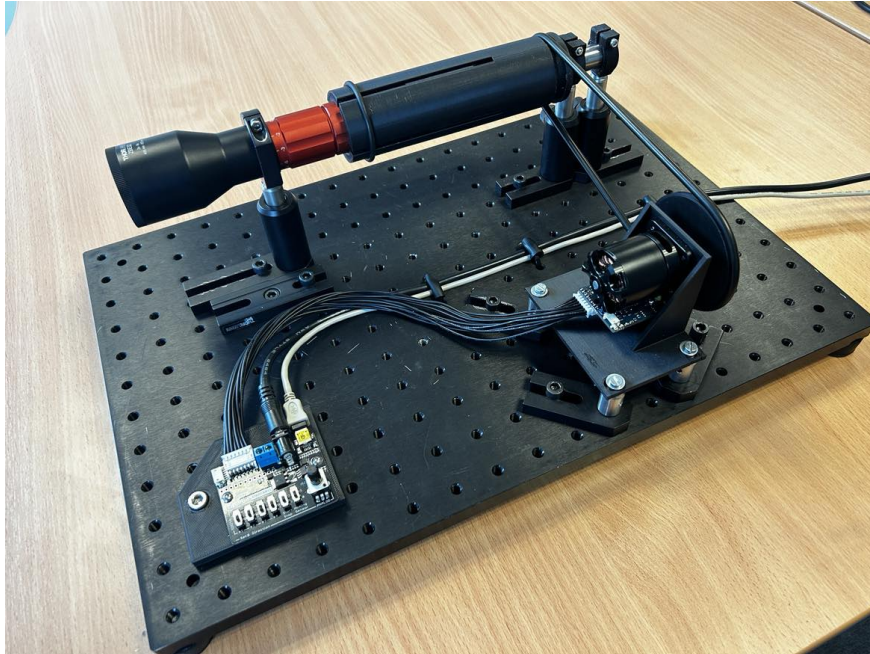




CHALMERS



# Design och Konstruktion av ett Mätverktyg för Moment- och Glappmätning av Manuellt Fokuserande Optiska Enheter

Design and Construction of a Torque- and Play Measurement  
Setup for Manual Focusing Optical Systems

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Mekatronik

MARCUS GISSLEHOLM  
OSCAR OLSSON

**INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



EXAMENSARBETE 2023

**Design och Konstruktion av ett Mätverktyg  
för Moment- och Glappmätning av  
Manuellt Fokuserande Optiska Enheter**

Design and Construction of a Torque- and Play Measurement Setup  
for Manual Focusing Optical Systems

MARCUS GISSLEHOLM  
OSCAR OLSSON



**CHALMERS**

Institutionen för Elektroteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023

Design och Konstruktion av ett Mätverktyg för Moment- och Glappmätning av  
Manuellt Fokuserande Optiska Enheter  
Design and Construction of a Torque- and Play Measurement Setup for Manual  
Focusing Optical Systems  
MARCUS GISSLEHOLM  
OSCAR OLSSON

© MARCUS GISSLEHOLM & OSCAR OLSSON, 2023.

Handledare: Jenny Nyström, Thorlabs Sweden AB  
Handledare: Björn Langborn, Institutionen för Elektroteknik  
Examinator: Erik Ström, Institutionen för Elektroteknik

Examensarbete 2023  
Institutionen för Elektroteknik  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Slutligt mätverktyget med en ZBE32 monterad.  
Författad i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Göteborg, Sverige 2023

Design och Konstruktion av ett Mätverktyg för Moment- och Glappmätning av  
Manuellt Fokuserande Optiska Enheter  
Design and Construction of a Torque- and Play Measurement Setup for Manual  
Focusing Optical Systems  
MARCUS GISSLEHOLM & OSCAR OLSSON  
Institutionen för Elektroteknik  
Chalmers Tekniska Högskola

## Sammanfattning

Thorlabs Sweden AB designar och tillverkar produkter inom fotonik, bland annat opto-mekaniska produkter med manuell zoom- och fokus-funktionalitet, såsom beam expanders och kollimatorer. I dagsläget kontrolleras dessa produkter av en erfaren montör som, genom att vrida på zoom- och fokushjulen, kontrollerar glapp och momentvariationer under vridning och beslutar utifrån detta om produkten är godkänd eller ej.

Det examensarbete som denna rapport presenterar har haft som mål att ta fram och realisera en teknisk lösning för att analysera momentvariationer och glapp i zoom- och fokushjulen på opto-mekaniska produkterna. Det färdigutvecklade mätverktyget var tänkt att användas som ett hjälpmedel i produktionen av opto-mekaniska produkter hos Thorlabs Sweden för att säkerställa en konsekvent god kvalitet av dessa opto-mekaniska produkter.

För att kunna analysera och evaluera hjulens momentvariationer och glapp under rotation så kopplas en motor av modell Simplex Motion SC020B till hjulet. Motorn kopplas ihop med hjulet med hjälp av en drivrem så att motorn genererar en signal innehållande momentvariationerna i hjulet. Förutom att utföra rotationen av hjulet innehar denna motorn även mjukvara som uppskattar de observerade momentvariationerna under rotationen, och kan ge dessa i form av en digital signal. Genom att analysera en mängd godkända och underkända produkter, undersöks signalerna med mål att ta fram karakteristiken för ett godkänt hjul.

Efter genomfört projekt finns ett uppbyggt mätverktyg med möjlighet att ta ut momentvariationer från hjulen. Dock har ingen karakteristik för godkända hjul tagits fram och därav kan inte mätverktyget avgöra huruvida enheten som analyseras är godkänd eller ej. Under projektets gång har ett antal problem identifierats och metoder för att kringgå dessa har undersökts och till viss del genomförts. Framtida förbättringsmöjligheter har undersökts och föreslagits för vidareutveckling av mätverktyget. Den första förbättringen som föreslagits att gå vidare med är att skapa ett eget motorprogram för att uppnå högre upplösning. Detta då mätverktyget bör testa produkterna i olika hastigheter för att minimera risken att felaktigheter missas. Slutligen bör analysverktyget utvecklas genom att beräkna medelvärdet över kortare sektioner.

Nyckelord: Opto-mekanik, Mätverktyg, Moment, Hjul, Produktionshjälpmedel.

# Abstract

Thorlabs Sweden AB designs and manufactures products in photonics, including opto-mechanical products with manual zoom- and focus functionality, such as beam expanders and collimators. Currently, these products are checked by an experienced fitter who, by turning the zoom- and focus wheels, checks for play and torque variations during turning and decides based on this whether the product is approved or should be rejected.

The bachelors thesis that this report presents had the goal of developing and realizing a technical solution to analyze torque variations and the play in the zoom- and focus wheels on the opto-mechanical products. The fully developed measuring tool was intended to be used as an aid in the production of opto-mechanical products at Thorlabs Sweden to ensure a consistently good quality of these opto-mechanical products.

In order to be able to analyze and evaluate the wheel's torque variations and play during rotation, a Simplex Motion SC020B motor is connected to the wheel. The motor is connected to the wheel using a drive belt so that the motor generates a signal containing the torque variations in the wheel. In addition to performing the rotation of the wheel, this motor also has software that estimates the observed torque variations during the rotation, and can provide these in the form of a digital signal. By then analyzing a number of approved and rejected products, the signals are examined with the aim to find the characteristics of an approved wheel.

After the project is completed, a measuring tool with the possibility to generate a signal containing the torque variations from the wheels is built and programmed. However, no characteristic for approved wheels has been found and therefore the measuring tool cannot determine whether the unit being analyzed is approved or should be rejected. During the project, a number of problems have been identified and methods to solve these have been investigated and to some extent implemented. Future improvement opportunities have been investigated and suggested for further development of the measurement tool. The improvements suggested to proceed with are: First to create a separate program for the control of the motor, this to achieve higher resolution than Simplex Motion Tool offers, the measurement tool should also test the products at different speeds to minimize the risk of faults being missed and finally the analysis tool should be developed by calculating the average value over shorter sections.

Keywords: Opto-mechanics, Measuring tool, Torque, Wheels, Production aid.

## Förord

Denna rapport sammanställer ett examensarbete utfört av Marcus Gissleholm och Oscar Olsson inom högskoleingenjörsprogrammet Mekanik. Examensarbetet utfördes vid institutionen för Elektronik vid Chalmers tekniska högskola, på företaget Thorlabs Sweden AB. Detta arbete genomfördes i halvtakt under 20 veckor och motsvarar 15 hp av de 180 hp som utgör högskoleingenjörsprogrammet.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Jenny Nyström på Thorlabs Sweden AB som bidragit med handledning och varit till stor hjälp under arbetet. Likaså vill vi rikta ett stort tack till Fredrik Olofsson på OEM Motor AB som låtit låna ut en motor med tillhörande komponenter vilket möjliggjorde att via tester underlätta valet av metod. På Chalmers tekniska högskola vill vi tacka vår handledare Björn Langborn och vår examinator Erik Ström som bidragit med stort stöd och support under arbetets gång.

Marcus Gissleholm & Oscar Olsson, Göteborg, Juni 2023



# Innehåll

<b>Figurer</b>	<b>xi</b>
<b>Tabeller</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Syfte . . . . .	1
1.3 Mål . . . . .	1
1.4 Frågeställning . . . . .	2
1.5 Avgränsningar . . . . .	2
<b>2 Teori</b>	<b>3</b>
2.1 Rotationsgivare . . . . .	3
2.2 Wheatstonebrygga . . . . .	4
2.3 Töjningsgivare . . . . .	4
2.4 Släpring . . . . .	5
2.5 Kesselringmatris . . . . .	5
2.6 Simplex Motion demokort . . . . .	6
<b>3 Metod och Genomförande</b>	<b>7</b>
3.1 Metoder för signalgenerering . . . . .	8
3.1.1 Hastighetsförändring . . . . .	8
3.1.2 Simplex Motion . . . . .	9
3.1.3 Töjning av motoraxel . . . . .	9
3.2 Framtagning av momentintervall . . . . .	12
3.3 Test av Simplex Motion SC020B . . . . .	14
3.4 Kraftöverföring mellan motor och hjul . . . . .	17
3.5 Val av metod för signalgenerering . . . . .	19
3.6 Programmering . . . . .	20
3.7 Signalanalys . . . . .	22
3.8 Validering av mätverktyg . . . . .	23
<b>4 Resultat och Diskussion</b>	<b>27</b>
<b>5 Slutsats</b>	<b>31</b>
<b>Källförteckning</b>	<b>33</b>

**A Program till Simplex Motion SC020B**

**I**

# Figurer

2.1	Optiskt pulshjul, med en riktad ljuskälla samt regelbundet utplacerade hålrum längs hjulet. När ljus skiner igenom ett hål detekteras detta av fotosensorn vilken ger ut en digital signal. . . . .	3
2.2	Wheatstonebrygga. . . . .	4
2.3	Signal från en givare monterad på en roterande axel kopplad via en släpring. . . . .	5
2.4	Demokort för en Simplex Motion motor. . . . .	6
3.1	Wheatstonebrygga med töjningsgivare. . . . .	10
3.2	Töjningsgivare monterade på axel. . . . .	10
3.3	Vridningsvinkel på axel som utsätts för ett moment. . . . .	11
3.4	Momentmätning av zoom hjulet på en beam expander. . . . .	12
3.5	Fästet som används vid framtagning av momentintervallet samt vart på fästet punktmassan har placerats. . . . .	13
3.6	SC020B motor kopplad till zoom hjulet på en beam expander med en gummirem. . . . .	15
3.7	Momentvariationerna under rotation av hjulet på en godkänd beam expander av modell ZBE21-LOAN. . . . .	15
3.8	Momentvariationerna under rotation av hjulet på en godkänd beam expander av modell ZBE32. . . . .	16
3.9	Momentvariationerna under rotation av hjulet på en underkänd beam expander av modell ZBE1C. . . . .	17
3.10	Genomskrining av lösning för kraftöverföring som minimerar radiell belastning på hjulen. Hur denna sedan monteras i mätverktyget går att se i Figur 3.11. . . . .	18
3.11	ZBE32 monterad i det uppbyggda mätverktyget . . . . .	19
3.12	Flödesschema över stoppfunktionaliteten för motorn. . . . .	20
3.13	Flödesschema över rotationen av motorn. . . . .	21
3.14	Genererad signal, momentet som en funktion av tiden, från en godkänd BE02-UVB. . . . .	23
3.15	Sammanställning av tre upprepade mätningar av vridmomentet som en funktion av tiden. . . . .	24
4.1	Momentet som en funktion av tiden från fyra godkänd och tre underkända hjul från enheter med samma mekanik. . . . .	27
4.2	Momentet som en funktion av tiden från ett godkänd och ett underkänt hjul från en BE03. . . . .	28

4.3	Momentet som en funktion av tiden och dess medelvärde från en godkänd enhet utan glapp. . . . .	29
4.4	Momentet som en funktion av tiden och dess medelvärde från en godkänd enhet utan glapp. . . . .	29

# Tabeller

2.1	Exempel på Kesselringmatris. . . . .	6
3.1	Moment för att rotera hjulen på de opto-mekaniska enheterna . . . .	13
3.2	Kesselringmatris för signalgenerering. . . . .	19
4.1	Mätvärden från signalerna som går att se i Figur 4.1 . . . . .	28



# 1

## Introduktion

Detta introducerande kapitel kommer ta upp bakgrunden till varför projektet genomförts samt syftet med projektet. Även vilka mål som har ställts på projektet och en preciserad frågeställning som ska besvaras har tagits med. Slutligen kommer även avgränsningarna som satts upp för projektet att presenteras.

### 1.1 Bakgrund

Thorlabs Sweden designar och tillverkar produkter inom fotonik, bland annat opto-mekaniska produkter med manuell zoom- och fokus-funktionalitet, såsom beam expanders och kollimatorer. De optiska enheternas zoom och fokus justeras genom att manuellt vrida hjulen på produkterna, detta ger upphov till en förflyttning av linserna i de opto-mekaniska produkterna vilket justerar zoom och fokus. Dessa förflyttningar måste ske precist och för att uppnå detta används smörjmedel i hjulen på produkterna vilket minskar friktionen, momentvariationerna samt det radiella glappet. Hur stort glappet är kan beskrivas av hur mycket hjulet kan vridas innan linserna börjar flyttas. Detta leder till att användaren, genom att vrida på hjulen, kan finjustera zoom och fokus. I dagsläget kontrolleras produkterna av en erfaren montör som, genom att vrida på zoom- och fokushjulen, kontrollerar glappet och momentvariationerna under vridning och beslutar utifrån detta om produkten är godkänd eller ej. För att säkerställa en konsekvent god kvalitet av dessa opto-mekaniska produkter är Thorlabs Sweden i behov av ett produktionskompatibelt mätverktyg som kan automatisera processen. Detta mätverktyg ska användas för att mäta momentvariationer och glapp i de manuella zoom- och fokushjulen och därefter avgöra om dessa är godkända eller underkända.

### 1.2 Syfte

Det examensarbete som denna rapport presenterar har i syfte att konstruera samt programmera ett mätverktyg som kan validera om moment och glapp på zoom- och fokushjul på opto-mekaniska produkter är inom godkända toleranser.

### 1.3 Mål

Målet med detta projekt är att ta fram och realisera en teknisk lösning för att analysera momentvariationer och glapp i zoom- och fokushjul på opto-mekaniska

produkter. Då mätverktyget är färdigt ska de användas som ett hjälpmedel i produktionen av opto-mekaniska produkter hos Thorlabs Sweden för att säkerställa en konstant god kvalitet av dessa opto-mekaniska produkter.

### 1.4 Frågeställning

För att precisera frågeställningen har följande frågor och hypoteser tagits fram:

Frågor:

- Kommer mätverktyget att kunna utläsa lika små glapp som en erfaren montör kan?
- Kommer mätverktyget att kunna utläsa de momentvariationer som uppstår till följd av att hjulet inte roterar mjukt och som av en erfaren montör klassas som ej godkänt?
- Kommer mätverktyget att kunna avgöra då ändlägena på hjulet har nåtts?

Våra hypoteser för detta arbete är att karakteristiken för godkända hjul kommer att variera från enhet till enhet. Detta då det kan krävas olika kraft för att vrida på hjulen men att de fortfarande är godkända om rotationen av hjulen sker mjukt. Vi tror även att en ej godkänd produkt kommer leda till variationer i den genererade signalen som utmärker sig från de godkända till följd av att vridmomentet ändras under rotationen av hjulet. Slutligen tror vi även att kopplingen mellan motorn och hjulet beroende på hur den konstrueras kan medföra glapp som är kopplat till systemet (mätverktyget) och som därigenom inte har något med hjulet att göra. Uppstår detta behöver det urskiljas under analysen av signalen.

### 1.5 Avgränsningar

För att avgränsa projektets omfattning har följande avgränsningar satts upp:

- Mätverktyget kommer endast att implementeras för Thorlabs produkter.
- Mätverktyget kommer endast att implementeras för en storlek på zoom- och fokus-hjul.
- Mätverktyget kommer endast mäta ett hjul i taget. Produkter kan ha både ett zoom- och ett fokus-hjul, i dessa fall får mätverktyget användas två gånger.
- Mätverktyget kommer inte ta fram det exakta momentet som krävs för att rotera hjulet utan endast generera en signal som är proportionell mot momentet och som sedan används för att avgöra om produkten är godkänd eller ej.

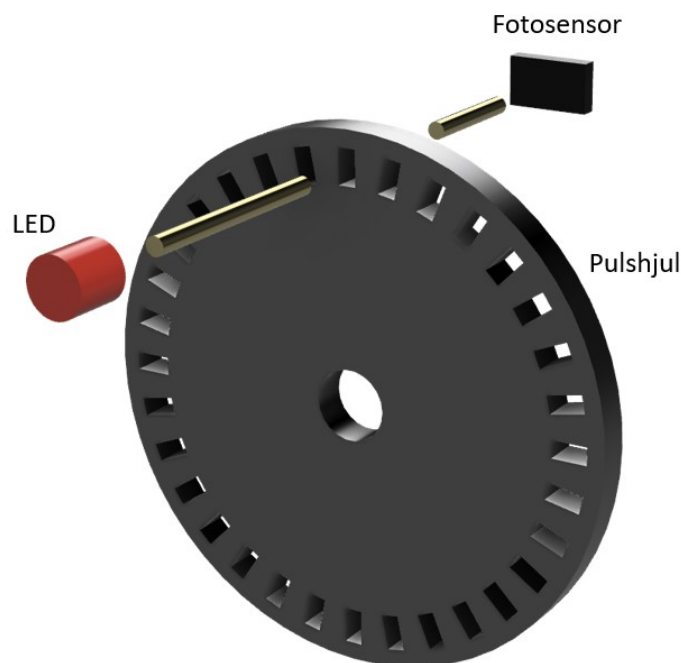
# 2

## Teori

Detta avsnitt beskriver de komponenter som ingår och den teori som behövs för att förstå och beskriva projektet.

### 2.1 Rotationsgivare

En rotationsgivare är en enhet som kan användas för att ta ut hastigheten eller positionen av en roterande axel [1]. Den optiska rotationsgivaren vilken består av en LED-lampa, ett pulshjul samt en fotosensor och går att se i Figur 2.1.



**Figur 2.1:** Optiskt pulshjul, med en riktad ljuskälla samt regelbundet utplacerade hålrum längs hjulet. När ljus skiner igenom ett hål detekteras detta av fotosensorn vilken ger ut en digital signal.

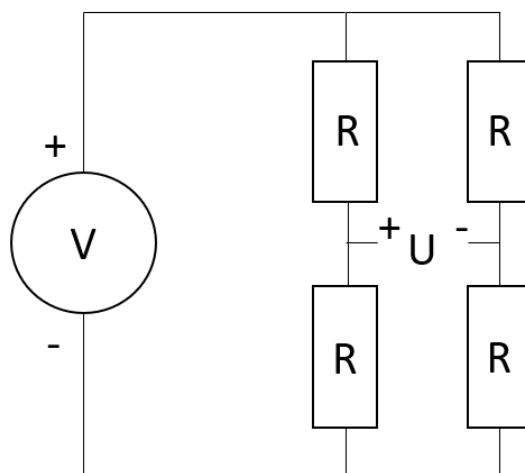
Figur 2.1 illustrerar de ingående delarna i en optisk rotationsgivare. Den roterande axel som rotationsgivaren önskas fästas på, kopplas samman med pulshjulet så att detta snurrar då axeln snurrar. Då axeln sedan roterar leder det till att fotosensorn skickar ut pulser då ljuset har möjlighet att passera igenom pulshjulet [1]. Signalen

från fotosensorn kan sedan användas för att beräkna hastigheten eller positionen hos axeln genom att beräkna hur ofta pulserna uppstår.

Rotationsgivare finns med olika noggrannhet och är beroende av antalet hålrum på pulshjulet. Ju fler hålrum pulshjulet är utrustat med ju noggrannare kan dess position och hastighet tas ut då axeln kan rotera mindre innan nästa puls skickas [1]. Noggrannheten på rotationsgivaren kan beräknas enligt  $(360/CPR)^\circ$  där  $CPR$  är antalet hålrum i pulshjulet.

## 2.2 Wheatstonebrygga

En Wheatstonebrygga är en elektrisk krets som används för att beräkna små resistansförändringar [2]. Konfigureras bryggan så att motstånden ( $R$ ) i Figur 2.2 är lika stora kommer spänningen ( $U$ ) i Figur 2.2 alltid att vara noll oavsett vad spänningen ( $V$ ) i Figur 2.2 till bryggan är. Byts sedan en av dessa resistorer ut till en med okänd resistans kommer det leda till en spänning ( $U$ ) som är proportionerlig mot den resistansförändring som skett [3].



Figur 2.2: Wheatstonebrygga.

## 2.3 Töjningsgivare

En töjningsgivare är en givare som kan detektera töjningar och kompressioner [3]. Den är tillverkad av en tunn metalltråd alternativt en tunn metallfolie och utnyttjar principen att då ett resistivt material töjs alternativt komprimeras leder detta till en förändring i materialets resistans. Trådens resistans erhålls enligt formeln

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}, \quad (2.1)$$

där  $\rho$ ,  $L$  och  $A$  är metallens resistivitet, längd och tvärsnittsarea [3]. En förändring i dess längd kommer att resultera i en resistansförändring som ges av

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \epsilon, \quad (2.2)$$

där  $K$  är en konstant beroende på materialet tøjningsgivaren är gjord av, och  $\epsilon$  definieras enligt

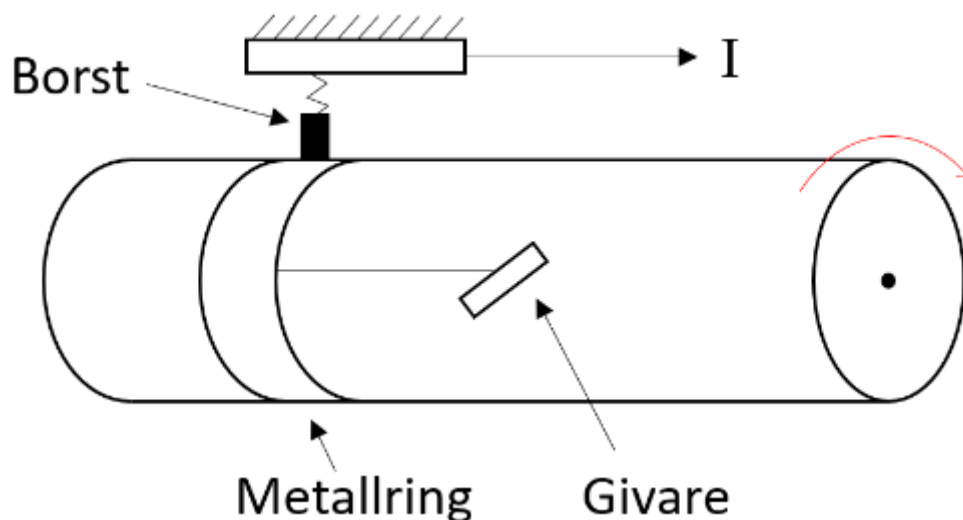
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}, \quad (2.3)$$

där  $L$  är dess originallängd och  $\Delta L$  är förändringen i dess längd [4].

Från detta går det att utläsa att då tøjningsgivaren töjs ut kommer detta leda till att dess resistans ökar och då den trycks ihop minskar dess resistans.

## 2.4 Släpring

En släpring är en elektrisk komponent som leder en ström från en stationär ledare till en roterande enhet [5]. Släpringen består av två huvuddelar, en roterande metallring och en grafit- eller metallkontaktborst som är stationära och trycks mot metallringen med hjälp av en fjäder vilket går att se i Figur 2.3.



**Figur 2.3:** Signal från en givare monterad på en roterande axel kopplad via en släpring.

## 2.5 Kesselringmatrix

En Kesselringmatrix är matris där det undersöks hur väl olika koncept uppfyller önskemål. Ett exempel på hur detta kan se ut visas i Tabell 2.1. Önskemålen viktas från 1-10 beroende på hur viktiga de är för lösningen, där 10 är viktigast. Hur de olika önskemålen är viktade skrivs i kolumnen w. Konzepten blir sedan betygsatta på hur bra de uppfyller önskemålen på en skala från 1-5, där 5 är högst. Deras betyg

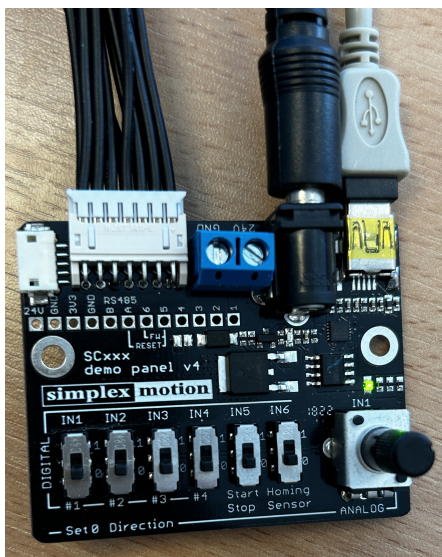
skrivs i v-kolumnen. Betygen för de olika önskemålen vägs sedan mot hur dessa är viktade och detta betyg skrivs i t-kolumnen. Konzepten jämförs sedan med ett optimalt koncept som har högsta möjliga poäng på varje önskemål. Poängen från varje önskemål sammanställs till en totalpoäng för koncepten som sedan jämförs med det optimala konceptet. Det koncept som får högst poäng och är närmast den optimala lösningen är det som enligt matrisen skall vara det bästa konceptet och därigenom det som bör väljas [6].

**Tabell 2.1:** Exempel på Kesselringmatris.

Kriterium		Lösningalternativ							
		Ideal		1		2		3	
	w	v	t	v	t	v	t	v	t
Önskemål 1	2	5	10	5	10	5	10	4	8
Önskemål 2	4	5	20	2	8	5	20	4	16
Önskemål 3	3	5	15	2	6	1	3	4	12
Önskemål 4	1	5	5	3	3	4	4	2	2
Önskemål 5	3	5	15	5	15	1	3	3	9
$T = \sum t_j$		65		42		40		47	
$T/T_{max}$		1		0,65		0,62		0,723076923	
Rangordning		-		3		2		1	

## 2.6 Simplex Motion demokort

Simplex Motions demokort, visad i Figur 2.4, erbjuder ett enkelt sätt att spänningssätta samt koppla ihop Simplex Motions motorer med en dator [7]. På demokortet finns även 6 brytare samt en potentiometer vilka kan användas vid programmeringen av motorn. Demokortet är även utrustat med ett överspänningsskydd för att förhindra att något går sönder till följd av överspänning.



**Figur 2.4:** Demokort för en Simplex Motion motor.

# 3

## Metod och Genomförande

För att uppnå de mål och besvara de frågeställningar som angivits i avsnitt 1.3 respektive avsnitt 1.4 lades arbetet upp enligt följande: Först beslutades vilken metod som skall användas för att generera signalerna med all nödvändig information om glappet och trögheten på hjulet på den opto-mekaniska produkten. Tre möjliga metoder för generering av signalerna har undersökts och den bäst lämpade valdes därefter och var den som användes i mätverktyget. För att detta beslut skulle kunna tas krävdes att ett intervall på de vridmoment som krävs för rotationen av ett godkänt hjul tas fram. Intervallet användes sedan vid valet av motor för de olika metoderna. Motorn var tvungen att väljas så att denna påverkas av variationerna i vridmomentet som uppkommer under rotation av hjulet på den opto-mekaniska produkten. Har motorn för högt vridmoment kan detta leda till att de små variationerna i momentet inte upptäcks i signalerna då motorn inte påverkas av de små variationer i vridmomentet som uppstår under rotationen av hjulet. Framtagningen av intervallet utfördes genom att beräkna kraften som krävs för att rotera hjulet på produkterna och därefter beräknades det vridmoment som krävs genom att multiplicera denna kraft med hävarmen. Denna mätning genomfördes på ett fåtal slumpmässigt valda hjul från de produkter som finns i Thorlabs Swedens lager.

Efter detta konstruerades kraftöverföringen mellan motorn och hjulet på den opto-mekaniska produkten. Kraftöverföringen togs fram så att glappet kopplat till kraftöverföringen minimeras. Glappet kopplat till kraftöverföringen är hur mycket motorn kan rotera innan hjulet på den opto-mekaniska produkten börjar rotera. Kraftöverföringen anpassades även så att enheten som skall mätas går att sätta i mätverktyget på ett enkelt sätt.

Då metoden för signalgenereringen och kraftöverföringen var beslutad behövde även beslut tas gällande vilket datorprogram, som skall användas för signalbehandlingen och analysen av signalen, vilken styrenhet och vilken motor som skall användas. Dessa samt de övriga komponenterna för den valda metoden införskaffades vid detta läge. Parallellt med detta påbörjades även konstruktion av en fästianordning. Anordningen innefattar fastsättning av produkten, motorn och styrenheten samt möjliggör att motorn och produkten kan kopplas samman. Fastsättningen av produkten konstruerades så att produkten sitter ordentligt fastspänt men även så att den som tidigare nämnts går snabbt att sätta i. Fästianordningen är till stor del konstruerad med hjälp av delar tillverkade av en 3D-skrivare samt Thorlabs existerande produkter för montering av optiska enheter. Detta kortade ned produktionstiden samt ledde till lägre kostnad än att beställa från leverantörer utanför företaget.

Då konstruktionen av mätverktyget var påbörjad, startades även programmering av styrenheten. Styrenheten används för att styra mätverktyget samt spara den genererade signalen innehållande momentvariationerna i hjulet. Det slutliga som skedde var att de genererade signalerna analyserades och utifrån det var tanken att mätverktyget skulle avgöra huruvida hjulet är godkänt eller ej. Två signaler genererades, en för analys av vridning medurs och glapp i denna riktning och den andra signalen genererades för att analysera vridning moturs samt glapp moturs.

## 3.1 Metoder för signalgenerering

Nedan presenteras tre metoder för genereringen av signalen med all nödvändig information om glappet och trögheten på hjulet på den opto-mekaniska produkten.

### 3.1.1 Hastighetsförändring

Den första metoden för signalgenereringen använder en motor som matas med konstant ström och spänning. Denna metod utnyttjar sedan att momentet genererat av motorn går att beräkna enligt

$$M = \eta \cdot \frac{P}{\omega}, \quad (3.1)$$

där  $\eta$  är en motorns verkningsgrad,  $P$  är motorns effekt och  $\omega$  är vinkelhastigheten för motorns axel [8]. Effekten kan sedan skrivas om som en produkt

$$P = U \cdot I, \quad (3.2)$$

där  $U$  är spänningen och  $I$  är strömmen till motorn [9]. Genom att kombinera (3.1) och (3.2) fås

$$M = \eta \cdot \frac{U \cdot I}{\omega}, \quad (3.3)$$

vilket beskriver sambandet mellan momentet och rotationshastigheten på motorn. Då strömmen och spänningen är konstanta medför detta att momentet är omvänt proportionellt mot varvtalet. En signal för hur momentet varierar kan därför tas ut genom att analysera förändringen i rotationshastigheten på motorn.

Genom att koppla samman motorns axel med hjulet på den opto-mekaniska produkten som skall testas i mätverktyget kan momentet som krävs för att vrida på fokushjulet sedan analyseras. Hur motorn och den opto-mekaniska produkten kopplas samman beskrivs mer i avsnitt 3.4. För att säkerställa att motorn påverkas av de momentvariationer som finns i hjulen på de opto-mekaniska produkterna behöver en motor med ett maximalt moment så nära det framtagna momentintervallet för ett godkänt hjul som möjligt. Hur momentintervallet tagits fram går att läsa mer om i avsnitt 3.2. För att kunna ta fram en motor som går att använda till denna metod användes Faulhaber Drive calculator. Faulhaber är ett företag som producerar drivsystem med hög precision och deras Drive calculator kan användas för att ta fram en drivlösning utifrån givna parametrar [10]. I detta fall lades parametrarna

för momentet samt rotationshastigheten in och utifrån detta togs det fram en motorlösning. För att hastigheten skall gå att mäta noggrant tillhandahåller Faulhaber även en rotationsgivare, vilket går att läsa mer om i avsnitt 2.1. Detta möjliggör att motorns rotationshastighet går att ta ut med hög precision.

### 3.1.2 Simplex Motion

Den andra metoden för genereringen av signalen innehållande momentvariationerna och glappet under vridningen av hjulet använder en integrerad servomotor från Simplex motion.

Simplex motion tillhandahåller små integrerade servomotorer. Dessa är uppbyggda av en borstlös DC-motor med integrerad driv- och kontrollektronik och positionsåterkoppling för axeln [11]. Den integrerade elektroniken möjliggör kontroll av hastighet och position genom ett återkopplat kontrollsystem, vilket även inkluderar elektronik för att skydda motorn mot överbelastning, för hög temperatur samt för hög spänning och ström.

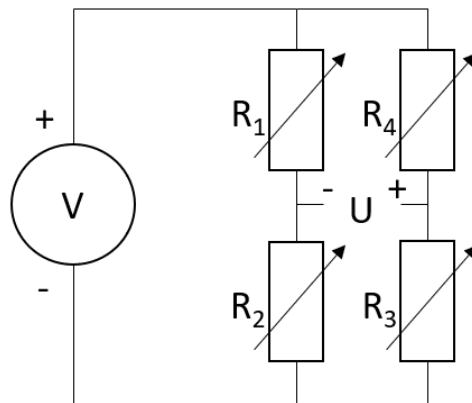
De integrerade servomotorerna finns i tre produktserier med olika maximalt moment. Deras minsta serie, SE är den som kommer att jämföras i detta examensarbete då deras moment är närmast det som krävs för rotationen av hjulet. SE serien innehåller tre olika motorer SE010, SE020 och SE040.

Styrenheten på motorn har även digitala in och utgångar för att förenkla användningen [11]. Till motorn finns även en programvara vilken kan ta ut moment, position och hastighet för motorn. Detta möjliggör att momentet för rotationen av hjulet kan tas ut genom att koppla motorn till hjulet.

### 3.1.3 Töjning av motoraxel

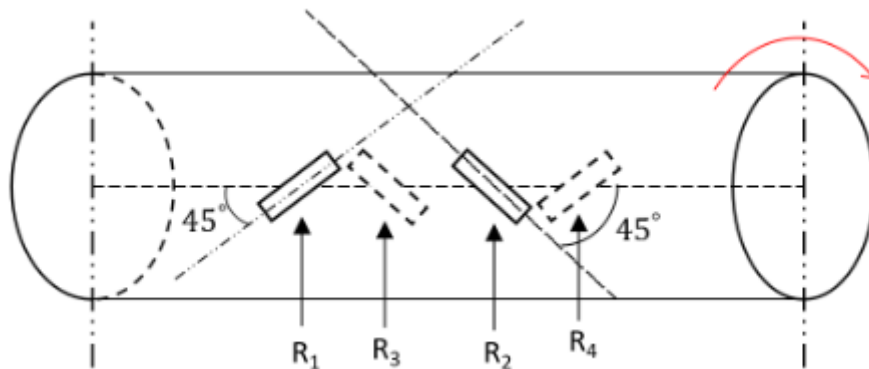
Den sista metoden för att ta fram en signal proportionerlig mot momentet utnyttjar töjningsgivare vilka går att läsa mer om i avsnitt 2.3. Dessa monteras sedan på axeln till en motor och kopplas via en Wheatstonebrygga vilket går att läsa mer om i avsnitt 2.2. Då givarna monteras på en roterande axel och dess signaler behövs överföras till en styrenhet som ej monteras på axeln behöver släpringar vilka går att läsa mer om i avsnitt 2.4 användas.

Fyra töjningsgivare kommer att användas och monteras enligt Figur 3.1.



**Figur 3.1:** Wheatstonebrygga med töjningsgivare.

Töjningsgivarna monteras på motorns axel vinklade  $45^\circ$  från dess centrumaxel vilket går att se i Figur 3.2. Givarna är även monterade på olika sidor av axeln. Denna placering av givarna leder till att givarna töjs ut och trycks ihop då motorns utsätts för ett moment [3]. För att få en spänning  $U$  i Wheatstonebryggan som är proportionell mot momentet på motorn krävs det att givarna monteras så att givarparen  $R_1, R_2$  och  $R_3, R_4$  båda har en givare som töjs ut och en som trycks ihop. För att detta skall uppnås monteras givarna enligt Figur 3.2.



**Figur 3.2:** Töjningsgivare monterade på axel.

Spänningen  $U$  i Wheatstonebryggan kan med hjälp av Ohms lag och Kirchhoffs spänningslag beräknas enligt [12][13]

$$U = V \cdot \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}, \quad (3.4)$$

Då inget moment verkar på axeln kommer givarresistanserna att vara lika stora

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R, \quad (3.5)$$

Då motorns axel sedan utsätts för ett moment kommer denna att vridas vilket leder till en resistansförändring i den  $i$ :te givaren med  $\Delta R_i$ . Sätts detta och (3.5) in i (3.4) fås

$$U = V \cdot \frac{(R + \Delta R_1)(R + \Delta R_3) - (R + \Delta R_2)(R + \Delta R_4)}{(2R + \Delta R_1 + \Delta R_2)(2R + \Delta R_3 + \Delta R_4)}, \quad (3.6)$$

Då det för töjningsgivare gäller att  $R \gg \Delta R_i$  blir andra ordningens  $\Delta R_i$  termer försumbara [2] och (3.6) kan därför förenklas till

$$U = \frac{V}{4} \cdot \left( \frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_2}{R} + \frac{\Delta R_3}{R} - \frac{\Delta R_4}{R} \right), \quad (3.7)$$

Då givarna monteras och axeln vrids enligt Figur 3.2 kommer givarna  $R_1$  och  $R_3$  att töjas ut medans givarna  $R_2$  och  $R_4$  kommer att tryck ihop lika mycket. Beloppet av resistansförändringarna för givarna är lika stort och (3.7) kan då skrivas som

$$U = \frac{V}{4} \cdot \left( \frac{4\Delta R}{R} \right) = V \cdot \frac{\Delta R}{R}, \quad (3.8)$$

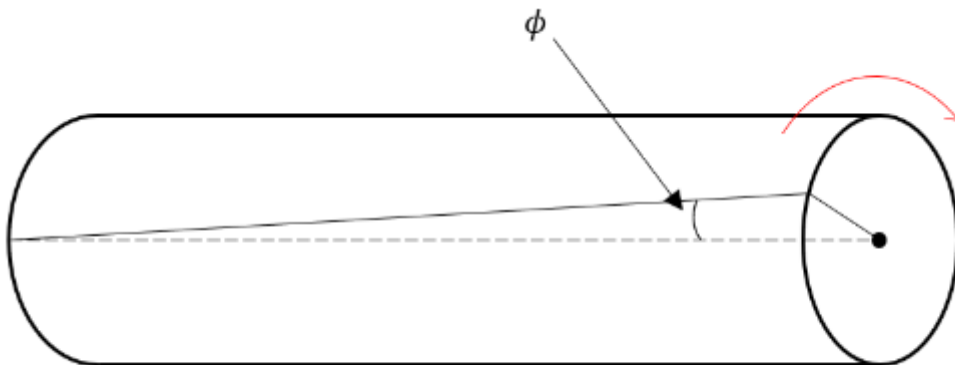
Denna ekvation går sedan att förenkla med hjälp av (2.2) och (2.3) och då fås slutligen

$$U = VK \cdot \frac{\Delta L}{L}, \quad (3.9)$$

Då motoraxeln utsätts för ett moment kommer detta som nämnts tidigare leda till att axeln vrids. Vridningsvinkeln  $\phi$  vilket går att se i Figur 3.3 går att beräkna enligt ekvationen

$$\phi = \frac{TL_a}{GJ}, \quad (3.10)$$

där  $T$  är momentet axeln utsätts för,  $L_a$  är axelns längd,  $G$  är materialet skjuvmodul och  $J = \frac{\pi}{2}r^4$ , där  $r$  är axelns radie [14].



**Figur 3.3:** Vridningsvinkel på axel som utsätts för ett moment.

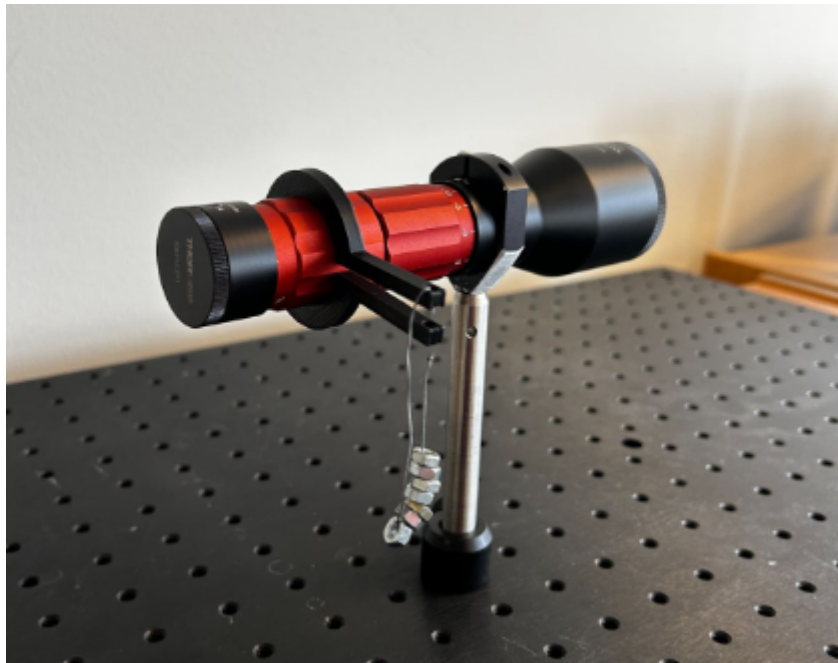
Då vridningsvinkeln är proportionell mot momentet enligt (3.10) fås att givarnas längdförändring är proportionell mot momentet på axeln. Detta ger i sin tur att

spänningen  $U$  i bryggan är proportionell mot momentet på axeln enligt (3.9). Då motorn sedan kopplas till den opto-mekaniska enheten med den valda metoden för kraftöverföring vilken går att läsa mer om i avsnitt 3.4 genereras en signal innehållande all nödvändig information för att kunna avgöra om momentvariationerna i hjulet på den opto-mekaniska enheten motsvarar en godkänd enhet eller om den bör underkännas.

## 3.2 Framtagning av momentintervall

För att välja en motor till mätverktyget krävs det att det ungefärliga momentet som krävs för vridningen av ett godkänt hjul togs fram. Detta behövdes så att motorn kunde väljs på ett sådant sätt att den påverkas av variationerna i vridmoment. Har motorn för högt vridmoment kan detta leda till att de små variationerna inte upptäcks i signalen. Framtagningen av intervallet skedde genom att beräkna kraften som krävs för att rotera hjulet på produkterna och därefter beräknades vridmomenten som krävs genom att multiplicera kraften med hävarmen. Denna mätning utfördes på ett fåtal slumpmässigt valda hjul från de produkter som finns i Thorlabs Swedens lager.

Momentmätningen genomfördes genom att hänga små vikter i ett 3D-utskrivet fäste som monteras på hjulet, vilket går att se i Figur 3.4.

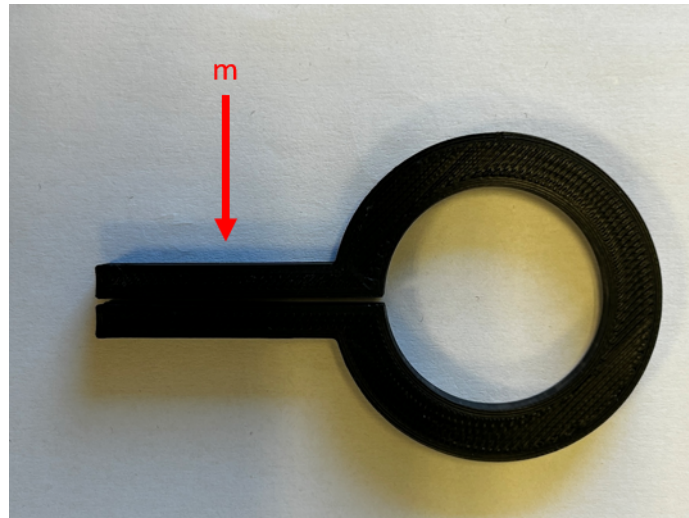


**Figur 3.4:** Momentmätning av zoom hjulet på en beam expander.

Vikterna ger upphov till en kraft och fästet som dessa hängs i medför en hävarm från hjulets centrumaxel. Det ungefärliga momentet som krävs för att vrida på hjulet kunde sedan beräknas enligt formeln

$$M = F \cdot L, \quad (3.11)$$

där  $L$  är hävarmens längd och  $F$  är den vinkelräta kraften [15]. Kraften  $F$  ges i detta fall av  $m \cdot g$ , där  $m$  är massan som ger upphov till kraften och  $g$  är gravitationskonstanten. För framtagningen av momentintervallet testades fyra hjul. Vikterna som krävdes för att hjulen skulle börja rotera var: 5.6 g för det första, 4.9 g för det andra, 8.2 g för det tredje och 4.9 g för det sista. Dock är det inte endast den påhängda massan som ger upphov till en kraft utan även vikten på det 3D-utskrivna fästet ger upphov till en kraft. Då endast det ungefärliga momentet som krävs för att rotera hjulet ska tas fram förenklas beräkningarna genom att approximera fästet som en punktmassa placerad i mitten på längden av fästet, se Figur 3.5.



**Figur 3.5:** Fästet som används vid framtagning av momentintervallet samt vart på fästet punktmassan har placerats.

För att beräkna den approximativa punktmassan vägdes hela fästet, dess volym beräknades och sedan beräknades även volymen av den utstickande pinnen. Med hjälp av dessa beräkningar samt att densiteten antas vara homogen, antas då förhållandet mellan totala massan och massan på pinnen vara samma som förhållandet mellan volymen och volymen av pinnen  $m_{pinne}/m_{tot} = V_{pinne}/V_{tot}$ .

Momentet som krävs för att vrida på hjulen kunde då beräknas med hjälp av (3.11) och går att se i Tabell 3.1 nedan.

**Tabell 3.1:** Moment för att rotera hjulen på de opto-mekaniska enheterna

Hjul	Massa från påhängd vikt (g)	Hävarm till påhängd vikt (mm)	Massa från fästet (g)	Hävarm till fästet (mm)	Moment (mNm)
Hjul 1	5.6	50	1.6	37.7	3.3
Hjul 2	4.9	50	1.6	37.7	3.0
Hjul 3	8.2	50	1.6	37.7	4.6
Hjul 4	4.9	50	1.6	37.7	3.0

Utifrån från Tabell 3.1 går det att utläsa att momentet som krävs ligger mellan

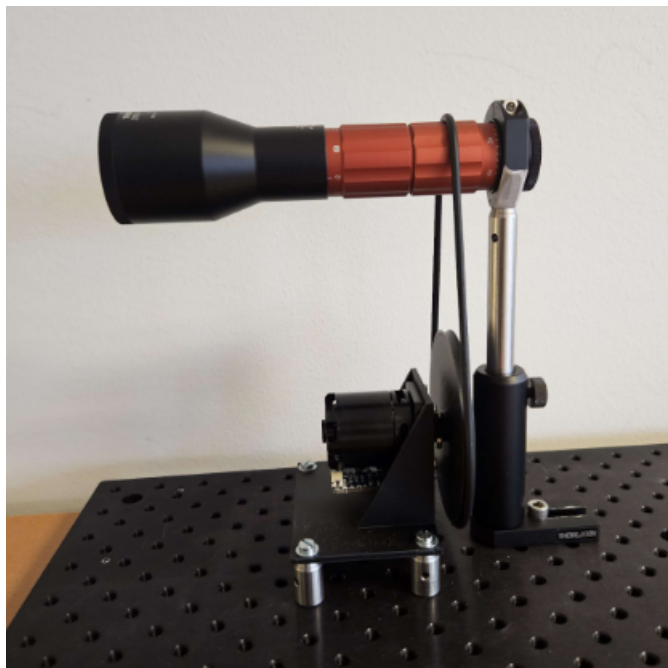
3 mNm och 4.6 mNm. Motorn behövdes således väljas så att dess maximala moment är nära 5 mNm för att påverkas av de momentvariationer som finns i ett ej godkänt hjul. Motorn behöver även ha ett lågt varvtal så att dess uppbyggda rörelseenergi inte blir så stor att det leder till att de små momentvariationerna inte kan upptäckas. Varvtalet behöver även hållas lågt för att hjulet på den opto-mekaniska enheten ska rotera med ungefär samma hastighet som då den kommer att användas av konsumenten. Detta motsvarar en rotationshastighet av hjulet på 10-20 rpm.

### 3.3 Test av Simplex Motion SC020B

Efter kontakt med OEM Motor AB, vilket är ett företag som erbjuder produkter för mekanisk rörelse och kraftöverföring, har en Simplex Motion SC020B motor lånats för att kunna testa om den är tillräckligt känslig för att kunna upptäcka skillnader i vridmomentet mellan en godkänd och underkänd produkt. SC020B är en tidigare utgåva av deras nuvarande modell SE020. De stora skillnaderna mellan dessa är att SE serien har Modbus och CAN på två separata stift medans SC serien har dessa på ett gemensamt stift [16]. Mjukvarumässigt finns inga övriga skillnader, men i termer av hårdvaruspecifikationer har SC020B ett lägre maximalt vridmoment på 400 mNm mot SE020 som har ett maximalt moment på 500 mNm. Motorns positionsåterkoppling ger 4069 pulser per varv och axelns position kan därmed fås inom  $1/11^\circ$  [17]. Rotationshastigheten på motorn går även att ställa in mellan 0.1 och 6000 rpm. I detta projekt är således SC020B ett bättre alternativ än SE020 då dess maximala moment ligger närmare de moment som krävs för rotationen av hjulet vilket går att läsa mer om i avsnitt 3.2 samt att Modbus och CAN inte behöver vara uppdelade.

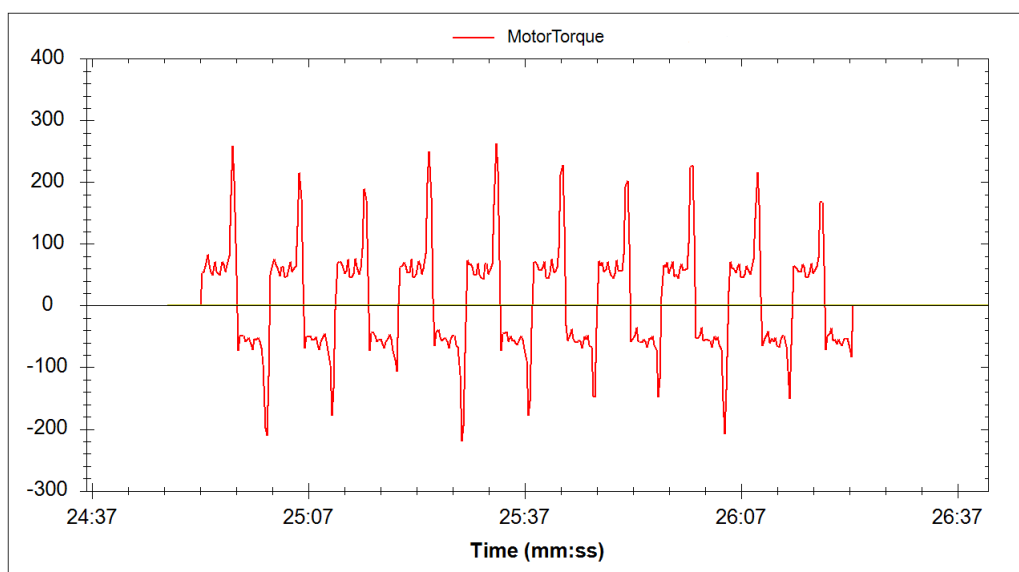
För att öka motorns möjligheter att detektera små moment ändrades utväxlingen mellan motorn och hjulet på den opto-mekaniska produkten. Detta görs genom att montera ett större hjul på motoraxeln än på hjulet. Vilket medför att varvtalet för hjulet ökar men momentet från motorn minskar [18]. Då motorn möjliggör att varvtalet ställs in kunde dock förändringen i varvtalet tas bort genom att sänka varvtalet från motorn och därmed minskas endast momentet från motorn. Detta gjorde i sin tur att motorn påverkas mer av förändringarna i momentet och den kan således detektera mindre förändringar i momentet än om ett mindre hjul monteras på motorns axel än på hjulet till den opto-mekaniska produkten.

Vid de första testerna av motorn installerades ett 90 mm hjul på motorns axel. Runt detta hjul samt zoomhjulet på en beam expander spänns sedan en rem vilken kopplar samman enheterna. Hur detta är uppbyggt går att se i Figur 3.6.



**Figur 3.6:** SC020B motor kopplad till zoom hjulet på en beam expander med en gummirem.

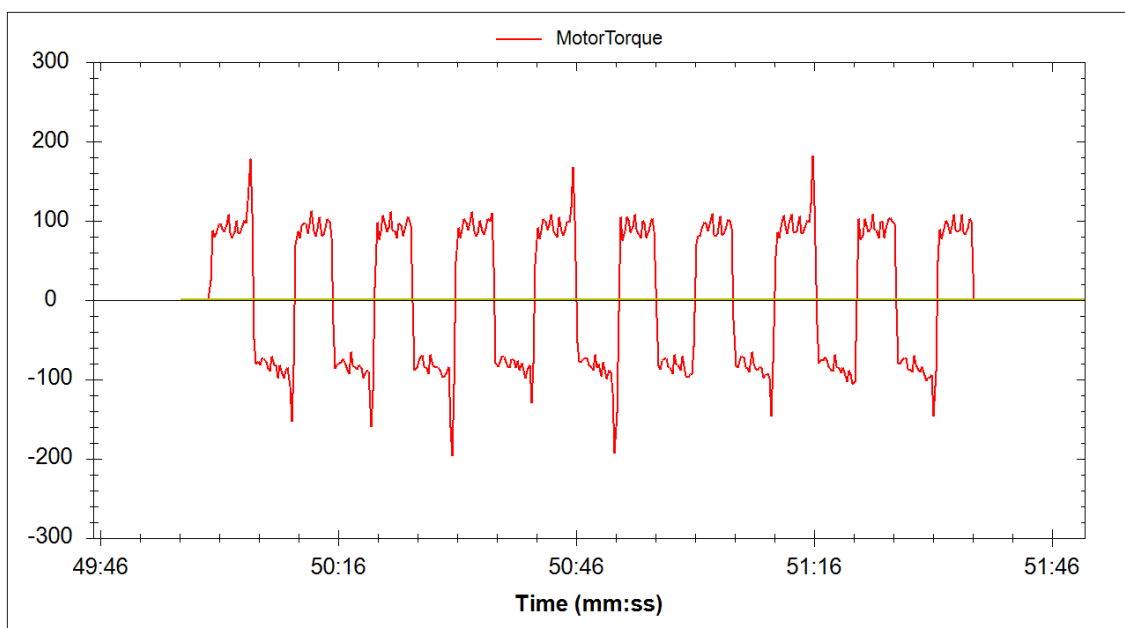
Uppkopplingen som går att se i Figur 3.6 möjliggör att vridmomentet som krävs för att rotera på zoomhjulet på en beam expander kunde tas fram genom att analysera momentet från motorn. Detta gjordes genom att programmera motorn så att den roterar mellan hjulets ändlägen. Därefter plottades grafen för momentet upp, denna går att se i Figur 3.7.



**Figur 3.7:** Momentvariationerna under rotation av hjulet på en godkänd beam expander av modell ZBE21-LOAN.

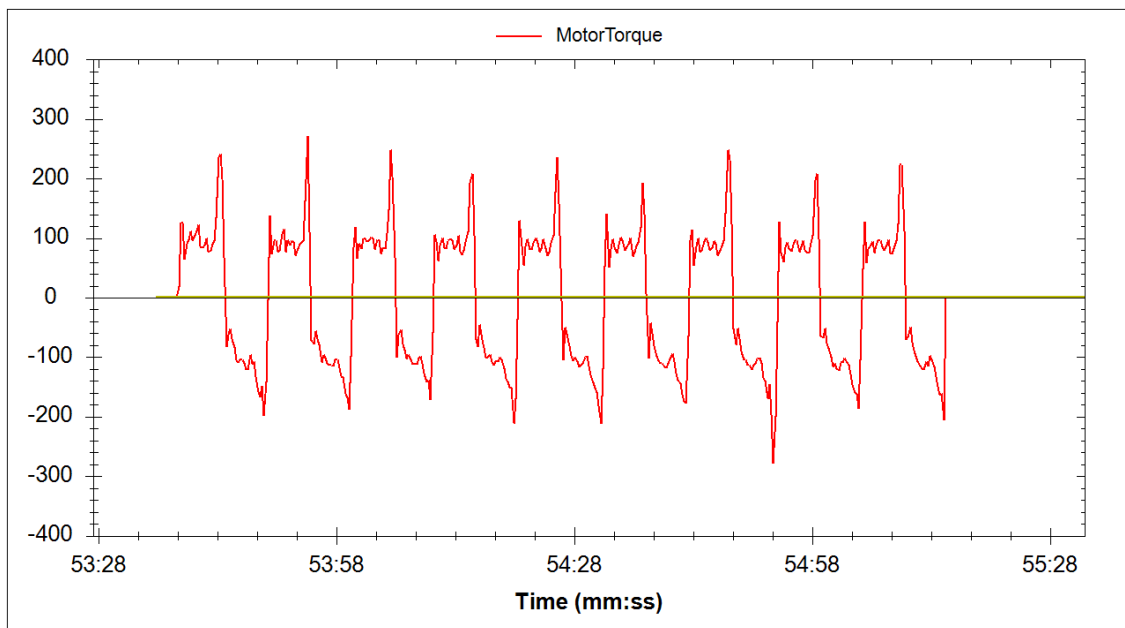
Figur 3.7 visar hur momentet varierar då zoomhjulet på en godkänd beam expander roteras mellan dess ändlägen. Då momentet är negativt roteras hjulet på beam expanderen moturs och då momentet är positivt roteras hjulet medurs. De momentspikar som ses i grafen uppstod då motorn försökte rotera på hjulet då ändläget har nåtts vilket ledde till att momentet ökade mycket snabbt och innan motorn bytt håll fås därför ett högt mätvärde.

För att avgöra ifall en Simplex Motion SC020B kan upptäcka tillräckligt små momentvariationer i hjulen för att kunna användas till detta projekt testades ytterligare en godkänd produkt samt även en produkt som producerats för att inte uppfylla de krav som Thorlabs Sweden ställer på sina produkter. Denna är av en annan modell men då den inre mekaniken är densamma i båda enheterna kan dem jämföras.



**Figur 3.8:** Momentvariationerna under rotation av hjulet på en godkänd beam expander av modell ZBE32.

Figur 3.8 visar på samma sätt som Figur 3.7 hur momentet varierar då zoomhjulet på en godkänd beam expander roteras mellan dess ändlägen. De momentspikar som ses i grafen är även i detta fall till följd av att hjulets ändläge har nåtts och motorn ännu inte bytt riktning.



**Figur 3.9:** Momentvariationerna under rotation av hjulet på en underkänd beam expander av modell ZBE1C.

Figur 3.9 visar hur momentet varierade då zoomhjulet på en underkänd beam expander roterades mellan dess ändlägen. Även denna modell har samma inre mekanik som ZBE21-LOAN och ZBE32 och kan därför jämföras i detta fall. Utöver de momentspikar som uppstod i grafen till följd av att hjulets ändläge har nåtts och motorn ännu inte bytt riktning, finns även en momentspik i början på varje rotation. Denna strömspik tros vara till följd av att hjulet på den underkända produkten var trög att börja vrida och kan vara ett potentiellt kriterium för om enheten skall godkännas alternativt underkännas.

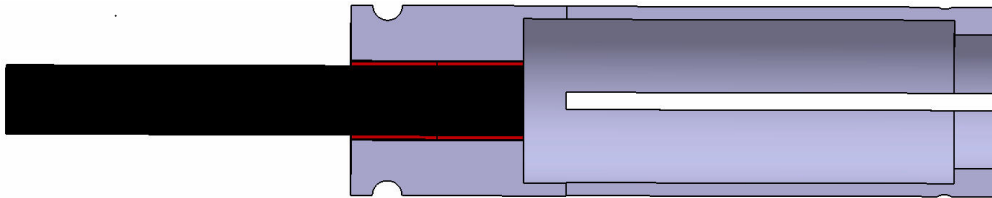
Jämförs graferna i Figur 3.7 och Figur 3.9 går det att se att momentet för att rotera det underkända hjulet medurs var ungefär 70% högre än momentet för att rotera det godkända hjulet av modell ZBE21-LOAN medurs. Då det underkända hjulet roterades moturs går det även att se att vridmomentet ökar i magnitud med en faktor 2 från ena ändläget till det andra. Då graferna i Figur 3.7 och Figur 3.8 jämförs går det att se att momentet för att vrida hjulen på produkterna skiljer sig åt med ungefär en faktor 2. Grundformen på de båda graferna är dock lik och skiljer sig ifrån formen på grafen från den underkända produkten. Genom att jämföra graferna i Figur 3.7, Figur 3.8 och Figur 3.9 går det alltså att urskilja det ej godkända hjulet, vilket indikerade på att Simplex Motion SC020B bör kunna användas till detta projekt.

### 3.4 Kraftöverföring mellan motor och hjul

För att generera en signal som innehåller all nödvändig information för att kunna avgöra om hjulet på den opto-mekaniska produkten uppfyller de krav Thorlabs Sweden ställt på sina produkter krävdes det att motorn som genererar signalen och

hjulet kopplas samman.

Då Simplex motion SC020B motorn testades, vilket går att läsa mer om i avsnitt 3.1.2, användes en gummirem vilken spändes upp mellan motorn och beamexpandern. Då tester genomfördes på zoomhjulet på beamexpandern kunde signalen genereras utan problem. När det sedan utfördes tester på fokushjulet upptäcktes ett problem som behövdes tas i beaktning. Då fokushjulet utsätts för en radiell belastning från drivremmen påverkades den inre mekanismen på ett sådant sätt att momentet för att rotera hjulet ökade kraftigt. Momentet ökade så att motorn inte längre kunde rotera på hjulet då momentet överskred motorns maximala moment. För att undvika problemet med den radiella belastningen togs en lösning fram där belastningen förflyttats från produkten till en axel med glidlager, eftersom dessa klarar högre radiell belastning.



**Figur 3.10:** Genomsnittsskärning av lösning för kraftöverföring som minimerar radiell belastning på hjulen. Hur denna sedan monteras i mätverktyget går att se i Figur 3.11.

Figur 3.10 illustrerar genomsnittsskärningen av den framtagna metoden för kraftöverföringen mellan motorn och hjulet på den opto-mekaniska produkten. Den består av en metallaxel vilket är den svarta delen som går att se i Figur 3.10, två glidlager vilka är de röda delarna i Figur 3.10 samt en hylsa vilket är den gråa delen i Figur 3.10. Glidlagerna möjliggör att hylsan kunde roteras med låg friktion kring metallaxeln. Axeln fixeras i mätverktyget för att möjliggöra att kraften förflyttas från hjulet till denna. Därefter sattes hylsan fast runt hjulet på den opto-mekaniska produkten som ska testas. Detta möjliggjorde att hjulet på den opto-mekaniska produkten kunde roteras utan att utsättas för radiell belastning genom att en rem spändes upp mellan hylsan och motorn. Remmen placerades på ett sådant sätt att den belastade över glidlagerna och den radiella belastningen på hjulet blev därför liten. För att fästa hylsan runt hjulet på produkten användes en gummiring vilken förts fram på hylsan och därmed minskar dess radie. Hur detta är uppbyggt samt hur en enhet fästs i mätverktyget går att se i Figur 3.11.



Figur 3.11: ZBE32 monterad i det uppbyggda mätverktyget

### 3.5 Val av metod för signalgenerering

För att fatta beslut om vilken metod för signalgenereringen som skulle användas till mätverktyget användes en kesselringmatrix vilket går att läsa mer om i avsnitt 2.5. De önskemål som togs fram och koncepten som går att läsa mer om i avsnitt 3.1, utvärderades emot är, antalet delar, hastigheten för mätningen, noggrannheten som kan uppnås samt realiseringsmöjligheten. Där det med realiseringsmöjligheten innefattar hur lätt metoden är att realisera och därigenom hur lätt metoden är att konstruera samt programmera.

Tabell 3.2: Kesselringmatrix för signalgenerering.

Kriterium		Lösningalternativ							
		Ideal		Hastighets var.		Simplex Mot.		Töjningsgivare	
	w	v	t	v	t	v	t	v	t
Antal delar	2	5	10	3	6	5	10	2	4
Hastighet för mätning	6	5	30	4	24	4	24	4	24
Noggrannhet	9	5	45	4	36	4	36	2	18
Realiseringsmöjlighet	8	5	40	4	32	4	32	0	0
$T = \sum t_j$		125		98		102		46	
$T/T_{\max}$		1		0,78		0,82		0,37	
Rangordning		-		2		1		3	

Som det går att se i Tabell 3.2 var det den metod som använder en Simplex Motion motor, vilken går att läsa mer om i avsnitt 3.1.2, den som fick högst poäng. Den första metoden som utnyttjar hastighetsförändringarna som uppkommer då en

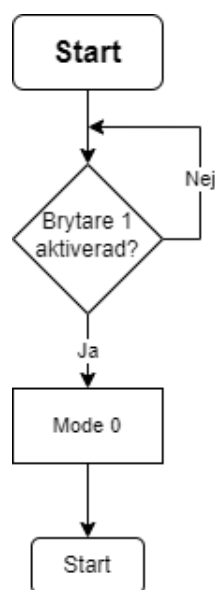
motor utsätts för ett moment och som går att läsa mer om i avsnitt 3.1.1 fick endast några poäng mindre till följd av att den kräver fler komponenter men då detta önskemål har låg betydelse i relation till de andra önskemålen kan båda dessa lösningsalternativ anses likvärdiga. Det tredje och sista lösningsförslaget som går att läsa mer om i avsnitt 3.1.3 erhöll endast hälften så många poäng som de andra två lösningsförslagen. Detta främst då metoden är svår att realisera då axeln på motorn kommer att vara liten på grund av de låga vridmoment som krävs för att rotera hjulen. Det blir därför svårt att hitta tillräckligt små givare samt en tillräckligt liten släpning för att detta skall gå att montera på axeln. Utöver detta medför det ökade antalet delar till fler felkällor vilket leder till att noggrannheten inte kan anses lika hög. Utifrån detta anses inte denna metod lämplig att använda till detta projekt.

För att kunna gå vidare i projektet och bygga vidare på en metod valdes metoden för signalgenerering som utnyttjar en Simplex Motion motor. Detta till följd av att den erhöll högst poäng från kesselringmatrisen samt även att det tidigare gjorda tester på denna metod vilka går att läsa mer om i avsnitt 3.3 visar på att motorn har möjlighet att upptäcka skillnader i vridmomentet mellan en godkänd och underkänd produkt.

## 3.6 Programmering

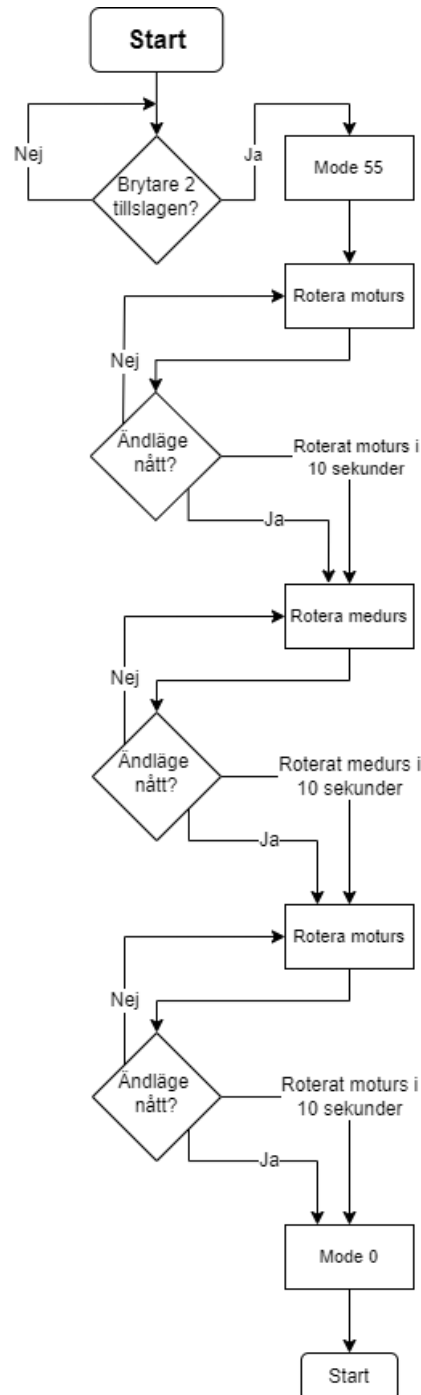
Programmeringen av en Simplex Motion SC020B motor görs i register med hjälp av SimplexMotionTool vilket är ett av Simplex Motion utvecklat datorprogram för programmering och övervakning av deras motorer [19].

För att illustrera hur programmet, vilket går att se i bilaga A, är uppbyggt skapades två flödesscheman. Ett för hur rotationen sker vilket går att se i Figur 3.13 och ett för att kontrollera stoppvillkoret vilket går att se i Figur 3.12.



**Figur 3.12:** Flödesschema över stoppfunktionaliteten för motorn.

En sammanställning av flödesschemat för stopp av motorn (se Figur 3.12) beskrivs här: Under hela processen kontrollerades det ifall brytare 1 slogs till. Brytare 1 användes som en stoppbrytare till motorn och då denna är tillslagen stängs motorn av genom att värdet på register 400 sätts till 0. Motorn kommer sedan inte att kunna starta igång programmet som beskrivs nedan förrän brytare 1 slås av.



**Figur 3.13:** Flödesschema över rotationen av motorn.

En sammanställning av flödesschemat för rotationen av motorn (se Figur 3.13) beskrivs här: Först väntar programmet på tillslag av brytare 2 på demopanelen (se

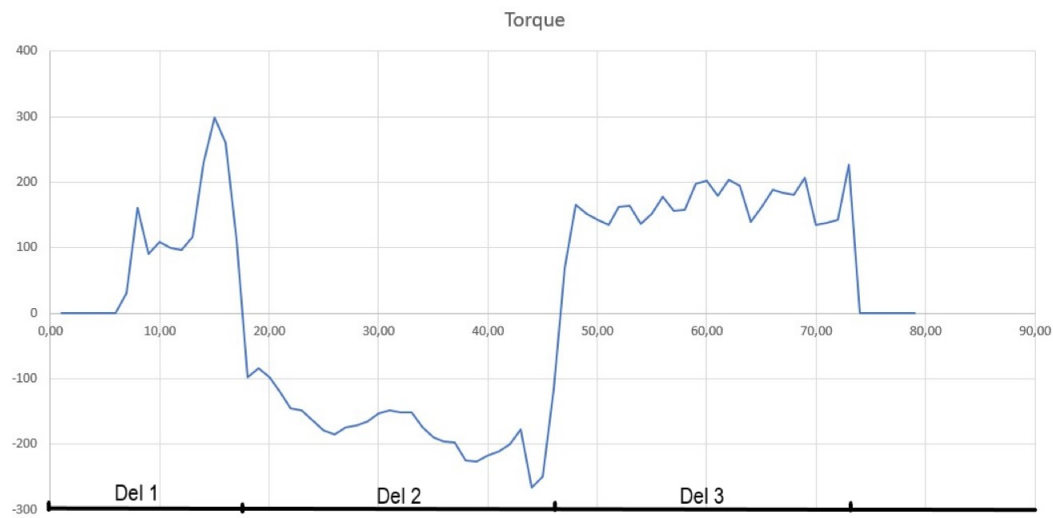
avsnitt 2.6) vilket startar programmet genom att motorn sätts i Mode 55 vilket är SeqSpeedRamp [20]. I detta läge kör motorn i en angiven hastighet under en angiven tid för att sedan fortsätta med en annan hastighet samt tid. De produkter Thorlabs Sweden producerar har olika zoom- och fokusdistanser och hjulen behöver således roteras olika långt mellan ändlägena. Det gör att motorn inte endast kunde programmeras med avseende på tid utan motorn programmerades så att den roterat moturs tills det att ändläget är nått, alternativt att motorn roterat i 10 sekunder. Motorn kontrollerar om ändläget har nåtts genom att analysera beloppet av momentet. Överskrider detta belopp 300 kommer motorn att ändra rotationsriktning genom att öka register 501 som är SeqIndex. Detta leder till att motorn hoppar till nästa steg och den kommer då att återigen rotera men denna gång medurs tills de att ändläget nåtts eller att 10 sekunder har passerat. Slutligen roterade motorn moturs tills det att ändläget nåtts alternativt att 10 sekunder fortlöpt och därefter sattes värdet på register 400 till 0 vilket stänger av motorn och startar om programmet.

För att underlätta användandet av mätverktyget har det programmerats till att kunna starta analysen oberoende av vilken position hjulet har vid infästningen. Detta medförde att mätverktyget behövde rotera hjulet totalt tre gånger för att säkerställa att hela rotationen analyseras.

## 3.7 Signalanalys

I SimplexMotionTool finns möjligheten att logga mätningarna till en .csv-fil. För att hantera loggningarna som skapas och även genomföra analysen av signalen valdes Excel till de program som skall användas då detta är ett program som företaget sedan tidigare använder samt att Excel möjliggör att på ett smidigt sätt spara undan mätvärdena. Excel kan därför användas för att analysera signalen och ta fram karakteristiken för ett godkänt hjul. För att karakteristiken skulle kunna tas fram krävdes att en mängd godkända och underkända enheter testades i maskinen för att deras genererade signaler sedan skulle analyseras och karakteristiken för hjulen tas fram.

Signalen som genereras då en enhet testas i mätverktyget går att dela upp i tre delar vilka går att se i Figur 3.14. Den första delen är då hjulet roteras medurs till ena ändläget. Denna del är där för att underlätta användandet av mätverktyget då hjulets rotation då enheten monteras i verktyget inte behöver vara i en speciell position, denna del kommer tas bort under analysen. Den andra delen är då motorn roterat moturs från ena ändläget till det andra. Den tredje och sista delen är då motorn roterat medurs tillbaka till första ändläget. På detta vis kan enheten monteras i mätverktyget utan hänsyn till hjulets nuvarande rotationsposition och signalen kan analyseras mellan båda hjulets ändlägen.



**Figur 3.14:** Genererad signal, momentet som en funktion av tiden, från en godkänd BE02-UVB.

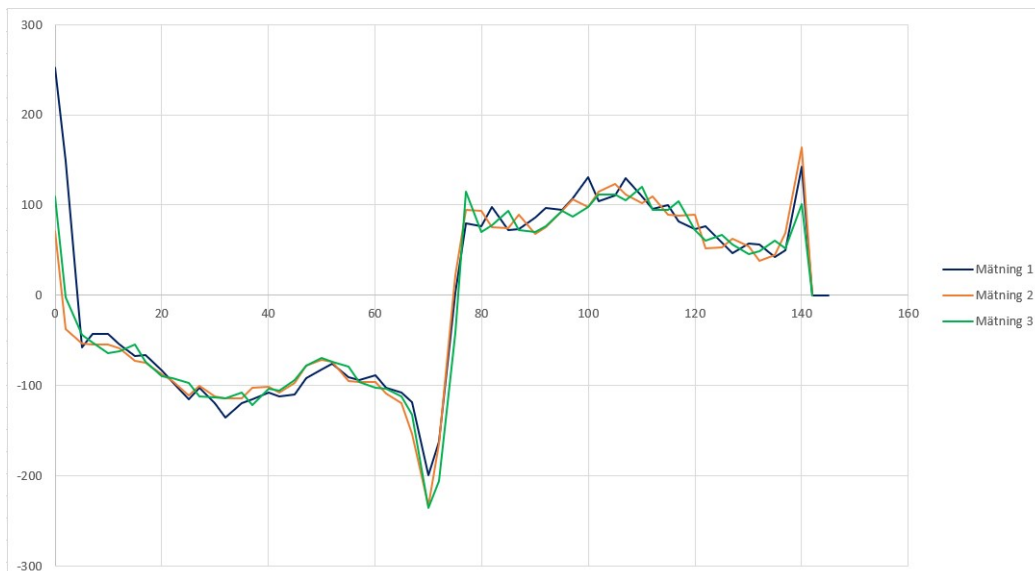
Då analysen genomfördes användes dels graferna som genererades men utöver detta togs även ett antal mätvärden ut som komplement till analysen. Signalen delas upp så att del 2 och del 3, som går att se i Figur 3.14, analyserades var för sig. Från dessa signaler togs ett antal mätvärden ut med hjälp av Excel, dessa innefattade: Medelvärde över signalen, det maximala värdet som uppnås, det lägsta värdet som uppnås, differensen mellan medelvärdet och det maximalavärdet, differensen mellan medelvärdet och det lägsta värdet, differensen mellan det maximala värdet och det lägsta värdet samt slutligen den maximala differensen som uppnås mellan två intilliggande mätpunkter. Mätvärdena beräknades genom att första mätpunkten togs bort då den under vissa omständigheter har ett betydligt högre värde än övriga signalen (se del 1 i Figur 3.14) och därför hade lett till ett missvisande resultat. Det höga värdet tros uppkomma från att remmen ibland spänns upp något då ändläget nåtts och då riktningen sedan ändras får motorn extra kraft och en spik i momentet uppkommer. Momentspiken i slutet av varje del indikerar att hjulet har nått sitt ändläge och dessa kommer därför tas bort i analysen. Mätvärdena beräknades därför mellan andra mätpunkten och mätpunkten då ändläget nåtts.

Den planerade metoden för att identifiera glappet i hjulen var att beräkna medelvärdet av momentet under rotation och sedan kontrollera tiden det tar från att motorn startar rotationen tills att medelvärdet uppnås första gången. Tiden det tar för att uppnå detta analyseras sedan och jämförs med godkända enheter och är denna tid tillräckligt lång indikerar det på att hjulet har glapp i den riktningen.

### 3.8 Validering av mätverktyg

För att säkerställa att mätverktyget genererade en signal som beskriver momentvariationerna i hjulet på den produkt som testades och inte något annat krävs att sig-

nalerna som genererats är repeterbara. Detta säkerställs genom att flera upprepade mätningar görs på samma enhet. Resultatet av dessa mätningar finns visualiserade i Figur 3.15.



**Figur 3.15:** Sammanställning av tre upprepade mätningar av vridmomentet som en funktion av tiden.

Från Figur 3.15 går det att dra slutsatsen att mätverktyget genererar en signal som är konsekvent över upprepade mätningar, med endast små variationer emellan, därför kan mätverktyget anses pålitligt. Detta då grafernas form samt dess amplitud endast har små skillnader.

För att kunna besvara de frågor som ställts i avsnitt 1.4 behöver dess funktionalitet valideras. Då mätverktyget testar en produkt kan två utfall ske, produkten kan antingen godkännas eller underkännas. Dock finns det två felfall som kan uppstå och dessa behöver tas i beaktning då mätverktyget skall valideras. Mätverktyget kan klassa en produkt som godkänd även då den borde underkännas på grund av för stora momentvariationer alternativt för stort glapp. Detta fall kallas falskt positiv. Det andra felfallet är då mätverktyget klassar en produkt som underkänd även om momentvariationerna och glappet är inom de givna toleranserna, vilket innebär att produkten borde godkännas. Detta fall kallas falskt negativ.

Då mätverktyget ger ett falskt positivt svar leder det till att en produkt med för stora momentvariationer eller för stort glapp levereras till konsumenten som därmed kan ha svårt att ställa in fokus eller zoom på sin opto-mekaniska produkt. Detta kan resultera i att produkten reklameras eller att konsumenten väljer en konkurrent vid nästa köp vilket leder till ökade kostnader för Thorlabs Sweden. Då mätverktyget ger ett falskt negativt svar ställs produkten undan och en erfaren montör kontrollerar sedan dessa manuellt. De som då godkänns säljs och de som underkänns av montören åtgärdas för att sedan säljas. Detta leder till mer arbete och lika många produkter kan därför inte produceras.

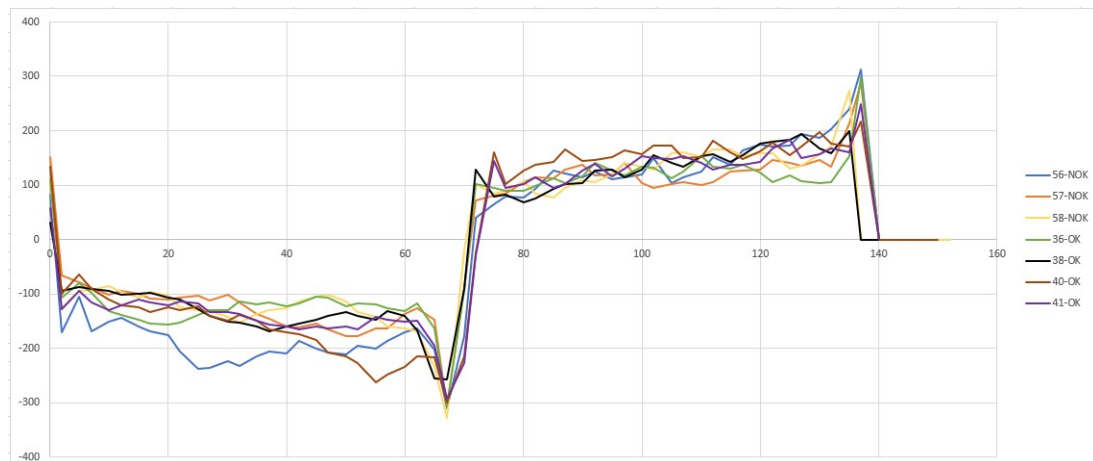
Det är även viktigt att de enheter som används för valideringen av mätverktyget inte tidigare använts för framtagning av karakteristiken för ett godkänt hjul. Detta då maskinen i detta fall kan övertränas och därigenom anpassas till att detektera de specifika avvikelser som finns i de felaktiga produkterna som använts vid framtagning av hjulens karakteristik.



# 4

## Resultat och Diskussion

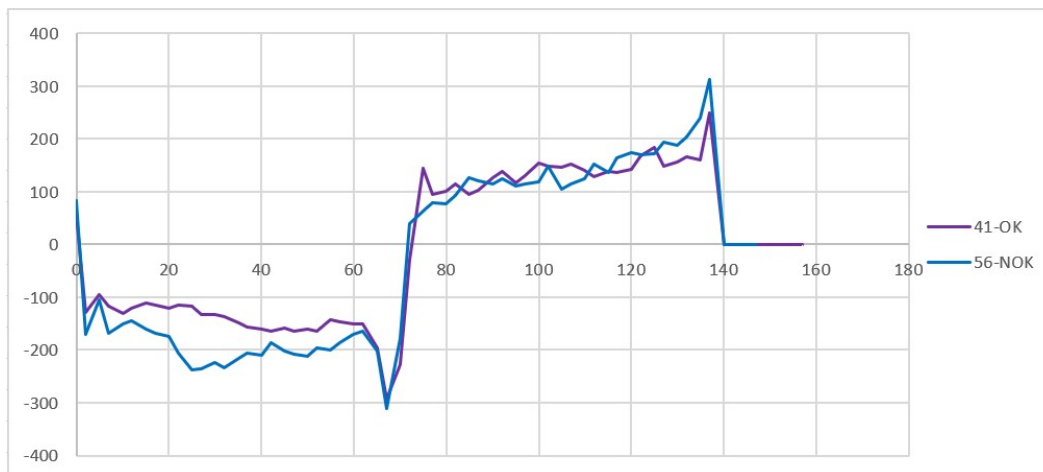
En teknisk lösning, för att ta fram och analysera moment- och glappvariationerna i Thorlabs opto-mekaniska produkters fokus- och zoomhjul, har konstruerats. Målet med analysen har varit att kvalitetsgodkänna dessa enheter utifrån den signal som genererats. De signaler som genererats från godkända enheter har stora variationer och signalerna från underkända enheter utmärker sig inte från de godkända. Detta finns visualiserat i Figur 4.1.



**Figur 4.1:** Momentet som en funktion av tiden från fyra godkända och tre underkända hjul från enheter med samma mekanik.

I Figur 4.1 går det att se hur signalerna från fyra godkända och tre underkända enheter skiljer sig. Enheterna som signalerna är genererade från är av olika modeller men har samma mekanik och är därför jämförbara med varandra i detta fall. Utifrån Figur 4.1 går det att urskilja signal 40 och 56 ifrån de andra. Dock är enhet 40 godkänd medan enhet 56 är underkänd. Då enheterna testas manuellt utmärker sig enheter 56 från de övriga genom att denna har ett högre moment vid mitten av rotationen moturs vilket även går att se i grafen. Utöver detta utmärker sig även enheterna 56, 57 och 58 då de testas manuellt genom att dessa har lite smörjmedel applicerats i mekaniken och de upplevs därför torra och ger känslan av att två metallbitar dras försiktigt mot varandra då hjulen roteras. Detta är dock inget som utmärker sig i signalen då momentet för att rotera dessa hjul är likvärdiga med att rotera på godkända hjul av samma modell. Detta tydliggörs i Figur 4.2 där enhet 56 och 41 har tagits ut då dessa är av exakt samma modell och det enda som skiljer dem åt är vilken behandling som lagts på linserna.

#### 4. Resultat och Diskussion



**Figur 4.2:** Momentet som en funktion av tiden från ett godkänt och ett underkänt hjul från en BE03.

Från Figur 4.2 går det att utläsa att då hjulen roteras moturs skiljer sig momenten från varandra men då hjulen roteras medurs är moment skillnaderna små på grund av att enhet 56 skulle godkänns vid rotation medurs om denna inte upplevts torr då för lite smörjmedel applicerats i mekaniken.

Mätvärdena till signalerna som går att se i Figur 4.1 är presenterade i Tabell 4.1.

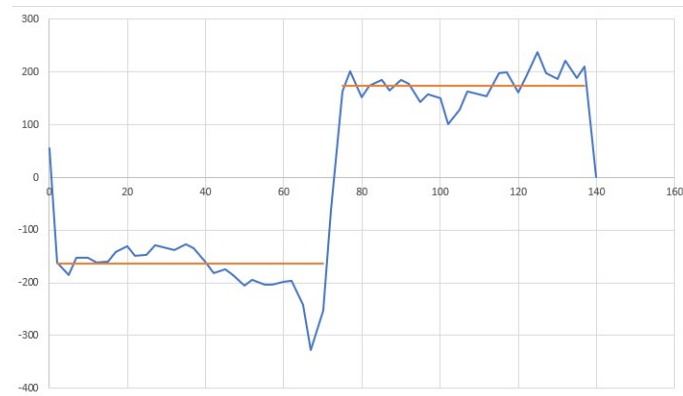
**Tabell 4.1:** Mätvärden från signalerna som går att se i Figur 4.1

MODELL	STATUS	NUMMER	RIKTNING	MEDEL	MAX	MIN	MAX - MEDEL	MEDEL - MIN	MAX - MIN	MAX FÖRÄNDRING
BE03-532	OK	41	Moturs	140,32	196	95	55,68	45,32	101	46
GBE03-B	OK	36	Moturs	126,28	163	81	36,72	45,28	82	45
GBE03-B	OK	38	Moturs	131,21	168	87	36,79	44,21	81	26
GBE03-B	OK	40	Moturs	164,72	262	64	97,28	100,72	198	35
BE03-1064	NOK	56	Moturs	190,52	238	105	47,48	85,52	133	64
GBE05-C	NOK	57	Moturs	129,40	178	78	48,6	51,4	100	26
GBE05-A	NOK	58	Moturs	127,48	235	85	107,52	42,48	150	66
BE03-532	OK	41	Medurs	137,125	184	94	46,875	43,125	90	35
GBE03-B	OK	36	Medurs	118,44	153	89	34,56	29,44	64	48
GBE03-B	OK	38	Medurs	133,13	194	68	60,88	65,13	126	26
GBE03-B	OK	40	Medurs	157,54	198	101	40,46	56,54	97	31
BE03-1064	NOK	56	Medurs	137,12	239	64	101,88	73,12	175	45
GBE05-C	NOK	57	Medurs	117,96	146	81	28,04	36,96	65	36
GBE05-A	NOK	58	Medurs	130,92	170	77	39,08	53,92	93	29

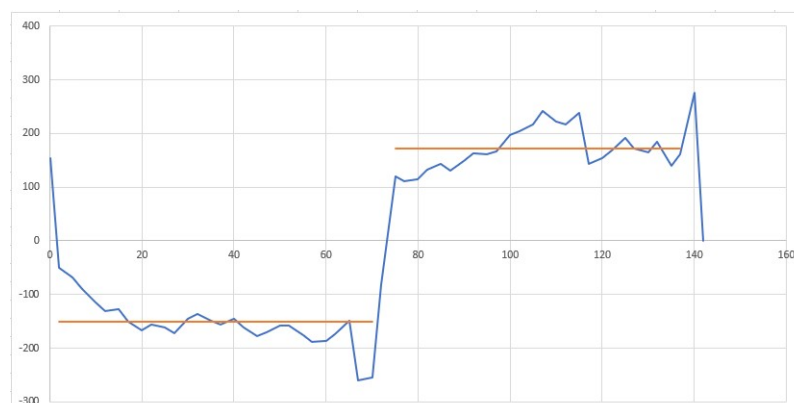
I Tabell 4.1 går det att utläsa att medelvärdet för enhet 56 vid negativ riktning utmärker sig från resterande. Utöver detta är övriga mätvärden lika och det går därför inte att dra någon slutsats gällande om enheterna är godkända/underkända från ovanstående data. Detta medför att mätvärdena i detta fall inte bidrar som ett användbart hjälpmedel när det gäller att urskilja underkända från godkända och analysen behöver därför utverkas för att mätverktyget skall kunna användas vid kvalitetsgodkännande av Thorlabs opto-mekaniska enheter.

Under arbetets gång då data från flera enheter samlats in genomfördes tester för att se om glappet kan identifieras enligt den metod som beskrivs i avsnitt 3.7.

Dessa tester visar dock att metoden inte är tillförlitlig då denna förutsätter att vridmomentet under rotationen är någorlunda konstant så som i Figur 4.3. Dock visar tester att en godkänd enhet kan ha ett moment som ökat betydligt vid slutet på rotationen i förhållande till dess startmoment, se Figur 4.4, och glappet tolkas därför vara mycket stort även då enheten inte har något glapp. Utifrån detta går det att dra slutsatsen att mätverktyget inte har möjlighet att detektera glappet i enheterna.



**Figur 4.3:** Momentet som en funktion av tiden och dess medelvärde från en godkänd enhet utan glapp.



**Figur 4.4:** Momentet som en funktion av tiden och dess medelvärde från en godkänd enhet utan glapp.

Idag avgör erfarna montörer om hjulen är godkända alternativt underkända, detta leder till att bedömningen kan bli subjektiv till skillnad från om en maskin hade godkänt alternativt underkänt produkterna. Detta tros vara bidragande faktorer till att de underkända enheterna är svåra att urskilja från de godkända samt att spridningen inom de godkända enheterna är stor. En annan möjlig orsak till att momentvariationerna för godkända och underkända enheter är lika skulle kunna vara att mätverktyget medför brus i signalerna till följd av att momentet varierar i mätverktyget och inte endast i den enhet som testas och att de variationer som utmärker sig i en underkänd enhet därför försvinner bland bruset.

Även om karakteristiken inte kunnat tas fram har ett antal aspekter som behöver tas i beaktning vid fortsatt utveckling av mätverktyget identifierats. Då tester utfördes på Simplex Motion motorn vilket går att läsa mer om i avsnitt 3.3 uppmärksammades att radiellt tryck på hjulen leder till att den inre mekanismen påverkas på ett sådant sätt att momentet för att rotera hjulet ökar avsevärt. Det är därför av stor betydelse att minimera det radiella trycket på hjulen då mätningarna utförs.

Under signalinsamlingen gjordes även upptäckten att hastigheten på rotationen har stor betydelse, detta då hjulen i vissa fall beter sig olika beroende på hur snabbt rotationen sker. Detta upptäcktes då en enhet som byggts för att överdriva felaktigheterna som kan uppstå i enheterna testades i mätverktyget. Signalen som genererades av mätverktyget stack inte ut från tidigare mätningar på produkter med samma mekanik men då enheten testades manuellt upplevdes rotationen mycket hackig. Det som visade sig vara problemet i denna situation var att då enheten testades manuellt roterades hjulet snabbare än då det testades i mätverktyget. Då produkten testades manuellt med ungefär samma rotationshastighet som mätverktyget upplevdes inte samma hackighet under rotationen.

En hypotes som togs upp i avsnitt 1.4 var att kraftöverföringen kan bidra med glapp som sedan behöver tas bort vid analysen av signalen. Under projektets gång har denna hypotes påverkat valet av metod för kraftöverföringen och denna har designats för att eliminera glappet kopplat till mätverktyget genom att använda en styv väl uppspänd rem vilken bidrar med mycket lågt glapp.

En annan hypotes som tagits fram för att särskilja de underkända från de godkända enheterna är genom upprepade mätningar på en och samma enhet och därefter ta ut ett medelvärde i varje punkt. Därefter kan samma enhet testas åter igenom och jämföras mot de tidigare beräknade medelvärdet. Hypotesen är då att en underkänd enhet kommer att ha större variationer mellan mätningarna än en godkänd enhet och på så vis kan dessa särskiljas.

Utifrån de resultat som erhållits under detta projekt rekommenderas att vid utveckling och fortsatt arbete på mätverktyget skriva ett eget program för styrning av motorn. Görs detta kan mätvärdena som signalen är uppbyggd av tas ut med ett kortare intervall och högre precision kan därför nås vilket bör öka möjligheten att känna av variationer i momentet samt även öka möjligheten att detektera glapp. Motorn använder RS485 protokollet för kommunikation och ett program kan således skapas för att ta ut signalen och styra mätverktyget. Detta möjliggör även att den demopanel som idag används kan tas bort och motorn kan istället styras fullt ut via en dator. Mätverktyget bör även programmeras så att enheterna testas i fler än en hastighet för att på så sätt minska risken att felaktigheter missas. Slutligen bör även mätvärdena utvecklas för att förfina analysen och därigenom kunna dra konkreta slutsatser. Ett exempel på utveckling kan vara att ta fram medelvärde över mindre sektioner av signalen istället för hela den positiva- och negativa-delen som görs idag.

# 5

## Slutsats

Med hjälp av det konstruerade mätverktyget kan en signal genereras innehållande momentvariationerna i Thorlabs opto-mekaniska produkter. Denna signal kan dock inte användas för att avgöra huruvida produkten som testas är godkänd eller underkänd och mätverktyget har därför inte möjlighet att detektera lika små momentvariationer som en erfaren montör. Signalen kan inte heller användas för att ta fram de eventuella glapp som finns i enheterna och mätverktyget har därför inte möjlighet att detektera lika små glapp som en erfaren montör. Då ändläget för rotationen av hjulet på den opto-mekaniska produkten som testas nås känner mätverktyget av detta och byter därefter rotationsriktning. Signalerna från de godkända enheter som testats i mätverktyget har haft stora variationer i utseendet och hypotesen gällande att karakteristiken för ett godkänt hjul kommer att variera mellan enheterna var därför korrekt. Hypotesen om att underkända enheters signaler kommer att variera till följd av att vridmomentet ändras under rotationen var till viss del korrekt. Signalen varierar till följd av att vridmomentet varierar men inte tillräckligt mycket för att kunna särskilja en underkänd enhet från en godkänd. Slutligen kan inget glapp anses uppkomma från kopplingen mellan motorn och hjulet på den opto-mekaniska produkten i detta fall då den designats för att eliminera detta.

Då ingen karakteristik kunnat tas fram men flertal aspekter som behöver tas i beaktning har uppmärksammats kan detta arbete ses som en förstudie för framtida utveckling av mätverktyget. Hade mer tid funnits för arbetet hade fler förbättringsmöjligheter samt en noggrannare analys kunnat genomföras. Utifrån de resultat som erhållits under detta projekt rekommenderas att vid utveckling och fortsatt arbete på mätverktyget först och främst skriva ett eget program för styrning av motorn därefter bör mätverktyget även programmeras så att enheterna testas i fler än en hastighet. Slutligen bör även analysverktyget utvecklas så att mätvärdena blir till större hjälp.



# Litteratur

- [1] J. Ganssle. "A Designer's Guide to Encoders." (2012), URL: <https://www.digikey.se/en/articles/a-designers-guide-to-encoders> (hämtad 2023-03-21).
- [2] K. Hoffman. "Applying the Wheatstone Bridge Circuit." (U.Å.), URL: <http://eln.teilam.gr/sites/default/files/Wheatstone%20bridge.pdf> (hämtad 2023-03-01).
- [3] A. Chahmi, "Study and realization of a torque measurement sensor based on strain gauges dedicated to bending and torsion," i *2022 2nd International Conference on Advanced Electrical Engineering (ICAEE)*, 2022, s. 1–5. DOI: 10.1109/ICAEE53772.2022.9961981.
- [4] Acromag. "INTRODUCTION TO STRAIN & STRAIN MEASUREMENT." (2001), URL: [https://www.acromag.com/wp-content/uploads/2019/10/White-Paper-Intro-StrainGauge\\_699B.pdf](https://www.acromag.com/wp-content/uploads/2019/10/White-Paper-Intro-StrainGauge_699B.pdf) (hämtad 2023-03-07).
- [5] ROTARYSYSTEMS. "Slip Ring Definition." (U.Å.), URL: <https://rotarysystems.com/support/faqs/slip-ring-definition/> (hämtad 2023-03-01).
- [6] Johannesson, Hans och Persson, Jan-Gunnar och Pettersson, Dennis, *Produktutveckling – Effektiva metoder för konstruktion och design*. Stockholm, Sverige: Liber, 2013.
- [7] Simplex Motion, *Simplex Motion SM-Comboard*, Simplex Motion AB, Göteborg, Sverige, 2023.
- [8] S. Sakama, Y. Tanaka och A. Kamimura, "Characteristics of Hydraulic and Electric Servo Motors," *Actuators*, årg. 11, nr 1, s. 11, jan. 2022, ISSN: 2076-0825. DOI: 10.3390/act11010011. URL: <http://dx.doi.org/10.3390/act11010011>.
- [9] Kjell & Company. "Spänning, ström, resistans och effekt." (2017), URL: <https://www.kjell.com/se/kunskap/hur-funkar-det/arduino/grundlaggandellara/spanning-strom-resistans-och-effekt> (hämtad 2023-03-02).
- [10] Faulhaber. "ABOUT FAULHABER." (U.Å.), URL: <https://www.faulhaber.com/en/about-us/company-profile/> (hämtad 2023-03-21).
- [11] Simplex Motion. "SE-SERIES." (U.Å.), URL: <https://simplexmotion.com/integrated-servomotors/se-series/> (hämtad 2023-02-21).
- [12] E. Tutorials. "Ohms Law and Power." (U.Å.), URL: [https://www.electronicstutorials.ws/dccircuits/dcp\\_2.html](https://www.electronicstutorials.ws/dccircuits/dcp_2.html) (hämtad 2023-04-26).
- [13] E. Tutorials. "Kirchhoff's Voltage Law." (U.Å.), URL: <https://www.electronicstutorials.ws/dccircuits/kirchhoffs-voltage-law.html> (hämtad 2023-04-26).

- [14] A. Bedford och K. M. Liechti, *Mechanics of Materials*. Springer Nature, 2020, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-22082-2> (hämtad 2023-02-09).
- [15] Nationalencyklopedin. "Moment." (U.Å.), URL: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/moment> (hämtad 2023-02-24).
- [16] Simplex Motion, *Comparison Chart between SC and SE series*, Simplex Motion AB, Göteborg, Sverige, 2023.
- [17] Simplex Motion, *Simplex Motion SC-Serie datasheet*, Simplex Motion AB, Göteborg, Sverige, 2023.
- [18] M. Mägi, K. Melkersson och M. Evertsson, *Maskinelement*, 1:1. Uppl., Lund, Sverige: Studentlitteratur, 2017.
- [19] Simplex Motion, *SimplexMotionTool software manual*, Simplex Motion AB, Göteborg, Sverige, 2023.
- [20] Simplex Motion, *Simplex Motion Technical Manual*, Simplex Motion AB, Göteborg, Sverige, 2023.

# A

## Program till Simplex Motion SC020B

I detta appendix presenteras koden som används för att driva Simplex Motion motorn.

#reg	description	type	value
1	VerParameters	uns16	274
2	VerFirmware	uns16	518
3	VerHardware	uns16	8707
10	ModelName	str	SimplexMotionSC020B
20	SerialNumber	str	SC020B-1911016883
30	UserString1	str	
40	UserString2	str	
50	Address	uns16	1
51	Identification	uns16	0
52	Communication	uns16	644
100	Supply	uns16	2372
101	TempElectronics	int16	1962
102	TempMotor	int16	1966
105	Heating	uns16	0
110	OverVoltage	uns16	0
120	SpreadSpectrum	uns16	0
121	SpeedFilter	uns16	4
140	InputPolarity	uns16	255
141	InputThreshold	uns16	6536
145	Input	uns16	68
150	OutputControl1	uns16	4
151	OutputControl2	uns16	4
152	OutputControl3	uns16	4
153	OutputControl4	uns16	4
160	Output1	uns16	0
161	Output2	uns16	0
162	Output3	uns16	1
163	Output4	uns16	0
170	Analog1	uns16	59005
171	Analog2	uns16	61775
172	Analog3	uns16	0

## A. Program till Simplex Motion SC020B

---

173	Analog4	uns16	61783
180	EncoderControl	uns16	64
184	Encoder	int32	0
200	MotorPosition	int32	-245
202	MotorSpeed	int16	0
203	MotorTorque	int16	0
204	MotorTorqueMax	int16	400
205	MotorTorqueStop	int16	500
206	MotorVd	int16	0
207	MotorVq	int16	0
208	MotorAngle	uns16	6738
210	MotorMagneticA	uns16	28328
211	MotorMagneticB	uns16	40056
212	MotorOptions	uns16	0
220	CurrIa	int16	25
221	CurrIb	int16	39
222	CurrId	int16	0
223	CurrIq	int16	-7
224	CurrIdFilter	int16	4
225	CurrIqFilter	int16	4
226	CurrIdKp	int16	328
227	CurrIdKi	int16	655
228	CurrIqKp	int16	328
229	CurrIqKi	int16	66
300	RegKp	int16	1000
301	RegKi	int16	1000
302	RegKd	int16	1000
303	RegLimit	int16	1000
304	RegDelay	int16	3
305	RegFriction	int16	0
306	RegInertia	int16	0
307	RegDeadband	uns16	0
308	RegError	int16	232
309	RegErrorMax	uns16	1600
310	RegOutput	int16	19191
350	RampSpeed	int16	22
351	RampSpeedMax	int16	350
352	RampAcc	int16	0
353	RampAccMax	int16	2000
354	RampDecMax	int16	2000
355	RampJerk	int16	0
400	Mode	uns16	0
401	ModeStartup	uns16	0
410	Status	uns16	0
411	StatusLatched	uns16	256
412	StatusInputs	uns16	1040

413	MaskQuickstop	uns16	0
414	MaskShutdown	uns16	0
415	Error	uns16	0
416	StopConfig	uns16	0
420	Time	uns32	600036
448	TargetRelative	int32	0
450	TargetInput	int32	22
452	TargetSelect	uns16	0
453	TargetMul	int16	1
454	TargetDiv	int16	1
455	TargetOffset	int16	0
456	TargetMin	int32	-2,1E+09
458	TargetMax	int32	2,15E+09
460	TargetHysteresis	int16	0
461	TargetFilter	uns16	4
462	TargetPresent	int32	22
470	RotaryStart	int32	0
472	RotaryStop	int32	4096
480	HomeSeq1	uns16	0
481	HomeSeq2	uns16	0
482	HomeSeq3	uns16	0
483	HomeSeq4	uns16	0
490	HomeOffset16	int16	0
491	HomeSpeed	uns16	100
492	HomeAcc	uns16	1000
493	HomeTorque	uns16	300
494	HomeDoneMode	uns16	21
495	HomeChange	int16	0
496	HomeOffset32	int32	0
500	SeqControl	uns16	0
501	SeqIndex	uns16	0
510	SeqTarget1	int32	22
512	SeqTarget2	int32	0
514	SeqTarget3	int32	-22
516	SeqTarget4	int32	0
518	SeqTarget5	int32	22
520	SeqTarget6	int32	0
522	SeqTarget7	int32	0
524	SeqTarget8	int32	0
526	SeqTarget9	int32	0
528	SeqTarget10	int32	0
530	SeqTarget11	int32	0
532	SeqTarget12	int32	0
534	SeqTarget13	int32	0
536	SeqTarget14	int32	0
538	SeqTarget15	int32	0

## A. Program till Simplex Motion SC020B

---

540	SeqTarget16	int32	0
570	SeqTime1	uns16	10000
571	SeqTime2	uns16	2000
572	SeqTime3	uns16	10000
573	SeqTime4	uns16	2000
574	SeqTime5	uns16	10000
575	SeqTime6	uns16	0
576	SeqTime7	uns16	0
577	SeqTime8	uns16	0
578	SeqTime9	uns16	0
579	SeqTime10	uns16	0
580	SeqTime11	uns16	0
581	SeqTime12	uns16	0
582	SeqTime13	uns16	0
583	SeqTime14	uns16	0
584	SeqTime15	uns16	0
585	SeqTime16	uns16	0
600	ApplControl	uns16	0
601	ApplStatus	int16	0
602	ApplRuntime	uns16	0
603	ApplVersion	uns16	257
620	ApplData1	int16	0
621	ApplData2	int16	0
622	ApplData3	int16	0
623	ApplData4	int16	0
624	ApplData5	int16	0
625	ApplData6	int16	0
626	ApplData7	int16	1
627	ApplData8	int16	0
640	Debug1	int16	350
641	Debug2	int16	196
642	Debug3	int16	100
643	Debug4	int16	0
644	Debug5	int16	0
645	Debug6	int16	0
646	Debug7	int16	0
647	Debug8	int16	0
680	EventControl1	uns16	61783
681	EventControl2	uns16	61783
682	EventControl3	uns16	61697
683	EventControl4	uns16	0
684	EventControl5	uns16	0
685	EventControl6	uns16	61697
686	EventControl7	uns16	61697
687	EventControl8	uns16	61697
688	EventControl9	uns16	61697

689	EventControl10	uns16	256
690	EventControl11	uns16	45060
691	EventControl12	uns16	32772
692	EventControl13	uns16	45428
693	EventControl14	uns16	61585
694	EventControl15	uns16	0
695	EventControl16	uns16	0
696	EventControl17	uns16	0
697	EventControl18	uns16	0
698	EventControl19	uns16	0
699	EventControl20	uns16	0
700	EventTrgReg1	uns16	145
701	EventTrgReg2	uns16	145
702	EventTrgReg3	uns16	620
703	EventTrgReg4	uns16	0
704	EventTrgReg5	uns16	0
705	EventTrgReg6	uns16	620
706	EventTrgReg7	uns16	400
707	EventTrgReg8	uns16	400
708	EventTrgReg9	uns16	400
709	EventTrgReg10	uns16	0
710	EventTrgReg11	uns16	203
711	EventTrgReg12	uns16	203
712	EventTrgReg13	uns16	621
713	EventTrgReg14	uns16	203
714	EventTrgReg15	uns16	0
715	EventTrgReg16	uns16	0
716	EventTrgReg17	uns16	0
717	EventTrgReg18	uns16	0
718	EventTrgReg19	uns16	0
719	EventTrgReg20	uns16	0
720	EventTrgData1	uns16	1
721	EventTrgData2	uns16	2
722	EventTrgData3	uns16	2
723	EventTrgData4	uns16	0
724	EventTrgData5	uns16	0
725	EventTrgData6	uns16	1
726	EventTrgData7	uns16	59
727	EventTrgData8	uns16	59
728	EventTrgData9	uns16	59
729	EventTrgData10	uns16	0
730	EventTrgData11	uns16	0
731	EventTrgData12	uns16	33000
732	EventTrgData13	uns16	300
733	EventTrgData14	uns16	0
734	EventTrgData15	uns16	0

## A. Program till Simplex Motion SC020B

---

735	EventTrgData16	uns16	0
736	EventTrgData17	uns16	0
737	EventTrgData18	uns16	0
738	EventTrgData19	uns16	0
739	EventTrgData20	uns16	0
740	EventSrcReg1	uns16	0
741	EventSrcReg2	uns16	0
742	EventSrcReg3	uns16	0
743	EventSrcReg4	uns16	0
744	EventSrcReg5	uns16	0
745	EventSrcReg6	uns16	0
746	EventSrcReg7	uns16	0
747	EventSrcReg8	uns16	0
748	EventSrcReg9	uns16	0
749	EventSrcReg10	uns16	0
750	EventSrcReg11	uns16	203
751	EventSrcReg12	uns16	203
752	EventSrcReg13	uns16	501
753	EventSrcReg14	uns16	0
754	EventSrcReg15	uns16	0
755	EventSrcReg16	uns16	0
756	EventSrcReg17	uns16	0
757	EventSrcReg18	uns16	0
758	EventSrcReg19	uns16	0
759	EventSrcReg20	uns16	0
760	EventSrcData1	uns16	1
761	EventSrcData2	uns16	2
762	EventSrcData3	uns16	55
763	EventSrcData4	uns16	0
764	EventSrcData5	uns16	0
765	EventSrcData6	uns16	59
766	EventSrcData7	uns16	0
767	EventSrcData8	uns16	0
768	EventSrcData9	uns16	0
769	EventSrcData10	uns16	0
770	EventSrcData11	uns16	0
771	EventSrcData12	uns16	65535
772	EventSrcData13	uns16	1
773	EventSrcData14	uns16	0
774	EventSrcData15	uns16	0
775	EventSrcData16	uns16	0
776	EventSrcData17	uns16	0
777	EventSrcData18	uns16	0
778	EventSrcData19	uns16	0
779	EventSrcData20	uns16	0
780	EventDstReg1	uns16	620

781	EventDstReg2	uns16	620
782	EventDstReg3	uns16	400
783	EventDstReg4	uns16	0
784	EventDstReg5	uns16	0
785	EventDstReg6	uns16	400
786	EventDstReg7	uns16	501
787	EventDstReg8	uns16	620
788	EventDstReg9	uns16	400
789	EventDstReg10	uns16	0
790	EventDstReg11	uns16	621
791	EventDstReg12	uns16	621
792	EventDstReg13	uns16	501
793	EventDstReg14	uns16	621
794	EventDstReg15	uns16	0
795	EventDstReg16	uns16	0
796	EventDstReg17	uns16	0
797	EventDstReg18	uns16	0
798	EventDstReg19	uns16	0
799	EventDstReg20	uns16	0
900	RecState	uns16	0
901	RecTrigger	uns16	32
902	RecPeriod	uns16	63
903	RecPreceding	uns16	0
904	RecOffset	uns16	0
905	RecRegister1	uns16	410
906	RecRegister2	uns16	202
907	RecRegister3	uns16	203
908	RecRegister4	uns16	350

**INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK**  
**CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**  
Göteborg, Sverige  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**