärkarna i steg 1 och 2 [5]

Brytfrekvenserna för filterna har beräknats enligt:

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Ekvation 8. Brytfrekvensen för ett filter [5]

Tröskelspänningarna för schmitt-triggern har beräknats efter formlerna:

$$V_{TH} = \frac{(R_5 + R_6)V_{ref} - (R_5V_{OL})}{R_6}$$

Ekvation 9. Den övre tröskelspänningen för schmitt-triggern [6]

$$V_{TL} = \frac{(R_5 + R_6)V_{ref} - (R_5V_{OH})}{R_6}$$

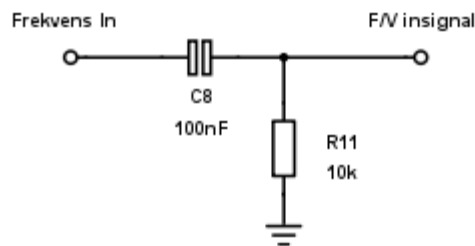
Ekvation 10. Den lägre tröskelspänningen för schmitt-triggern [6]

Hysteresen har beräknats enligt:

$$Hysteres = V_{TH} - V_{TL}$$

Ekvation 11. Hysteresen för schmitt-triggern [6]

För att omvandla den digitala signalen till en varvtalssignal som därefter skulle presenteras på en display, valdes en frekvens-spänning omvandlare (LM2907-8) där utspänningen från kretsen representerar varvtalet. För att F/S-omvandlaren skulle fungera krävdes att insignalen centrerades kring noll, det åtgärdades genom att koppla insignalen till en kondensator tillsammans med ett motstånd ner till jord [Se figur 10]. F/S-omvandlaren kopplades upp enligt databladet för tachometer applikationen[d4]. Vid dimensioneringen av kretsen fanns vissa begränsningar att förhålla sig till så som högsta frekvensen kretsen ska kunna ta emot, spänningsriplet som uppstår på utspänningen och även tiden för hur långt det får ta innan utspänningen stabiliseras.



Figur 10. Signalen från schmitt-triggern in till F/S-omvandlaren

Högsta frekvensen beräknades enligt formeln:

$$F_{max} = \frac{I_2}{C_1 V_{cc}}$$

Ekvation 12. Högsta frekvensen för F/S-omvandlaren[d4]

Spänningsriplet på utspänningen beräknades enligt formeln:

$$V_{ripple} = \frac{V_{cc} C_1}{2 C_2} \left(1 - \frac{V_{cc} F_{in} C_1}{I_2} \right) pk - pk$$

Ekvation 13. Spänningsriplet för F/S-omvandlaren[d4]

Utspänningen beräknades enligt formeln:

$$V_o = F_{in} V_{cc} C_1 R_1$$

Ekvation 14. Utspänningen från F/S-omvandlaren [d4]

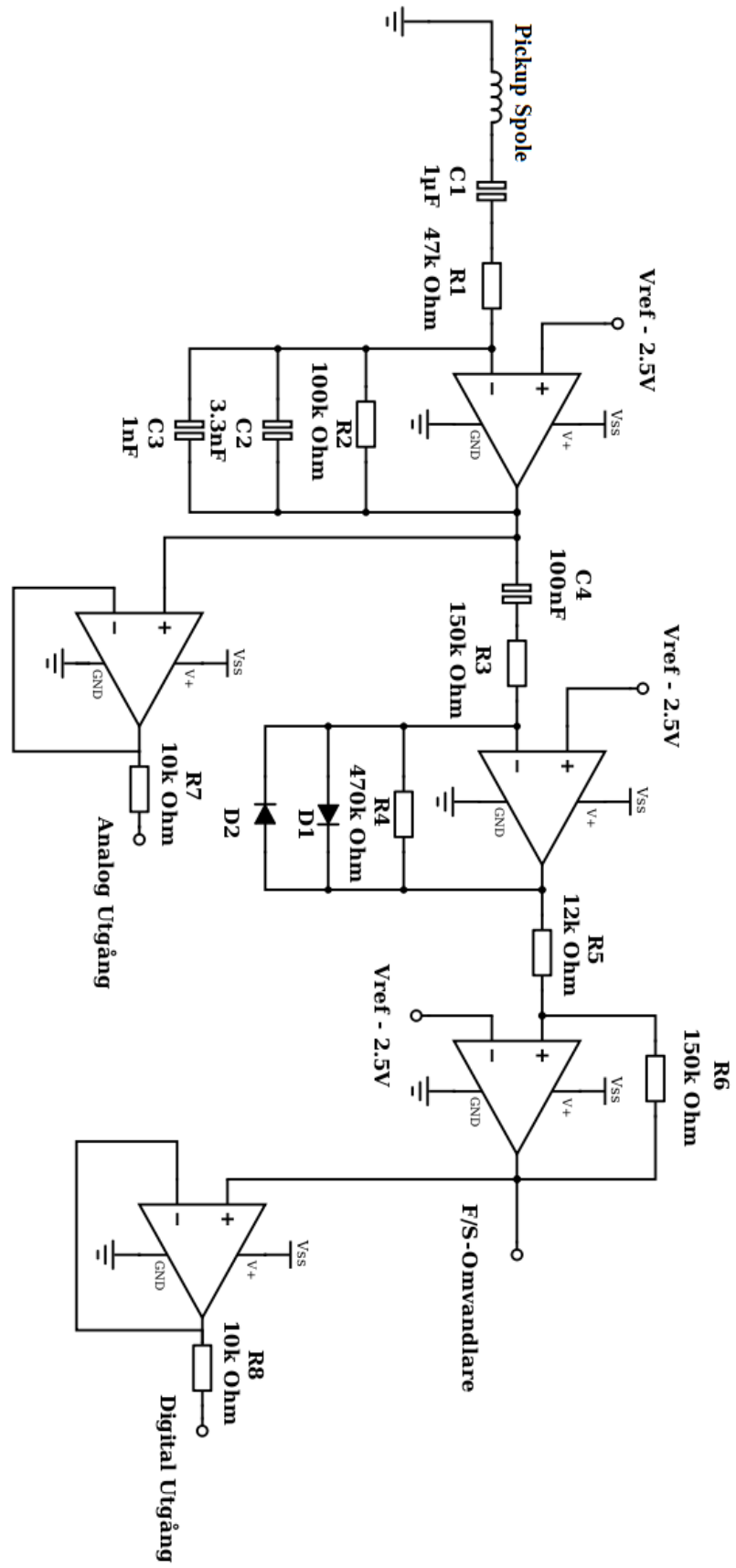
För att få en spänning som representerar rätt varvtal justerades utsignalen med hjälp av en potentiometer tills önskat värde mättes upp och visades på displayen. För att justeringen av potentiometern skulle bli så exakt som möjligt användes en funktionsgenerator som simulerade frekvensen från spolen. Den användes eftersom motorns varvtal kunde variera på grund av olinjäriteter som uppkom av t.ex. luftbubblor i oljan eller oljans stigande temperatur under drift. Det resulterade i att trögheten som motorn upplevde ändrades och därav varierade varvtalet. Efter att justeringen var klar mättes resistansen hos potentiometern upp och ersattes av fasta motstånd.

När utspänningen från förstärkaren och F/S-omvandlarens varvtal stämde överens kopplades displayen upp enligt konfigurationen "Single-ended input" som hämtades från databladet för displayen[d3]. Displayen är en digital voltmeter som presenterar spänningen den får på ingången. När displayen väl var inkopplad kontrollerades den så att rätt varvtal visades.

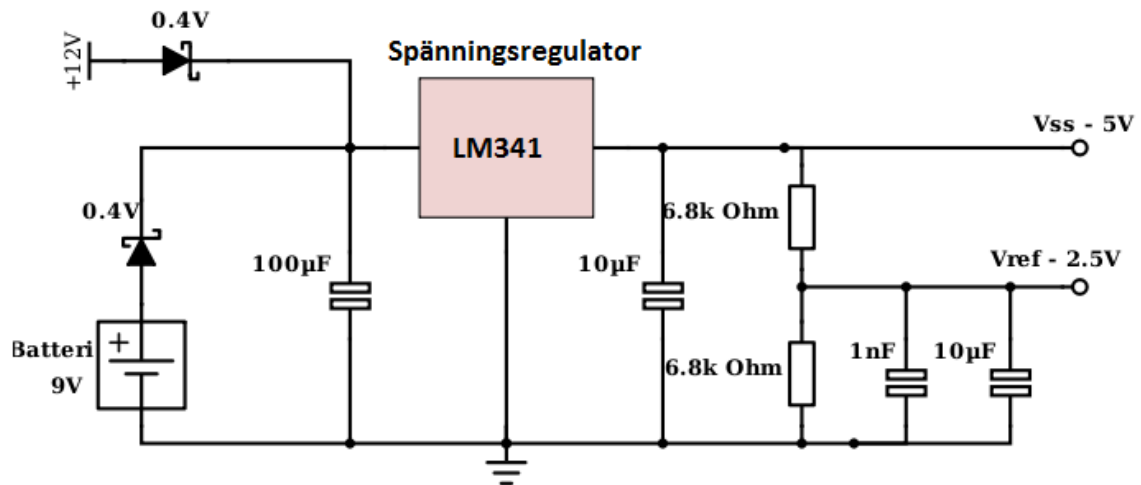
Drivspänningarna bestod av ett 9V batteri och en 12V drivspänning från en nätadapter. De spänningarna sänktes till 5V med hjälp av en spänningsregulator[d2] då komponenterna och displayen som valts krävde eller tålde enbart 5V. Spänningsregulatorn var även nödvändig för att få en stabil matningsspänning.

Operationsförstärkarna som har använts drivs med enkel drivspänning för att förenkla konstruktionen av drivspänningen[d1]. Då spolen inte hade någon jordpunkt och de enkelmatade operationsförstärkarna som valdes inte kunde anslutas till en växelspanning, så var en offset-spänning tvungen att göras för att kretsen skulle fungera. Denna offset åstadkoms med en spänningsdelning, där drivspänningen halverades från 5V till 2.5V.

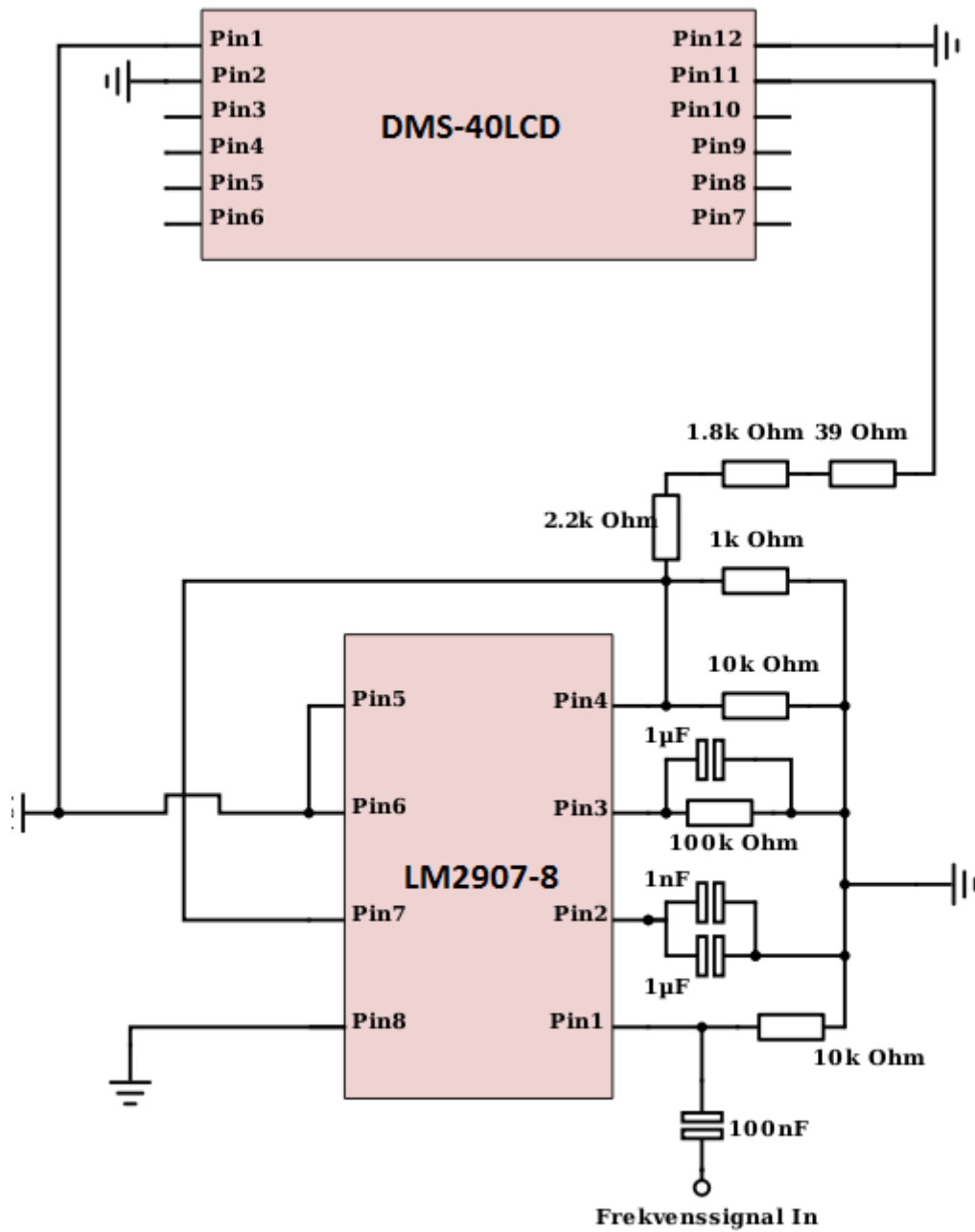
När kretsen ansågs vara färdig och rätt signaler kunde utvinnas byggdes den upp på ett experimentkort där de valda komponenterna löddes fast. Kretskortet monterades därefter i handkonsolen som valts.



Figur 11. Anpassningskrets



Figur 12. Kretsen för spänningsförsörjning [d2]



Figur 13. Krettschema för F/S-omvandlare[d3] och display[d4]

3.3 Mekanisk konstruktion

Då ett färdigt mätinstrument skulle utvecklas gjordes även en del mekaniska konstruktioner.

3.3.1 Hållare av spolen

För att spolen skulle kunna fästas på statorhöljet var det nödvändigt att designa en hållare. Då signalens karaktäristik ändrades beroende spolens placering[Se Figur 2] beslutades att placera spolen där den uppmätta signalen såg bäst ut, det vill säga bakom permanentmagneterna. När spolen placerades mellan de två magneterna kunde kommuteringarna inte urskiljas från spänningens svängningar vilket var ytterligare en anledning till att en hållare var nödvändig.

Tanken med hållaren var en bred cylinder som skulle träs på statorn för att sedan fästas vid de två inflikningarna på statorn. Denna idé fick tänkas om då det sitter en märketikett över dessa som inte fick tas bort. Istället beslöts att hållaren skulle fästas med hjälp av en bult alternativt en slangklämma. Nackdelen med denna infästning var att det blev svårt att veta hur den skulle fästas på statorhöljet.



Figur 14. Prototyp av hållaren

En prototyp utformades med hjälp av två rör med olika dimensioner för att testa om hållaren skulle fungera på de olika bilmodeller som motorn används på. Under dessa tester upptäcktes att spolen i vissa fall behövde placeras på motsatt sida jämfört med andra bilmodeller då exempelvis kardanen tog emot vid montering. På vissa av modellerna fungerade inte den cylinderformade hållaren alls, därför utformades en prototyp uppbyggd av en halv cylinder.

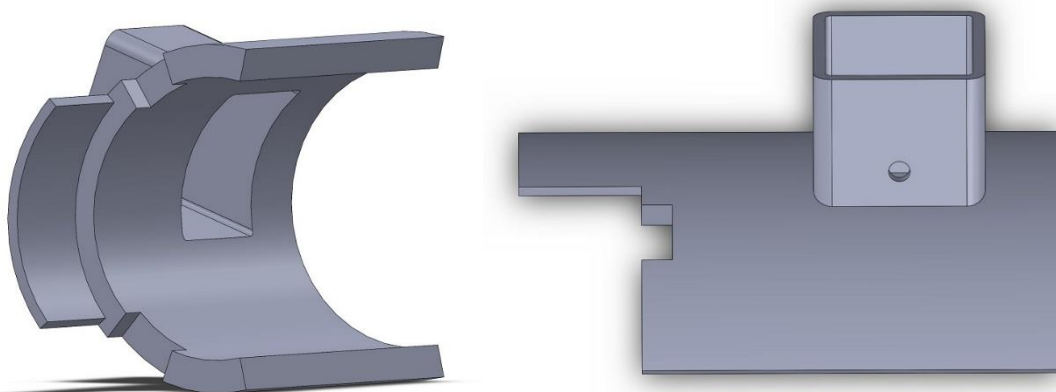
I detta fall kom hållaren att passa på alla de olika bilmodeller som utnyttjar motorn.

För att fixera hållaren utformades ett ben som placerades till höger respektive vänster på motorn mellan de två skruvfästningarna. Då skruvarna byggde ut en bit kapades två olika stora jack i hållaren för att få så bra passform som möjligt.



Figur 15. Prototyp av halva hållaren

Reläet som spolen togs från gick inte längre att köpa och det blev därför nödvändigt att linda en ny spole alternativt hitta ett nytt relä att hämta spolen från. Det valdes då att ta en spole från ett relä som gick att köpa då det var ett enklare alternativ. Reläet som valdes hade ett rektangulärt skal runt spolen och därför var prototypen tvungen att byggas om. Hållaren skulle även ritas upp i ett 3D CAD program vid namn SolidWorks för att den skulle kunna 3D-printas för framtida användning av verktyget samt för att kunna tillverka fler verktyg.



Figur 16. 3D-prototyp av hållaren

3.3.2 Chassi

Chassit utformades så att den skulle vara lätt att hålla i samt utifrån dimensionerna på display, kretskort och batterier. Det ansågs lämpligast att beställa en redan befintlig handkonsol då utbudet av universella sådana var stort och även för att det skulle underlätta för kommande kopior av verktyget, än om en konsol hade designats och tillverkats från grunden.

Det gjordes ett par modifieringar på konsolen för att den skulle fungera ihop med resten av mätinstrumentet. Ett fönster kapades ut för att kunna montera displayen som valts. Eftersom verktyget skulle drivas både med ett 9V batteri och från en nätadapter fick en socket monteras i chassit till nätspänningskontakten.

Ett av kraven på instrumentet var att kunna koppla in ett oscilloskop för att bl.a. kunna felsöka en reklamerad motor. Det skulle då finnas två mätpunkter, en analog och en digital, och dessa sattes med två öglor vardera ut från chassit, den nedre jord och den andra för signal. Utöver detta monterades en brytare på chassit för att slippa koppla av batteriet var gång instrumentet skulle stängas av.



Figur 17. Mätverktyget

Inuti hållaren fästes kretskortet med chassiskruvarna som följde med konsolen. Batterihållaren fästes med ett kardborrband för att enkelt kunna byta ut batteriet när det förbrukats.



Figur 18. Mätverkyget applicerat på mätobjektet

3.4 Dokumentation

Dokumentation var en viktig del i arbetet. Företaget ville i framtiden kunna bygga kopior av verktyget och då krävs att allt är väl dokumenterat.

Dokumentationen bestod dels av att rita kretsschema för kretskortet, en lista på de komponenter/delar som använts och hos vilken återförsäljare företaget kan köpa produkten. Detta gjordes för att förenkla beställning av komponenterna.

En ritning av hållaren ritades i CAD för att kunna 3D-printa den. På så sätt är alla nödvändiga mått och dimensioner dokumenterade.

Det skrevs även en manual för instrumentet för att specificera hur hållaren ska placeras på pumpen för att korrekt varvtal ska kunna utläsas. I den står även vilken drivspänning den ska matas med och övriga specifikationer.

4 Slutsatser

Den slutgiltiga produkten blev som önskat ett handhållet mätinstrument för att mäta varvtalet och produkten uppfyller samtliga punkter enligt kravspecifikationen och frågeställningen har besvarats. En pickup spole visade sig vara den bästa metoden för att mäta det varierande magnetfältet från rotorn av de beprövade metoderna och var den typ av givare som det valdes att gå vidare med.

Det konstaterades även att en spole med många lindningsvarv gav en bättre signal. Placeringen av spolen på motorn visade sig ha en avgörande betydelse, det konstaterades att spolen bör placeras bakom magneterna i statorn för att undvika störningar på signalen som framförallt syntes vid lägre varvtal. För att underlätta vid tillverkning av fler verktyg togs en spole från ett relä som finns att köpa.

Då råsignalen redan var relativt fin behövde signalen inte filtreras så hårt. Filtrering gjordes i först hand på det lägsta uppmätbara varvtalet där ett lågpasfilter användes. Det lägsta mätbara varvtalet var 670 rpm detta var vid 2V matningsspänning på motorn. Vid lägre varvtal blev det svårare att urskilja varje kommutering då även matningsspänningen är lägre vilket bidrar till ett svagare magnetfält att mäta upp.

I och med att den slutgiltiga produkten innebar ett färdigt mätinstrument byggdes en hållare som sedan ritades in i ett 3D cad program för att sedan printas ut i en 3D-printer. Själva instrumentlådan köptes färdig och ett par modifieringar gjordes för de önskade in och utgångarna som skulle behövas.

4.1 Slutgiltigt test

När kretskortet och alla utgångar monterats på handkonsollen så utfördes de sista testerna för att konstatera funktionaliteten hos mätinstrumentet. Tester gjordes för att bestämma hur stora felmarginalerna var för det uppmätta varvtalet jämfört med det verkliga. En funktionsgenerator kopplades in till kretsen för att simulera signalen från pickup spolen, därefter beräknades det verkliga varvtalet genom att mäta upp tiden för de 12 pulserna med ett oscilloskop och jämförde det sedan med varvtalet som visades på displayen. Resultaten finns i tabellen nedan.

Frekvensen för funktionsgeneratorn	Simulerat Varvtal	Mätinstrumentets varvtal	Felmarginal
150Hz	750rpm	768rpm	2.4%
300Hz	1500rpm	1531rpm	2.1%
450Hz	2255rpm	2294rpm	1.7%
600Hz	3000rpm	3049rpm	1.6%
750Hz	3750rpm	3802rpm	1.3%
1000Hz	5000rpm	5042rpm	0.8%

Figur 19. Verktøjets felmarginaler

Ett krav från företaget var att felmarginalen skulle vara under 10%, vilket kan konstateras att det kravet är uppfyllt.

4.2 Framtida utvecklingsmöjligheter

Om det skulle önskas fler funktioner till mätinstrumentet i framtiden skulle en mikroprocessor kunna programmeras för att ersätta F/S-omvandlaren. Funktioner som kunde varit nyttiga är en seriell utgång för att koppla in en dator eller utveckla ett gränssnitt för CAN-buss då det är ett vanligt kommunikationsprotokoll inom bilindustrin.

För att kunna mäta lägre varvtal hade en egen spole kunnat designas där man då hade fokuserat på att öka känsligheten hos den och på så sätt kunnat mäta svagare magnetfält.

Skulle det önskas en bättre signal på den digitala utgången kunde operationsförstärkaren bytas ut mot en pulsrekonstruerande IC-krets (komparator, schmitt-trigger eller liknande) då operationsförstärkaren inte har tillräckligt snabb slew rate för att omvandla den analoga signalen till en snygg digital signal.

Under litteratursökningen hittades även försök där varvtalsmätningen kunde ske externt genom att mäta vibrationerna med hjälp av en accelerometer. Det ansågs dock vara mer tillförlitligt och mycket enklare att mäta magnetfältet och därför beprövades inte metoden med accelerometern.

5 Terminologi

AWD(All-Wheel Drive) – Det innebär att motorn driver alla hjul på fordonet, i detta fall fyra hjul.

CAD(Computer Aided Design) – Är ett program för att designa och rita produkter.

F_c – Brytfrekvensen för ett filter

F/S-Omvandlare - Frekvens-spännings omvandlare

PMLM - Permanent magnetiserad likströmsmotor

Rpm - varv per minut, alternativt varv/min

3D-printning – Är en process som tillverkar tredimensionella objekt, oftast i plast.

6 Referenser

- [1] Olsson Gustaf, Petersson, Alaküla Mats, Samuelsson Olof , Svensson Tore.(2000) *EMS: Elmaskinsystem*. IEA/LTH.
- [2] Cronqvist Anders, (1996) *Elkrafthandboken – Elmaskiner* .Liber
- [3] Milano, Shaun. (2013) *Allegro Hall-Effect Sensor ICs*, Produkt information.
- [4] Gramh Lennart , Jubrink Hans-Gunnar, Lauber Alexander (2007) *Modern Industriell Mätteknik*
- [5] Hamley Allan. R , (2012) *Electrical Engineering – Principals And Applications,6:e* . Pearson
- [6] <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/34-07/comparators/index.html> 2016-08-14

Datablad:

- [d1]Operationsförstärkare MCP6022 – senast ändrad 2009-02-04
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21685d.pdf>
2016-08-14

- [d2]Spänningsregulator LM341T – senast ändrad augusti 2005
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm341.pdf>
2016-08-14

- [d3]LCD display – senast ändrad 2015
<http://www.murata-ps.com/data/meters/40lcd.pdf>
2016-08-14

- [d4]F/S-omvandlare LM2907N-8 – senast ändrad mars 2013
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2907-n.pdf>
2016-08-14

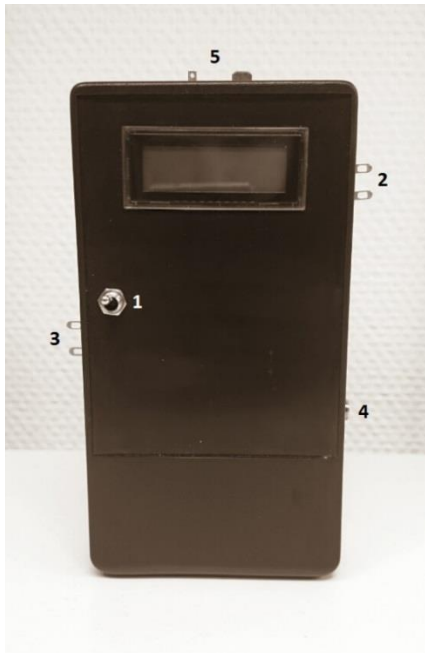
7 Bilagor

7.1 Materiallista

Antal	Artikel	Artikelnummer(Farnell)
3	MCP6022-E/P Operationsförstärkare	1332125
1	LM341T-5.0/NOPB Linjärspänningsregulator	1685492
1	DMS-40LCD-1/2-5-C, digital panelmätare	1339304
1	LM2907N-8 F/S-omvandlare	1468987
1	JR1819-ROHS, DC-kontakt 2.1mm	1216726
1	RH3041BK, Handhållen skyddslåda	1877256
1	Finder SPST-NO, 230VAC, 30A	1169205
1	AC/DC adaptor, 12V 0,5A	1971794
4	Lödöron 3.2mm	
1	On-On switch 1P	
1	Batterikontakt med kabel 9V	
1	Batterihållare 9V	
1	Kondensator 1nF	
1	Kondensator 3.3nF	
1	Kondensator 6.8nF	
2	Kondensator 100nF	
1	Kondensator 0.1 μ F	
2	Elektrolytkondensator 1 μ F	
2	Elektrolytkondensator 10 μ F	
1	Elektrolytkondensator 100 μ F	
2	Resistor 100 Ω	
2	Resistor 6.8k Ω	
3	Resistor 10k Ω	
1	Resistor 12k Ω	
1	Resistor 47k Ω	
1	Resistor 100k Ω	
2	Resistor 150k Ω	
1	Resistor 470k Ω	

7.2 Användarmanual

Uppbyggnad



Figur 20.

1. Switch
2. Oscilloskop utgång; analog signal
3. Oscilloskop utgång; digital signal
4. Nätspännings ingång
5. Kontakter till pickup spolen

Uppstart

Fäst hållaren på motorn enligt figur 21.

Hållaren kan även fästas på motsvarande sida.

Koppla in spolen till stiften (5) på verktygets översida. Vippa sedan brytaren under skärmen så är enheten redo.

Mätenheter

Verktygets skärm visar antalet varv som motorn snurrar. En etta på skärmen motsvarar 1rpm.



Figur 21.

Strömtillförsel

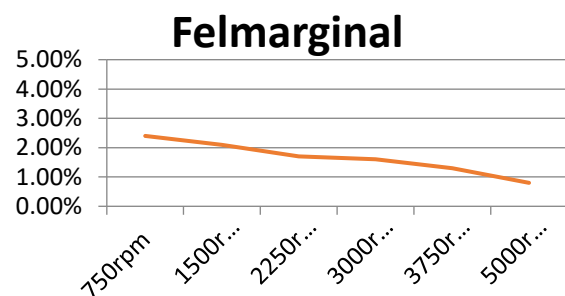
Drivs med antingen 9V batteri eller nätaggreat på 12V.

Oscilloskoputgång

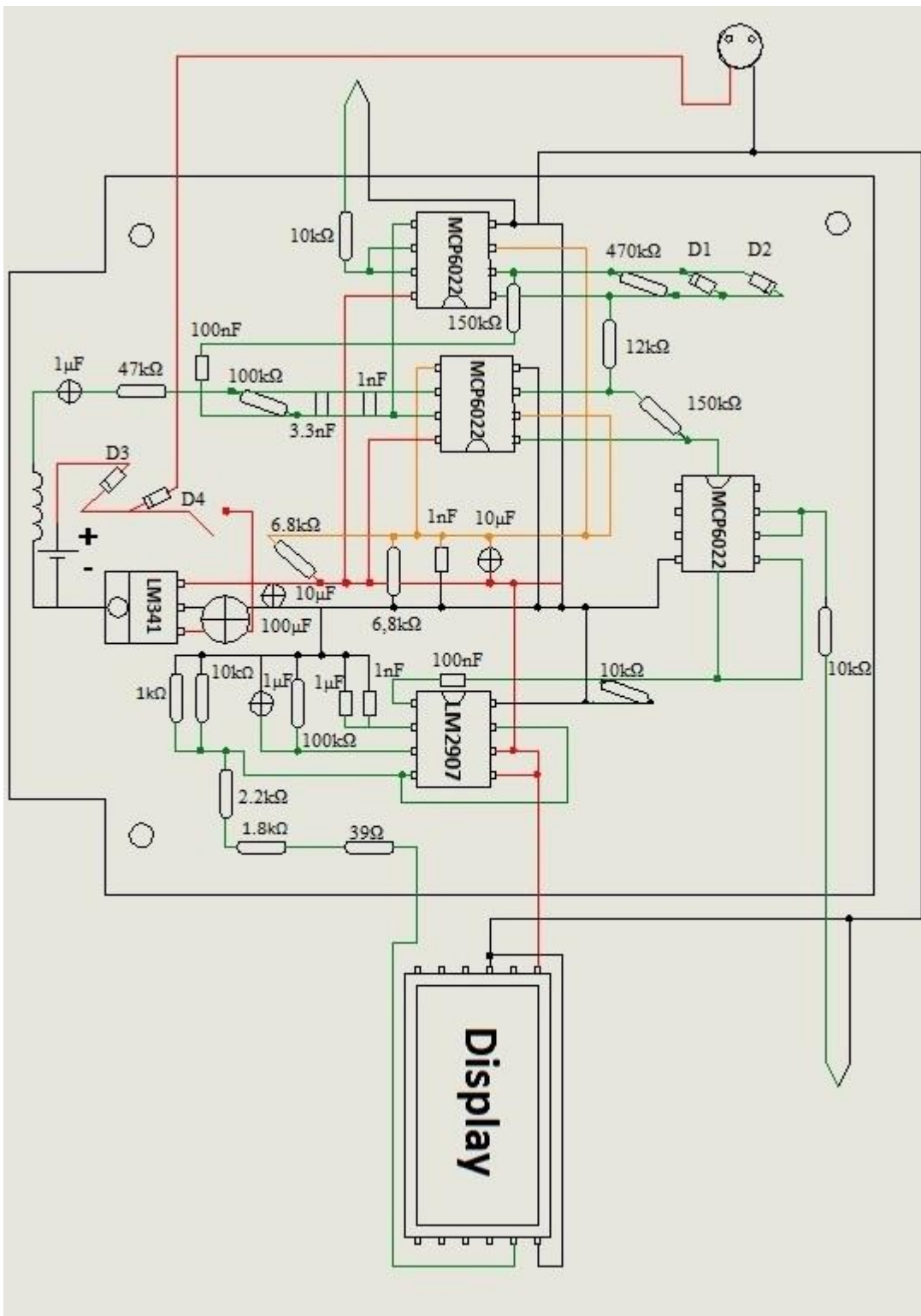
På enheten finns två olika oscilloskoputgångar; en för analog och en för digital signal. Gemensamt för båda är att signalen är den övre och jord den nedre av de två pinnarna. Se bilden för vilka utgångar som är vilka.

Felmarginaler

Felmarginalerna beräknade utifrån det uppmätta varvtalet från en funktions generator gentemot varvtalet som displayen visar.



7.3 Kretsschema



Figur 22. CAD-ritning på hela kretsen