

Undersökning om möjlig optimering av  
signalöverföringsmetod mellan stationära och  
roterande kretskort

Felix Ericsson  
Emil Jönsson

4 juni 2020

## Sammanfattning

När en produkt kräver att det på ett smidigt vis skall skickas elektriska signaler mellan ett stationärt och ett fritt roterande kretskort i en axel så medför det komplikationer. För att det på ett konsekvent sätt skall gå att skicka signaler från ett stationärt till ett roterande kretskort så måste det medium i vilket signalerna färdas tolerera att korten roterar i förhållande till varandra. I den produkt som studerats används det sedan tidigare en släpring, där en viss signaltyp skickas parallellt över 20 guldringar, som förbindelse mellan produktens stationära och roterande kretskort. Lösningen som finns i produkten idag begränsar dess kompaktitet, dess kylningsförmåga och därmed också dess prestanda, samtidigt som de guldringar som används är dyra. I examensarbetet behandlas sätt att optimera signalöverföringen mellan det stationära och det roterande kretskortet i produkten. Det undersöks om släpringens position i kretsschemat kan förflyttas så att den på så vis bär en annan typ av signaler, vilket resulterar i att produkten tillåts designas på ett sätt som gör den mer kompakt, får bättre kylningsförmåga och därmed inte samma begränsning i prestanda. Det konstruerades en testupställning där det kunde studeras om signalerna av ny typ kunde skickas seriellt istället för parallellt över samma släpring, men då över fyra guldringar istället för 20. Det gjordes även impedans- och frekvensanalyser på den släpring som används i produkten. Resultatet från de undersökningar som gjordes visar på att det går att överföra signalerna seriellt över släpringen, genom fyra guldringar istället för 20. De serielagda elektriska signalerna som bär information studerades genom att det skapades ögonogram och jitterhistogram, varpå det visades att signalerna upprätthåller de kravspecifikationer som finns. Vidare så studerades potentiella utvecklingsmöjligheter för signalöverföringen, och anledningar till varför dessa behövs.

## Nyckelord

Släpning, länkanalys, serieläggning, höghastighetslänk, reflektioner

## Abstract

When there is a need for a product to, in an easy manner, send electrical signals from a rotating printed circuit board to one that is stationary, complications arise. To send electrical signals consistently from a rotating printed circuit board to one that is stationary, the medium of which the signals will travel through must allow it. In the product that has been studied, the complications have been solved by the usage of a slip ring. The slip ring has carried electrical signals of a certain type parallelly, over 20 golden rings, from the rotating printed circuit board to the stationary one. The solution that is implemented in the product today limits the compactness of the product as well as its cooling ability, and consequently, its performance. The 20 golden rings that are being used in the slip ring also makes the product more expensive to manufacture. The thesis work examines ways of optimizing the signal transferring from the rotating printed circuit board to the stationary one. It is being investigated if the slip ring can be placed in another location in the electrical design, making it carry another type of electrical signals. Should it be possible to relocate the slip ring, the product could be designed in a more compact way. Additionally, the product would be allowed better cooling, and therefore not have the same limitations in performance. A setup was constructed where it could be tested if the product could carry the other type of signals in a serial way, instead of a parallel way, through the same slip ring. If the signals could be sent serially then the slip ring would only need four gold rings, instead of 20. The slip ring that is used in the product also underwent an impedance analysis and a frequency analysis. The collective result from the examinations that were conducted indicates that it is possible to transfer the signals serially, over four gold rings instead of 20. The serial electrical signals were analyzed through the making of eye-diagrams and through jitter measurements, and the results indicated that they upheld the required specifications. Potential development opportunities for the signal transfer were also investigated, and the reasons of why these are needed.

## **Keywords**

Slip ring, link analysis, serialisation, high speed link, reflections

# Innehåll

<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Syfte . . . . .	2
1.3 Målformulering . . . . .	2
1.4 Problemformulering . . . . .	2
1.5 Motivering av examensarbetet . . . . .	3
1.6 Avgränsningar . . . . .	3
<b>2 Teknisk Bakgrund</b>	<b>4</b>
2.1 Ögonogram . . . . .	4
2.2 Jitter . . . . .	5
2.3 Släpring . . . . .	6
2.4 Karakteristisk impedans . . . . .	7
2.5 Termineringsmotstånd . . . . .	7
2.6 Reflektioner . . . . .	7
2.7 TDR-mätning . . . . .	8
2.8 Brus . . . . .	9
2.9 Partvinnad kabel . . . . .	9
2.10 Differentiella signaler . . . . .	10
2.11 Current Mode Logic . . . . .	11
2.12 Serialiserare och de-serialiserare . . . . .	11
<b>3 Metod</b>	<b>12</b>
3.1 Lösning med en serDes-krets . . . . .	13
3.1.1 Stationärt och roterande sensortest . . . . .	16
3.1.2 Ögonogram och jitterhistogram . . . . .	16
3.1.3 Impedans- och frekvensanalys . . . . .	18
3.2 Källkritik . . . . .	20
<b>4 Analys</b>	<b>21</b>
4.1 Lösning med serDes-krets . . . . .	21
4.2 Ögonogram och jitterhistogram . . . . .	22
4.3 Impedans- och frekvensanalys . . . . .	24
4.4 Utmaningar under examensarbetet . . . . .	24
<b>5 Resultat</b>	<b>26</b>
5.1 Sensortester . . . . .	26
5.2 Ögonogram och jitterhistogram . . . . .	27
5.2.1 Ögonogram och jitterhistogram med partvinnad kabel . . . . .	27
5.2.2 Ögonogram och jitterhistogram på ny släpring . . . . .	28
5.2.3 Ögonogram och jitterhistogram med släpringssladd . . . . .	29
5.2.4 Ögonogram och jitterhistogram på släpring som roterat tre miljoner varv . . . . .	30
5.3 TDR-mätningar . . . . .	32

5.3.1	Referensmätning för impedansanalys . . . . .	32
5.3.2	Impedansanalyser på släpring . . . . .	33
5.4	Frekvensanalys på släpringslänk . . . . .	35
<b>6</b>	<b>Slutsats</b>	<b>37</b>
6.1	Reflektion över etiska aspekter . . . . .	40
6.1.1	Konfidentiell information . . . . .	40
6.1.2	Samhällsnytta . . . . .	41
6.1.3	Hederskodex . . . . .	41
6.2	Framtida utvecklingsmöjligheter . . . . .	41
6.2.1	Test med signalgenerator . . . . .	41
6.2.2	Optisk överföring . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Terminologi</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>Källförteckning</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>Appendix</b>	<b>46</b>
9.1	Bilaga 1 - Utdrag från datablad för serialiserarkretsen MAX9271	46
9.2	Bilaga 2 - Utdrag från datablad för de-serialiserarkretsen MAX9272A	47

## Figurer

1	Visar hur ett ögonogram byggs upp med signalerna överlagrade på varandra. [1] . . . . .	4
2	Visar parametrar för ett ögonogram. [1] . . . . .	5
3	Uppbyggnad av en typ av släpring. [6] . . . . .	6
4	En släpring. . . . .	6
5	Beskriver hur en reflektion uppstår. [8] . . . . .	8
6	Figur över på hur brus tenderar att se ut i ett oscilloskop för en DC-signal (övre) och för en AC-signal (undre). Y-led visar spänning [V] och x-led visar tid [s]. [10] . . . . .	9
7	Typseende för en differentiell signal, $V_+$ skickas synkroniserat med sin invers $V_-$ . [12] . . . . .	10
8	Åtta parallella bitar serieläggs till att transporteras seriellt över en ny länk. Den nya länken får åtta gånger så hög signalfrekvens. . . . .	11
9	Blockdiagram för uppställningen då släpringen är kopplad mellan serialiseraren och de-serialiseraren med T-lödningar. MicroUSB-kontakt och RJ12-kontakt användes på respektive PCB. . . . .	13
10	Blockdiagram för uppställningen då släpringen är kopplad mellan serialiseraren och de-serialiseraren med parallellödningar. MicroUSB-kontakt och RJ12-kontakt användes på respektive PCB. . . . .	14
11	Blockdiagram för uppställningen då släpringskablar är fastlödda mellan microUSB-kabeln och kretskortet där de-serialisern satt. . . . .	15
12	Blockdiagram för uppställningen då ögonogram och jitterhistogram gjordes. Mätningar gjordes differentiellt mellan data+ och data- då medföljande 8 m originalkabel användes mellan serialiseraren och de-serialiseraren. . . . .	17
13	Blockdiagram för uppställningen då ögonogram och jitterhistogram gjordes. Mätningen gjordes differentiellt mellan data+ och data- då släpringsladdar var kopplad mellan serialiseraren och de-serialiseraren med parallellödningar. MicroUSB-kontakt användes mellan serialiseraren och lödning direkt på PCBet där RJ12-kontakten satt användes mot de-serialiseraren. . . . .	17
14	Blockdiagram för uppställningen då ögonogram och jitterhistogram gjordes. Mätningen gjordes differentiellt mellan data+ och data- då släpringsladdar var kopplad mellan serialiseraren och de-serialiseraren med parallellödningar. MicroUSB-kontakt användes mellan serialiseraren och lödning direkt på PCBet där RJ12-kontakten satt användes mot de-serialiseraren. . . . .	18
15	Blockdiagram för uppställning när impedans och frekvensanalyser gjordes. SMA-kontakter i ändarna fastlödda på släpringskonakten där släpringen var inkopplad. . . . .	19
16	Ögonogram samt jitterhistogram på serialiseraren med uppställning enligt figur 12. . . . .	27
17	Ögonogram samt jitterhistogram på de-serialiseraren med uppställning enligt figur 12. . . . .	27



18	Ögonogram samt jitterhistogram på serialiseraren med uppställning enligt figur 13. . . . .	28
19	Ögonogram samt jitterhistogram på de-serialiseraren med uppställning enligt figur 13. . . . .	28
20	Ögonogram samt jitterhistogram på serialiseraren med uppställning enligt figur 14. . . . .	29
21	Ögonogram samt jitterhistogram på de-serialiseraren med uppställning enligt figur 14. . . . .	29
22	Ögonogram samt jitterhistogram på serialiseraren med uppställning enligt figur 13 med en släpring som roterat tre miljoner varv. . . . .	30
23	Ögonogram samt jitterhistogram på de-serialiseraren med uppställning enligt figur 13 med en släpring som roterat tre miljoner varv. . . . .	30
24	Ögonogram samt jitterhistogram på de-serialiseraren från att först vara stationär till att sedan rotera, med uppställning enligt figur 13 med en släpring som roterat tre miljoner varv. . . . .	31
25	Kalibrering av mätutrustning inför TDR-mätningar, med öppen ändpunkt. Y-led visar karakteristisk impedans i ohm [ $\Omega$ ]. X-led visar placering i den länk som mätningen görs på, med startpunkt i instrumentets kabelkontakt, i enhet meter [m]. . . . .	32
26	TDR-mätning över släpring med en kortslutning på den borte änden i mätuppställningen. Uppställning enligt figur 15. Y-led visar karakteristisk impedans i ohm [ $\Omega$ ]. X-led visar placering i den länk som mätningen görs på, med startpunkt i instrumentets kabelkontakt, i enhet meter [m]. . . . .	33
27	TDR-mätning över släpring med en öppen krets på den borte änden i mätuppställningen. Uppställning enligt figur 15. Y-led visar karakteristisk impedans i ohm [ $\Omega$ ]. X-led visar placering i den länk som mätningen görs på, med startpunkt i instrumentets kabelkontakt, i enhet meter [m]. . . . .	34
28	Ett frekvenssvop som visar den energin som kommit igenom länken som testas, för respektive frekvens. Den nedre kurvan visar den energin som kommit igenom länken med släpringen för respektive frekvens. Den övre kurvan visar kalibreringskurvan. Y-led visar förluster i enhet decibel [dB], X-led visar frekvens i enhet hertz [Hz]. . . . .	35
29	Ett frekvenssvop som visar den reflekterade energin i länken som testas, för respektive frekvens. Den nedre kurvan visar kalibreringskurvan och den övre visar energin som reflekteras i länken med släpringen. Y-led visar reflektioner i enhet decibel [dB], X-led visar frekvens i enhet Hertz [Hz]. . . . .	36
30	TDR-mätning över släpring med en kortslutning på den borte änden i mätuppställningen. Röd markering är släpringens kablar, grön markering är släpringsmekanismen och blå markering är inlödningen till släpringskontakten på PCBet. . . . .	38

31	Utdrag från datablad för serialiserarkretsen MAX9271 som användes i lösningen med en serDes-krets. [14] . . . . .	46
32	Relevant utdrag från datablad för de-serialiserarkretsen MAX9272A, som användes i lösningen med en serDes-krets. [15] . . . . .	47

## Tabeller

1	Tabellen visar om sensorn hade stängts av eller inte under den tid som testet gjordes. Sensorn roterade med en hastighet på tre varv per minut. .....	26
2	Tabellen visar om sensorn hade stängts av eller inte under den tid som testet gjordes. Sensorn roterade med en hastighet på tio varv per minut. .....	26
3	Tabellen visar om sensorn hade stängts av eller inte under den tid som testet gjordes. Sensorn roterade med en hastighet på tio varv per minut. .....	26

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Företaget är ett internationellt företag med sitt huvudkontor i Sverige. Företaget tillverkar många olika produkttyper som har sensorer av olika slag och med olika upplösningar.

I en av produkttyperna som tillverkas på Företaget finns det ett roterande kretskort som kan rotera fritt i en axel. Det kan vara problematiskt att överföra signaler mellan ett roterande och ett stationärt kretskort och idag är problemet löst genom att det används en släpring. Den typen av släpring som används idag fungerar på så vis att 20 stycken guldband är monterade på en stationär del längs en axel. I kontakt med guldbanden sitter det borstar på en roterande del, som kan överföra signaler. Då den roterande delen roterar så förs borstarna längst guldringarna och på så vis kan axlarna rotera fritt i förhållande till varandra samtidigt som det kan överföras signaler mellan dem. De olika guldbanden överför alla var sin signal.

Nuvarande lösning i produkttypen kräver ett stort antal av de dyra guldringarna, samtidigt som lösningen inte gör produkten så kompakt som det önskas. Det skall undersökas om det går att implementera en lösning som resulterar i att ett kretskort som sitter på den roterande biten av produkten, kan flyttas till den biten som är stationär, vilket medför en avsevärd förbättring vad gäller kompakthet, kylningsförmåga och därmed utvecklingsmöjligheter för prestanda. Vidare skall det undersökas om antalet guldringar som används i släpringen kan reduceras, eller om den släpring som används idag kan ersättas med en annan lösning.

Examensarbetet behandlar något nytt i den mån att en produkts helhet skall förbättras genom att alternativa sätt skall testas för sättet att överföra signaler mellan roterande och stationära kretskort. Vidare så skall överföringen mellan stationärt och roterande kretskort förflyttas i kretsstrukturen för produkten, och andra signaltyper skall skickas mellan stationära och roterande kretskort. Signalerna som skall skickas mellan det roterande och det stationära kretskortet har inte skickats på så vis tidigare. Resultatet av ny fungerande lösning kommer att bidra till att produkten i fråga blir mer kompakt, får bättre kylningsförmåga samt bättre utvecklingsmöjligheter för prestanda. Lösningar kommer att testas i ordningen av mest enkel lösning till mest avancerad lösning, med hänsyn till hur lösningen kan implementeras i produkt. Då en lösning fungerar kommer det göras tester på denna och det kommer att diskuteras om behovet finns att undersöka mer avancerade lösningar.

## 1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka om det kan implementeras en bättre lösning än den som finns idag i en specifik produkttyp gällande vilka signaler som skickas mellan roterande och stationära kretskort samt hur överföringen sker. Parametrar som skall tas till hänsyn är främst: kompakthet, prestanda, utvecklingsmöjligheter och systemets helhet med ny lösning. Det förväntas att det kommer att finnas svårigheter att transportera signaler med den frekvens, och av den typ, som det är planerat, över en släpring. Det förväntas att olikheter i impedans hos en släpring jämfört med den signalbärare som kommer att kopplas till släpringen, kommer generera reflektioner som kommer att störa signalerna. Resultatet förväntas dock att vara gott, i den mening att någon av de lösningar som testas kommer att kunna transportera signalen över stationära och roterande kretskort på så vis att det kan uppnås bättre kompakthet, samma eller bättre prestanda samt bättre helhet för den produkttyp som lösningen skall implementeras i. Det förväntas även att lösningen kommer att göra produkten billigare att tillverka och ge upphov till bättre utvecklingsmöjligheter.

## 1.3 Målformulering

Målet är att hitta minst ett sätt att överföra en specifik typ av signaler från ett roterande till ett stationärt kretskort, som uppfyller de krav som produkten har på signalerna. Lösningen som utvecklas skall vara av ett slag som inte tillämpats på liknande vis tidigare på Företaget. Lösningen som hittas skall bidra till att produkten i fråga blir mer kompakt, har samma eller bättre prestanda och har en bättre helhet än nuvarande design för produkten.

## 1.4 Problemformulering

- Kan det implementeras en lösning där serielagda signaler av en specifik typ skickas över en släpring där det endast krävs fyra guldringar?
- Om det går att implementera en lösning med serielagda signaler, kan denna uppfylla krav för prestanda, signalkvalité och kompakthet?
- Kan det implementeras en lösning där ett FPGA-kort används i båda ändarna av länken för att reducera antalet guldringar som krävs för att överföra samma information?
- Om det går att implementera en lösning med FPGA-kort, kan denna uppfylla krav för prestanda, signalkvalité och kompakthet?
- Kan det implementeras en lösning med optisk signalöverföring?
- Om det går att implementera en lösning med optisk signalöverföring, kan denna uppfylla krav för prestanda, signalkvalité och kompakthet?

- Kan det på något annat vis implementeras en lösning som uppfyller krav för prestanda, signalkvalité och kompakthet?

## 1.5 Motivering av examensarbetet

Företaget som arbetet utförs på är välutvecklat, ligger i framkanten av teknisk innovation inom sitt område och har gett ett intryck av att vara en seriös arbetsplats med god miljö och arbetsmoral. Examensarbetet som har valts att göras kommer att förbättra en lösning som idag är implementerad i alla produkter av en viss typ, vilket medför att ett lyckat examensarbete kommer att göra stor skillnad för Företaget. Att examensarbetet innefattar arbete på hårdvara på ett sätt där en lösning tas från idéstadiet till implementation är även något som väckt stort intresse.

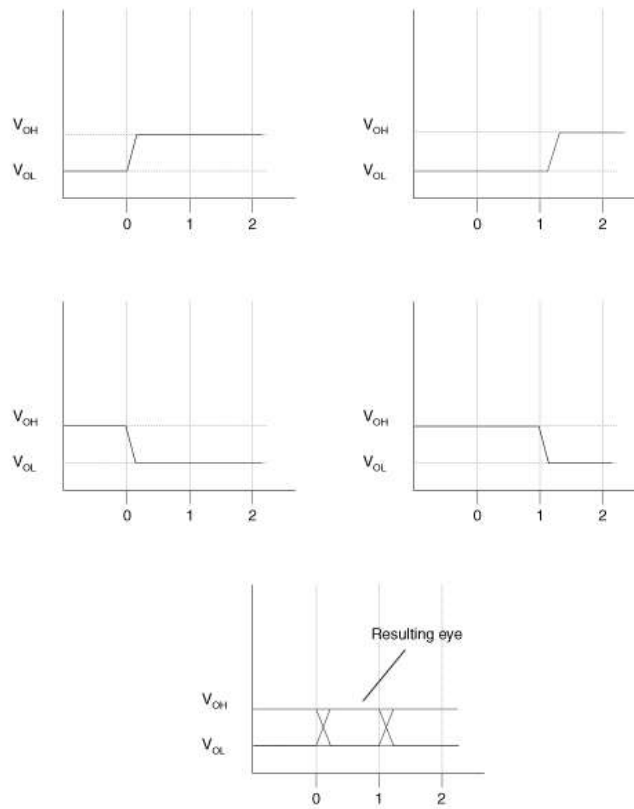
## 1.6 Avgränsningar

Examensarbetet innehåller inte någon heltäckande kostnadsundersökning för någon av de lösningar som tas upp. En komplett implementation av tänkta lösningar under examensarbetet skall ej göras då det är en för omfattande uppgift. Det skall endast testas om principerna bakom de olika lösningarna funkar, med de testuppsättningar som Företaget kan tillhandahålla.

## 2 Teknisk Bakgrund

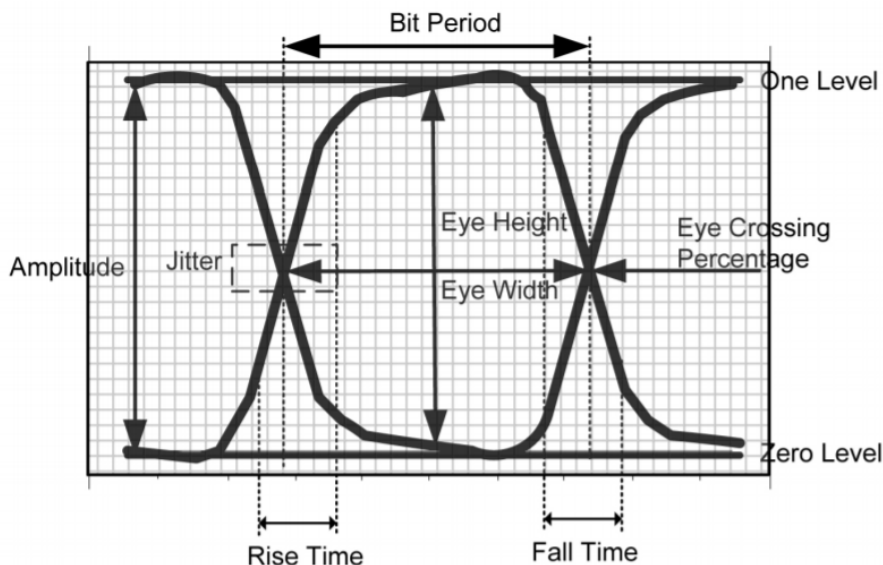
### 2.1 Ögondiagram

Ögondiagram är diagram som kan fås då ett oscilloskop används för att mäta på digitala signaler. Ögondiagram är användbara när viktiga parametrar på elektriska signaler skall undersökas och det skall avgöras vilken kvalitet det är på de uppmätta signalerna. Vid mättillfället placeras probar så att de kan detektera signalerna som skall mätas på, och uppmätta signalers persistens ställs på oscilloskopet in att vara oändlig. För att det skall ges ett tillförlitligt resultat så samplas det och visas upp ett stort antal signaler. Oscilloskopet ställs in så att y-axeln visar spänningsnivå och x-axeln visar tid, oftast inte en längre tidsperiod än två bitlängder. Genom att ett stort antal signaler kan ses så fås ett statistiskt genomsnittsvärde på signalutseendet. Olika kombinationer av signalutseendet hos tre bitar registreras för att ge ett slutgiltigt diagram, se figur 1. Analys ge-



Figur 1: Visar hur ett ögondiagram byggs upp med signalerna överlagrade på varandra. [1]

nom att undersöka ögonogram ger information angående undersökta signalens våglängd, amplitud, jitter samt stig- och falltider, se figur 2. För ögonogram så identifieras jitter genom att undersöka hur stor spridningen är då vågorna korsar varandra, se figur 2. Att spridningen är större i x-led innebär att signalen är påverkad av mer jitter. [1, 2, 3]



Figur 2: Visar parametrar för ett ögonogram. [1]

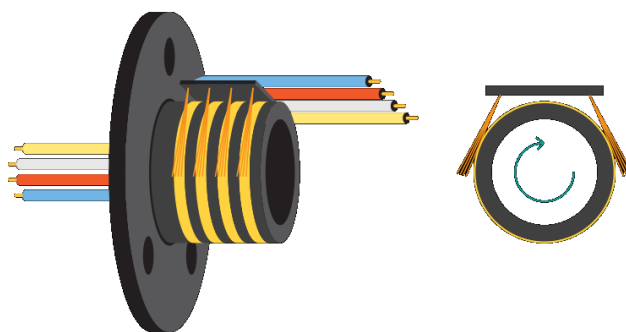
## 2.2 Jitter

Jitter är ett fenomen som uppstår i elektriska signaler. Det finns flertalet olika typer av jitter; fasjitter, periodiskt jitter och cykel-till-cykel jitter. Fasjitter innebär att tidpunkten då en signal stiger från lågt till högt värde är förskjuten i tid förhållande till sitt ideala värde. Periodiskt jitter innebär att periodtiden för en signal är skilld från dess ideala periodtid. Cykel-till-cykel jitter innebär skillnaden mellan signalers periodtid mellan varandra. En konsekvens av jitter är att enheter kan tolka skickade databärande signaler felaktigt då tolkningen av signalerna sker vid en viss tidpunkt som en intern klocka bestämmer. Jitter kan till synes förekomma slumpmässigt, eller deterministiskt. Deterministiskt jitter har sitt ursprung i ett systematiskt jitter-skapande fenomen, medan slumpmässigt jitter förekommer slumpartat. [2, 4, 5]

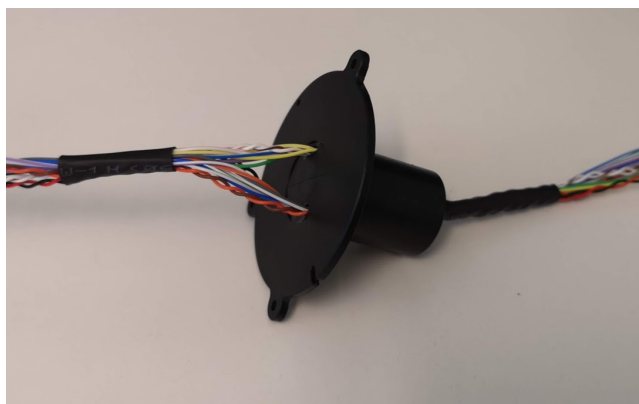


## 2.3 Släpring

En släpring är en elektrisk och mekanisk komponent som överför elektriska signaler över en roterande axel. En släpring är uppbyggd av två delar, en roterande del och en statisk del. Den elektriska kopplingen sker över en metallytta på statiska delen och med borstar, som har kontakt med mittdelen under rotationen, från den roterande delen. Då borstarna ligger mot metallytan oberoende av rotationen kan en släpring rotera fritt i en axel under tiden det överförs signaler mellan roterande och statiska enheter. Ofta är metallytan i släpringen gjord av guld då guld inte oxiderar. [6]



Figur 3: Uppbyggnad av en typ av släpring. [6]



Figur 4: En släpring.

## 2.4 Karakteristisk impedans

Den karakteristiska impedansen för en överföringslänk beror på den geometriska uppbyggnaden mellan två oändligt långa elektriska ledare. I överföringslänken finns det både induktanser på varje ledare samt kapacitans mellan ledarna. Om avståndet mellan ledarna ökar så minskar kapacitansen och induktansen ökar då varje ledares magnetfält inte tar ut varandra. En mindre kapacitans och en högre induktans på överföringslänken medför en mindre ström vid en påsatt spänning, vilket medför en större impedans. Om ledarna istället skulle föras närmre varandra skulle det bli tvärt om, kapacitansen mellan ledarna skulle ökat och induktansen för varje ledning skulle minskat, och detta skulle medfört en mindre impedans.

Om det bortses från ledningsmotstånd och isoleringen mellan ledarna i länken är vakuum kan den karakteristiska impedansen för länken räknas ut med länkens induktans per enhetslängd och länkens kapacitans per enhetslängd enligt ekvation 1. [7]

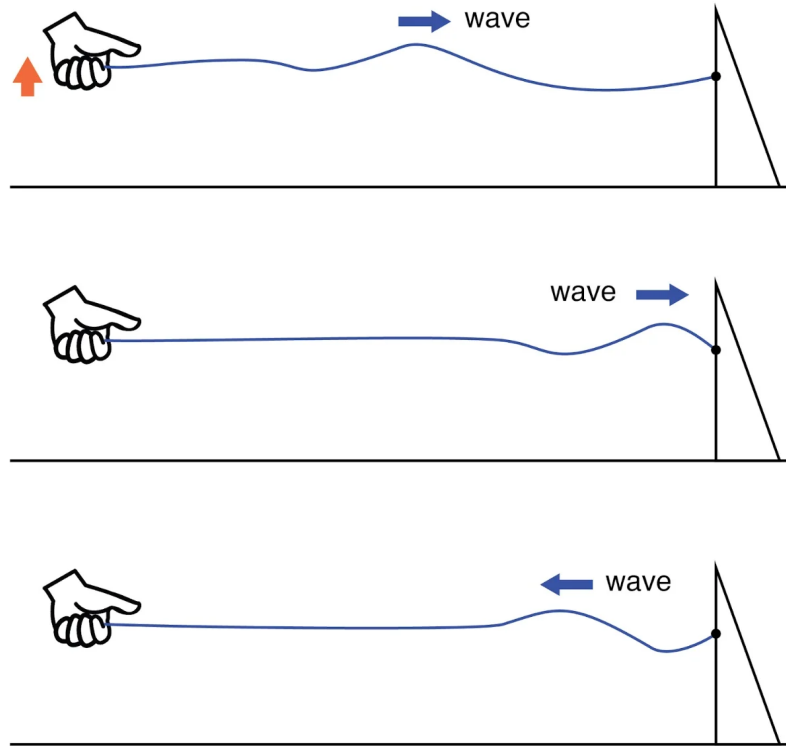
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1)$$

## 2.5 Termineringsmotstånd

Termineringsmotstånd används för att bli av med reflektioner som uppstår i en överföringslänk. I slutet av två ledare som utgör överföringslänken kopplas det in ett termineringsmotstånd som ser till att impedansen är samma genom hela länken. För att fullständigt bli av med reflektionen skall termineringsmotståndet ha exakt samma resistans som den karakteristiska impedansen för överföringslänken. Är impedanserna inte exakt lika kommer det att bildas reflektioner, dock inte lika stora som om det inte skulle funnits något termineringsmotstånd alls. [7]

## 2.6 Reflektioner

Reflektioner i en elektrisk ledare bildas då en elektrisk signal skall överföras genom en länk. Olika delar av länken har olika karakteristisk impedans, och den skillnaden medför att signalerna inte endast går över länken, utan det sker även reflektion, tillbaka i länken. Reflektioner medför att signaler som skickas inte blir som den förväntade signalen. För att minska reflektionerna kan det användas ett termineringsmotstånd som tar upp den energin som skulle gått ut som reflektion. Genom att ett termineringsmotstånd används så går endast den önskade signalen igenom länken. Principen bakom när elektriska reflektioner bildas skulle kunna jämföras med ett rep som är fäst i en vägg. När det sker en rörelse, en våg, i ena änden så transporteras den genom repet mot andra änden. När vågen kommer till den fasta punkten så reflekteras en del av vågen tillbaka i repet, se figur 5. Större skillnad i karakteristisk impedans mellan de medium som en våg växlar mellan medför att det bildas större reflektioner. [8]



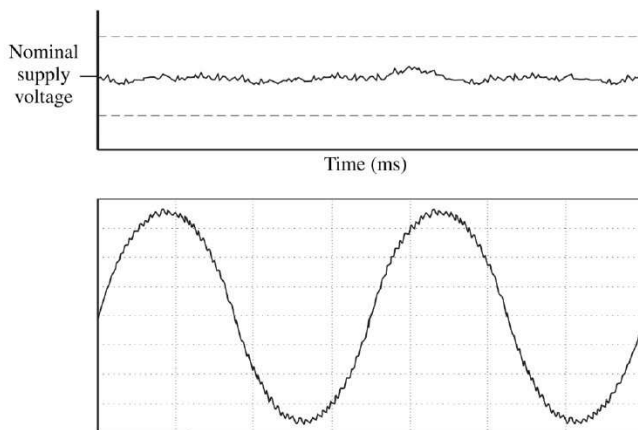
Figur 5: Beskriver hur en reflektion uppstår. [8]

## 2.7 TDR-mätning

TDR står för "Time Domain Reflectometry" och en TDR-mätning ger information angående vad den karakteristiska impedansen är för olika enheter i en länk som undersöks. En TDR-mätning genomförs genom att det skickas en puls av låg spänning genom länken som undersöks. När pulsen går från ett medium till ett annat där det finns olikheter i karakteristisk impedans så genereras en reflektion. Då mätinstrumentet registrerar tiden när en puls skickas och när en reflektion kommer tillbaka så fås information angående var någonstans på länken som karakteristiska impedansen är förändrad samt hur mycket den är förändrad, då instrumentet även mäter storleken på reflektionen. [9]

## 2.8 Brus

Brus i elektriska signaler innebär att det fås oönskade, till synes slumpmässiga, små förändringar i signalnivåer som kan se ut enligt figur 6. Konsekvensen av brus är att en signal kan få ett utseende som inte stämmer överens med vad som önskas. Det finns olika typer av brus, och de har olika ursprung. Det finns internt brus som har sitt ursprung i exempelvis elektronernas rörelser i ledare, eller i fel i den elektriska designen. Det finns även externt brus som har sitt ursprung i exempelvis elektromagnetisk interferens från omgivningen eller från störningar från radiosignaler. Signaler med lägre spänningsnivåer får en relativt större påverkan av brus, än signaler med högre spänningsnivåer, då storleken på bruset är större i relation till signalen som skickas. För att bedöma förhållandet mellan en signals brus och dess information som skall skickas så används beteckningen SNR - Signal to Noise Ratio, som önskas vara så hög som möjligt. [10]



Figur 6: Figur över på hur brus tenderar att se ut i ett oscilloskop för en DC-signal (övre) och för en AC-signal (undre). Y-led visar spänning [V] och x-led visar tid [s]. [10]

## 2.9 Partvinnad kabel

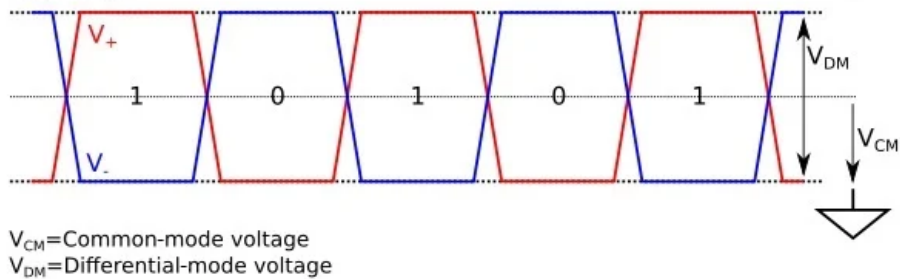
En partvinnad kabel är uppbyggd av en yttre isolering och i vissa fall en folieskärm samt flertalet isolerade kopparledare som är tvinnade i par. Då ledarna är tvinnade med varandra tar deras magnetfält ut varandra samtidigt som de skyddar från yttre magnetfält. Det finns partvinnade kablar som har en folieskärm runt alla ledarparen och denna ger ett yttre skydd mot elektromagnetism och radiostörningar. Över en partvinnad kabel används differentiella signaler, varför uppfångade bruset över ledarna elimineras. [11]

## 2.10 Differentiella signaler

En differentiell signal består av två ledare som bär signaler som är varandras elektriska inverser. De två differentiella signalerna har lika hög amplitud men med omvänd polaritet, och de ses till att skickas synkroniserat, se figur 7. Den differentiella spänningen räknas ut enligt ekvation 2, varför gemensamma störningar som exempelvis brus och andra elektromagnetiska störningar till stor del kan elimineras. En konsekvens av att en stor del av gemensamma störningar elimineras är att de differentiella signalerna kan skickas med låga spänningar utan att förhållandet mellan signal och brus blir för litet. Common-mode spänningen kan räknas ut enligt ekvation 3, varför det i idealt fall inte är någon spänningsskillnad mellan ändpunkterna och det därför inte heller går någon ström mellan dem. Vid snabba res- och falltider på de transporterade signalerna så bildas det elektromagnetiska fält som kan störa omgivningen, men då dessa fält blir invers av varandra med (idealt) samma magnitud i kombination med att det ofta används partvinnade kablar för att bära de differentiella signalerna, så genererar de differentiella signaler själva inte stora elektromagnetiska fält. [12]

$$V_{DM} = V_+ - V_- \quad (2)$$

$$V_{CM} = \left| \frac{V_+ + V_-}{2} \right| \quad (3)$$



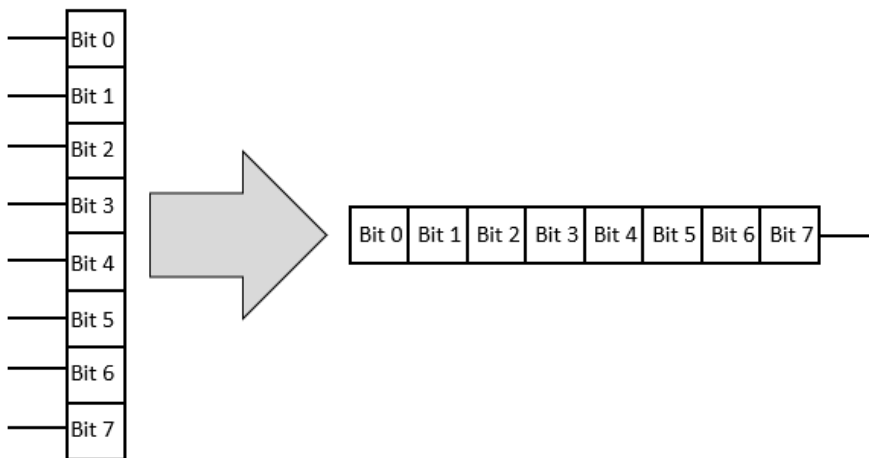
Figur 7: Typutseende för en differentiell signal,  $V_+$  skickas synkroniserat med sin invers  $V_-$ . [12]

## 2.11 Current Mode Logic

Current Mode Logic eller CML är ett protokoll som används för att överföra elektriska signaler med en liten energiåtgång. CML används vid hastigheter över 1 Gbps när signaler sänds i serie. CML använder sig av differentiella ledare där strömmen i ledarna skiftas för att få fram en differentiell signal. Spänningen mellan de differentiella ledarna är cirka 800 mV. Det används ett 50 ohms termineringsmotstånd i båda ändarna av CML-förbindelsen för att undvika reflektioner i länken. [13]

## 2.12 Serialiserare och de-serialiserare

En serialiserare och de-serialiserare bildar tillsammans en så kallad serDes-krets, som är en kretsuppsättning där flertalet parallella signaler kommer till serialiseraren och därefter serieläggs ut på en eller två ledare. När det används två ledare är ledarna tvinnade i par samt är varandras invers för att på så vis få bort en stor del av brus och störningar. När de serielagda signalerna har mottagits av de-serialiseraren så sänds de återigen parallellt, se figur 8. Då ett antal parallella signaler serieläggs så kommer de serielagda signalerna att ha högre bithastighet än vad de parallella hade, då samma information skall transporteras över färre ledare.



Figur 8: Åtta parallella bitar serieläggs till att transporteras seriellt över en ny länk. Den nya länken får åtta gånger så hög signalfrekvens.

### 3 Metod

Först undersöktes möjligheten att använda en serialiserare som serielade de parallella signalerna av specifik typ och sedan skickade signalerna genom en släpring med fyra guldringar till en de-serialiserare, som sedan skickade vidare signalerna. För att bedöma kvalitén på länken så användes en sensor i ena ändpunkten, och en CPU-del som kunde kopplas till en dator där sensorsignalerna kunde tolkas, i andra änden av länken. Lösningen med serialiserare och de-serialiserare testades att implementeras så att datorn kunde tolka sensorns signaler, vilket gav en bedömning på hur bra länken var med serialagda signaler genom släpringen. Signalkvalitén för sensorns signaler efter de hade passerat igenom länken mättes på och analyserades. Signalerna jämfördes med de kravspecifikationer som fanns för serialiseraren och de-serialiseraren, samt hur signalerna såg ut när länken mellan serialiserare och de-serialiserare bestod av kontakter och en högkvalitativ partvinnad kabel. Det utfördes även tester på hur signalerna såg ut när kretskorten endast kopplades ihop med de kablar som användes i släpringen (utan att släpringen i sig var inkopplad).

Då det var önskvärt att länken skulle kunna hantera signaler från en sensor med en specifik upplösning så börjades det med att testa principen med serieagda signaler från sensorn, med den upplösningen. Resultaten noterades, och teoretiskt underlag till varför de såg ut som de gjorde försökte hittas. Det gjordes vidareanalyser vad gällde impedans och frekvensspann för signallänken då den använde sig av en släpring. Det framställdes även ögonogram och jitterhistogram när länken bestod av en ny släpring, när länken bestod av en partvinnad kabel, när länken bestod av kablar från ny släpring och när länken bestod av en släpring som hade roterat tre miljoner varv. Designen med ny släpring började även att testas genom att låta sensorn fånga upp information under tiden den satt fast i en roterande uppställning.

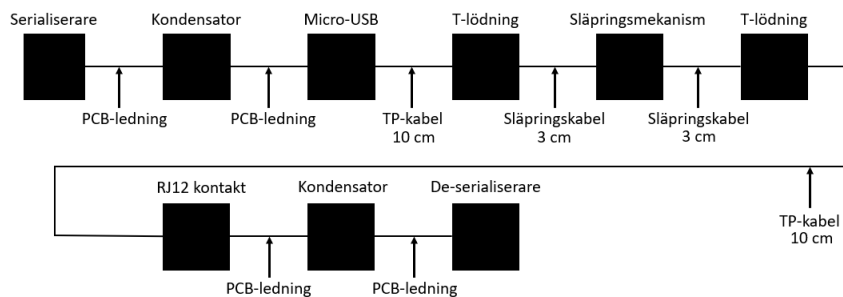
Det valdes att vidareundersöka hur en optisk lösning skulle se ut. Det studerades vilka optiska alternativ som var tillgängliga på marknaden, samt via Företagets leverantörer. Det kontrollerades även om det fanns idéer internt på Företaget gällande hur en optisk lösning skulle kunna implementeras. På grund av tidbrist, och brist på enheter som krävdes så kunde ingen testuppställning byggas.

Det vidareundersöktes även om det skulle fungera att använda en induktiv lösning. Det studerades om marknaden innehöll släpringar med induktiv lösning för signalöverföring och/eller energiförsörjning. Vad som kunde hittas var endast större induktiva släpringar som exempelvis användes som generatorer i vindkraftverk, och alltså inga typer av induktiva släpringar som var i lämplig storlek för det syfte som släpringen skulle användas till på Företaget. Det skapades ingen testuppställning med induktiv lösning då det ansågs att lösningen i sig inte var önskvärd då den hade medfört mycket problem.

### 3.1 Lösning med en serDes-krets

För att undersöka om det skulle gå att serialägga de parallella signalerna av specifik typ och sedan skicka dem över en släpring så användes ett sensorpaket som bestod av en sensor med känd upplösning, som var kopplad till en serialiserare som sedan var kopplad till en de-serialiserare via kontakter och en partvinnad kabel. Först undersöktes var någonstans på huvudkortet som det finns mätpunkter för att mäta de serielagda datasignalerna som mottages av de-serialiseraren. När mätpunkterna för datasignalerna hade hittats så kopplades sensoruppsättningen till en dator så att informationen som sensorn fångade upp kunde synas i ett fönster. Efter att sensorn var inkopplad och det konstaterades att den fungerade som den skulle så påbörjades mätningar av signalerna. Signalerna mättes först med hjälp av ett oscilloskop av modell Lecroy HDO6104A och en prob av typ Teledyne Lecroy SP100. Det insågs att signalerna var differentiella signaler, varför det istället valdes att mätas med en aktiv prob som mätte differentiellt av modell Teledyne Lecroy ZS1000. De differentiella signalernas utseende undersöktes och dokumenterades.

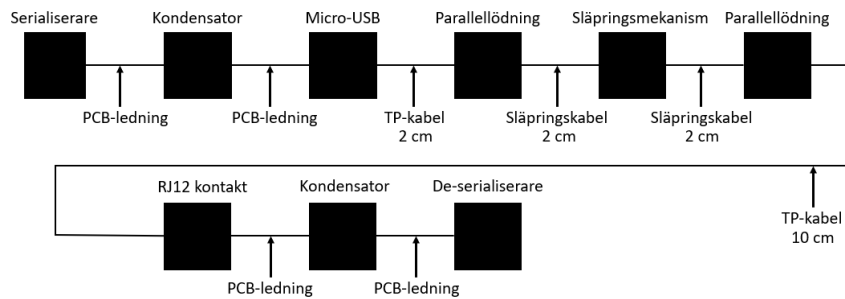
För att undersöka om släpringen kunde hantera de serielagda signalerna från sensorn så klipptes den partvinnade kabeln mellan sensorpaketet och huvudkortet upp, och släpringen löddes på på så vis att den nu var en del av länken mellan sensorpaketet och huvudkortet enligt figur 9. Kablarna löddes ihop på ett sätt så att släpringen bar fyra signaler, varav två var databärande, en var jord och en var energiförsörjning. De två databärande kablarna på släpringen sågs till att vara partvinnade. Efter att släpringen var fastlödd så testades sensorn att kopplas till dator igen för att undersöka om det var möjligt att få upp sensorns mätvärden. Ingen information kunde fås fram, utan felmeddelanden uppstod. Signalernas utseende efter de transporterats genom släpringen undersöktes och noterades.



Figur 9: Blockdiagram för uppställningen då släpringen är kopplad mellan serielagda signalerna. MicroUSB-kontakt och RJ12-kontakt användes på respektive PCB.



Efter diskussioner med erfarna ingenjörer på Företaget så testades det att korta ned totala sträckan som länken mellan serialiserare och de-serialiserare var. Länken kortades ned genom att den partvinnade kabeln klipptes så att den nu endast var cirka tre centimeter i varje ände om släpringen. Kablarna i släpringen kortades även ned så att de var cirka två centimeter på varje sida om släpringen. Kontakten mellan släpringens kablar och den partvinnade kabeln löddes även om så att kablarna var parallella med varandra, och inte som ett "T", se figur 10. Den nya uppsättningen kopplades till en dator och det testades om sensorns information kunde fås fram. Det genererades fortfarande felmeddelanden, och ingen information kunde fås fram. Det togs fram serverrapport samt systemlog i det gränssnittet som användes på datorn för att tolka sensorns signaler, och dessa tolkades.

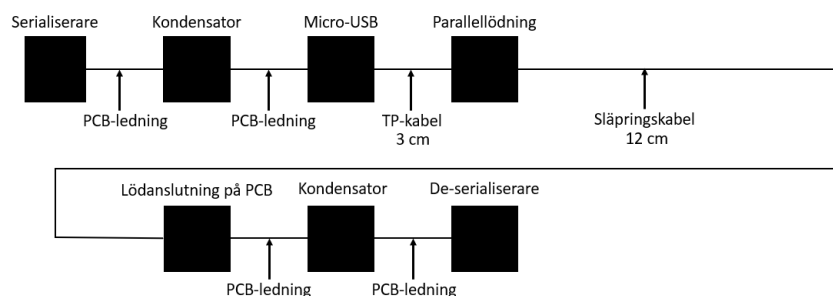


Figur 10: Blockdiagram för uppställningen då släpringen är kopplad mellan serialiseraren och de-serialiseraren med parallellödningar. MicroUSB-kontakt och RJ12-kontakt användes på respektive PCB.

För att reducera problemet genom att successivt ta bort olika enheter i länken mellan serialiserare och de-serialiserare så togs RJ12-kontakten bort, och den partvinnade kabeln klipptes upp och dess databärande kablar löddes på direkt på huvudkortet, tillsammans med energi- och jordbärande kablar. Det testades att koppla in sensorn igen men ingen information kunde fås fram i datorn. Det insågs att längden på de differentiella databärande ledarna skiljde sig på några millimeter och dessa klipptes så att de hade en längdskillnad på mindre än en millimeter. Vidare så gjordes det försök att förminska länken ytterligare, genom att ta bort microUSB-kontakten på sensorkortet. Vid försöket att ta bort microUSB-kontakten så skadades sensorkortet, så att ett nytt sensorkort fick beställas.

I väntan på att få ett nytt sensorkort av samma modell som det som blivit förstört, så kunde en alternativ sensor användas, som var kompatibel med serialiseraren och de-serialiseraren som användes. Den nya sensorn hade betydligt lägre upplösning än den gamla, varför det troddes att denna skulle ha högre sannolikhet att fungera. Den nya sensorn kopplades in till testuppsättningen via en microUSB-kontakt, och sedan kopplades uppsättningen till dator. Det fungerade att få fram information från sensorn i datorn. Informationen som visades var till synes felfri, och tester påbörjades för att undersöka signalens kvalitet. Databärande signaler mättes differentiellt genom användningen av ett oscilloskop av modell Lecroy HDO6104A där de till synes såg ut som de gjort när det används en partvinnad kabel mellan serialiserare och de-serialiserare. Det beslutades att det skulle göras analys av ögondiagrammen för att få en bra uppfattning om kvalitén på signalerna. Ett oscilloskop av modell Tektronix MSO 72504DX skulle användas för att göra mätningar men detta var uppboktat i någon vecka framåt och kunde inte användas förrän senare.

I väntan på att få använda Tektronix så kunde det användas en ny sensor av den modell som skadades tidigare, som nu testades att kopplas in direkt via microUSB-kontakt. För att undersöka om kablarna från släpringen var orsaken till att uppsättningen inte fungerade med den högupplösta sensorn, så löddes släpringen av från länken mellan serialiseraren och de-serialiseraren. Det klipptes sedan av ett par kablar från släpringen, och dessa löddes fast mellan microUSB-kabeln och kretskortet där de-serialisern satt, se figur 11. Den nya uppsättningen testades att kopplas in till dator, och det fungerade att få fram information på korrekt vis. Resultatet noterades och undersökningen angående om kablarna från släpringen kunde hantera signalöverföringen var klar.



Figur 11: Blockdiagram för uppställningen då släpringskablar är fastlödda mellan microUSB-kabeln och kretskortet där de-serialisern satt.

När den högupplösta sensorn sedan kopplades in till datorn så kunde det fås fram felfri information, med en upplösning som var så hög som önskades. Följande två sensortester gjordes: stationärt sensortest och roterande sensortest.

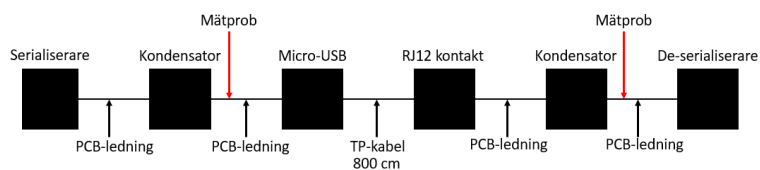
### **3.1.1 Stationärt och roterande sensortest**

Det stationära sensortestet gjordes på så vis att sensorn tilläts detektera information i hela sitt uppfångsspann, under tiden sensorn var stationär. Det sågs även sedan hur värdena som fångades av sensorn förhöll sig till de verkliga värdena som skulle mätas på. Om sensorn förmedlade korrekt uppmätta värden samt om serDes-kretsen inte hade stängt av sig under testet så hade testet klarats av. Testet tog ungefär två timmar, och det upprepades ett antal gånger för att det skulle fås ett tillförlitligt resultat. Det stationära testet gjordes endast som ett för-test, innan rotationstestet började, då det var under rotation som det var av värde att undersöka länken. Då de stationära sensortesterna visade positiva resultat så kunde roterande sensortest börja.

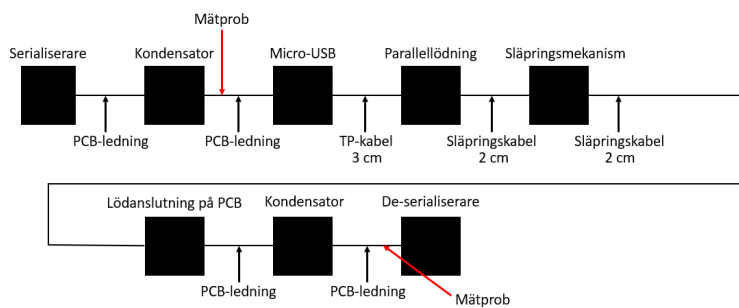
För att göra rotationstester så konstruerades en uppsättning där sensorn kunde sättas fast på så vis att den kunde rotera i en axel och registrera information samtidigt, och därefter gjordes det undersökningar om sensorn fortfarande kunde fungera felfritt under rotation. Sensorn sågs till att samla upp information som ständigt förändrades, och det undersöktes även om den informationen som kunde noteras i datorn såg kontinuerlig och felfri ut. Uppsättningen lät sedan roteras i 18 timmar för att se om det under så lång tid någon gång skickades signaler som inte kunde tolkas, vilket hade gjort att serDes-länken hade stängt av sig.

### **3.1.2 Ögonogram och jitterhistogram**

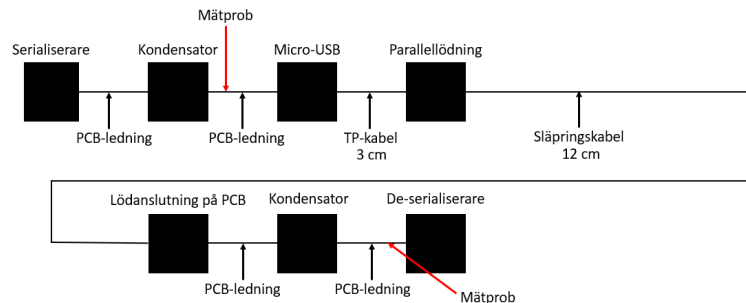
Ett Tektronix MSO72504DX 25 GHz oscilloskop användes för att göra analyser. Det skapades åtta stycken olika ögonogram samt åtta stycken olika jitterhistogram. Det skapades ett ögonogram och ett jitterhistogram på både serialiserarens utgång och de-serialiserarens ingång då uppsättningen såg ut enligt figur 12, 13 och 14. Det gjordes även ögonogram då uppsättningen såg ut enligt figur 13, men med en släpring som hade roterat tre miljoner varv och efter dessa misslyckats med att upprätthålla den kvalité som produkten hade som krav.



Figur 12: Blockdiagram för uppställningen då ögonogram och jitterhistogram gjordes. Mätningar gjordes differentiellt mellan data+ och data- då medföljande 8 m orginalkabel användes mellan serializeraren och de-serializeraren.



Figur 13: Blockdiagram för uppställningen då ögonogram och jitterhistogram gjordes. Mätningen gjordes differentiellt mellan data+ och data- då släpringsladdar var kopplad mellan serializeraren och de-serializeraren med parallellödingar. MicroUSB-kontakt användes mellan serializeraren och lödning direkt på PCBet där RJ12-kontakten satt användes mot de-serializeraren.



Figur 14: Blockdiagram för uppställningen då ögonogram och jitterhistogram gjordes. Mätningen gjordes differentiellt mellan data+ och data- då släpringsladdar var kopplad mellan serialiseraren och de-serialiserares med parallellödingar. MicroUSB-kontakt användes mellan serialiseraren och lödning direkt på PCBet där RJ12-kontakten satt användes mot de-serialiserares.

När det gjordes ögonogram och jitterhistogram så valdes det att ställas in en undre gräns för spänningsnivåer som skulle detekteras av oscilloskopet, som var precis så hög så att det endast registrerades databärande signaler mellan serialiseraren och de-serialiserares.

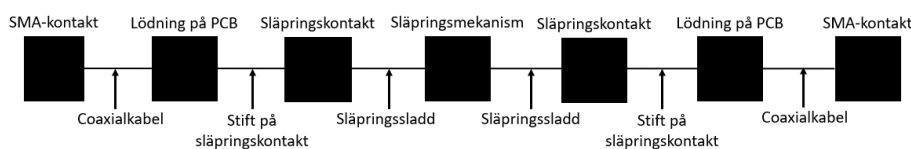
För att få uppmätt ögonogram på Tektronix MSO72504DX så användes en prob av modell Tektronix P7716, med inställningen att mäta differentiellt. Proben av modell Tektronix P7716 löddes fast så att den kunde mäta på data+ och data- och det sågs till att lika lång tråd från proben till de olika mätpunkterna användes, så att de differentiella signalerna skulle mätas synkroniserade. Det användes ett förprogrammerat test på oscilloskopet som hette ”Jitter and eye diagram”, där det specifikt kunde väljas vad som skulle fås upp för typ av information. Sensorn kopplades in och det sågs till att den skickade information till dator. Ögonogram och deras respektive jitterhistogram kunde fås fram och dessa dokumenterades och analyserades.

För ögonogrammen som framställdes när en släpring var inkopplad så var sensorn först var stationär, för att sedan roteras. Det gjordes försök att notera hur ögonogrammen förändrades vid övergången, och resultatet dokumenterades.

### 3.1.3 Impedans- och frekvensanalys

En vektor nätverksanalysator av modell Anritsu MS46524B användes för att göra TDR-mätningar för att få fram den karakteristiska impedansen hos de oli-

ka enheterna i länken. Impedansmätningarna gjordes på en länk som såg ut enligt figur 15. Det sågs till att den enda vägen som de genererade signalerna från vektor nätverksanalysatorn kunde passera var länken som släpringen var en del av. Det var önskvärt att ha en uppsättning där kretskortet inte påverkade mätresultatet, vilket kunde fås genom att andra signalbärande vägar från släpringskontakten klipptes bort.



Figur 15: Blockdiagram för uppställning när impedans och frekvensanalyser gjordes. SMA-kontakter i ändarna fastlödda på släpringskonakten där släpringen var inkopplad.

Instrumentet kalibrerades först med hänsyn till längd och impedans på de kablar som var inkopplade vars impedanser inte skulle vara en del av mätningen. Tre olika kalibreringar gjordes för varje kabel; öppen krets, kortslutning och ett 50 ohms motstånd inkopplat på den bortre änden. Det gjordes även kalibreringar för när olika kablar kopplades ihop med varandra, och på så vis kunde det göras mätningar som inte tog till hänsyn vilken impedans det var i kablarna och dess kontakter.

Den färdigkalibrerade uppsättningen testades på en testlänk där det var känt att karakteristiska impedansen var 100 ohm, och resultatet av testet noterades.

När instrumentet var kalibrerat och det hade testats att kalibreringarna var gjorda på ett korrekt sätt så gjordes det mätningar för att undersöka hur differentiella signaler uppfattade den undersökta länkens impedans, genom att två sladdar löddes in på de differentiella trådarna. Skärmningarna på de SMA-kablar som löddes fast, löddes fast i jord på det kretskort som släpringen satt inkopplad på. Det löddes på ett sätt så att impedansmätningarna fick med hela släpringen och dess kontakter. En mätning där ändpunkten på den länk som mättes var öppen, och en mätning då ändpunkten på den länk som mättes var kortsluten för att det skulle säkerställas att hela länken studerades i mätfönstret. Resultaten från mätningarna noterades. På samma uppsättning gjordes även ett frekvenssvep, där det analyserades vilka reflektionsbildningar som uppstod i länken vid frekvenser från 300 MHz till 10 GHz påverkades av kretsen. Resultaten noterades.

## 3.2 Källkritik

[1], [2], [4], [5], [6], [9], [13], [11], [14] och [15] är källor från företag som själva förklarar principer för exempelvis deras kunder. Företaget har ett stort intresse att det är rätt information i deras datablad eller artiklar om deras produkter eller principer de använder sig av.

[10] är en källa från en digital tidning för elektroteknikingenjörer. Är det kunniga läsare av tidningen så krävs det också att det är hög kvalitet på innehållet.

[12] har skrivits av Carsten Pinkle och han har en master inom elektroteknik och är föreläsare på DHBW Stuttgart och är därför en tillförlitlig källa. [8] och [7] finns tillgängliga som en del av webbsidans officiella digitala utbildningsplattform. Precis som med en tidning så är även läsarna kunniga inom området och då krävs det hög kvalitet på innehållet.

[3] är en vetenskaplig artikel hämtad från IEEE Xplore och den är skriven av Rui Shi, Wenjian Yu, Yi Zhu, Chung-Kuan Chenh och Ernest S. Kuh. IEEE Xplore anses som en tillförlitlig källa då den är en del av IEEE.

## 4 Analys

### 4.1 Lösning med serDes-krets

Anledningen till att det till en början testades att användas en serDes-krets för att utvärdera länken var då det var mest önskvärt att använda sig av denna lösning i en produkt, detta då serDes-kretsen skulle kräva ett fåtal förändringar bortsett från de som var önskade, vid implementering. Om serDes-kretsen fungerade innebar det även att det kunde användas samma släpringsmodell som den som användes idag, men med färre guldringar, vilket även var önskvärt. Vidare hade den serDes-krets som valdes även programmerats att stänga av sig då det förekom signaler som inte höll de kravspecifikationer som fanns, varför det enkelt kunde ses om signalerna förhöll sig positivt till kravspecifikationerna efter de passerat länken med släpring.

Det användes den sensortyp som det gjordes då denna hade samma upplösning som den som skulle användas i produkt, samt så var sensorn kompatibel med serDes-kretsen som användes. Det valdes även en sensor av särskilt slag då informationen som sensorn registrerade kunde, på ett enkelt sätt, säkerställas att vara korrekt.

I uppställningarna med serDes-lösningen så användes det kondensatorer för att eliminera likspänningen som fanns på länken mellan serialiserare och de-serialiserare, då informationen som skickas mellan serialiseraren och de-serialiseraren är lagrad i växelspanning.

Anledningen till att lödningarna löddes om till parallellödningar från T-lödningar var för att T-lödningar kunde ge upphov till reflektioner.

Då det fungerade att använda en färdig krets som hade en serialiserare och en de-serialiserare så valdes det att inte vidareundersöka om det skulle kunna fungera att använda sig av ett programmerbart FPGA-kort i varje ände om släpringen, som hanterade signaluppdelningen så att de parallella signalerna från sensorn kunde skickas över färre guldringar. Argumentet bakom varför det inte valdes att undersökas lösning med FPGA-kort är att det högst troligt är signalfrekvensen som begränsar länken med släpringen, och inte vilket protokoll som används (inom ungefär samma spänningsnivåer). Det hade endast varit intressant att testa om det hade fungerat att överföra signaler via färre guldringar än det antal som används i produkten för tillfället om lösningen med en serDes-krets inte hade fungerat. Det hade i fallet då en serDes-krets inte hade fungerat kunnat ha varit aktuellt att använda ett FPGA-kort för att överföra signalerna över fyra databärande trådar, istället för de två som serDes-kretsen använde, för att se om länken med släpringen klarade av att hantera de signalfrekvenserna, som i så fall hade blivit lägre.



Anledningen till varför det valdes att jämföra länken då en partvinnad kabel användes, i förhållande till då en släpring användes, var för att det skulle fås en uppskattning om hur väl länken förhöll sig till ett optimalt fall, då den innehöll en släpring. Anledningen till varför det valdes att jämföra länken då endast kablar från släpringen användes var för att det skulle säkerställas att kablarna kunde hantera signalfrekvenserna som skickades mellan serialiseraren och de-serialiseraren.

Det stationära testet gjordes då det var av intresse att säkerställa att länken på ett stabilt och konsekvent sätt kunde överföra informationen från sensorn, när datan skickades seriellt över släpringen. Det roterande testet gjordes för att det skulle säkerställas att det inte påverkade länken avsevärt när borstarna i släpringen släpades mot guldringarna, istället för att endast vara i kontakt stationärt. Då serDes-kretsen var programmerat på så vis att den skulle stänga av sig då det skickades information som inte kunde tolkas av de-serialiseraren så kunde det säkerställas att länken hade klarat av att hantera signalöverföringen om den inte stängts av under testerna.

När länken kortades ned genom att kablar gjordes kortare samt kontakter togs bort, så gjordes det för att de databärande signalerna skulle förlora mindre energi när de färdades genom länken. Det var även önskvärt att få signalerna att färdas genom så få olika media som möjligt bortsatt från släpringen och dess sladdar, detta för att minska bildningen av reflektioner från delar av länken som inte skulle tas hänsyn till.

Då det inte fanns tid till att låta en ny släpring rotera ett antal miljoner varv så användes en släpring som sedan tidigare inte hade klarat av att upprätthålla kravspecifikationerna, efter att ha roterat tre miljoner varv. Anledningen till att den släpringen valdes att användas trots att den inte klarat av sina kravtester var för att det ville undersökas om en släpring kunde hantera signaler med de frekvenser som sensorn skickade, efter att ha roterat ett antal miljoner varv. Det fanns misstankar att slitaget på släpringen skulle ha en stor påverkan på dess förmåga att hantera signaler med hög hastighet. Om en släpring som inte klarat av sina kravtester fortfarande kunde hantera de serielagda signalerna med hög hastighet så kunde det tala för att livslängden i sämsta fall var minst tre miljoner varv.

## 4.2 Ögondiagram och jitterhistogram

När det inte fungerade att få fram informationen från sensorn till datorn så valdes det att titta i mjukvaran efter felmeddelanden för att få en uppfattning om vad det var för fel på signalerna. Till synes skiljde det inte mycket på signalerna då en släpring användes och då en partvinnad kabel användes, när spänningsnivåerna undersöktes i oscilloskopet Lecroy HDO6104A. I Lecroy HDO6104A var det problematiskt att få en bra uppfattning om hur signalerna egentligen såg ut, då det inte gick att få fram bra ögondiagram, och inte heller

gick det att se signalernas övertoner (då oscilloskopet inte hade tillräckligt hög mätprecision). De felmeddelanden som kunde ses i mjukvaran gav bara informationen att mjukvaran inte kunde tolka signalerna, de gav inte information angående varför. Det bedömdes att det skulle användas ett oscilloskop av modell Tektronix MSO 72504DX istället för Lecroy HDO6104A, då detta hade en mätfrekvens på 25 GHz, och bättre inställningar för att få fram ögonogram. Det misstänktes att det skulle kunna synas större skillnader på signalerna i Tektronix MSO 72504DX när länken mellan serialiseraren och de-serialiseraren var uppbyggd på de olika sätt som studerades.

Utvärderingen av de ögonogram som analyserades gjordes med hänsyn till olika parametrar som var dokumenterade i datablad för serialiseraren och de-serialiseraren, se bilaga 1 och 2. De databärande signalerna på serialiseraren uppmättes främst för att användas som referensbilder när det skulle undersökas hur signalerna såg ut efter de passerat länken med släpringen. De parametrar som undersöktes hos signalerna som mättes vid de-serialiseraren var stig- och falltider, jitter och spänningsnivåer.

Ögonogram gjordes då dessa ger värdefull information om signalers kvalitet, samt så kan det via ögonogram på ett enkelt sätt säkerställas om signaler håller de kravspecifikationer som finns. Ögonogram mättes upp för de olika uppsättningar som det gjordes då jämförelser mellan dessa var det som antogs skulle ge mest information angående släpringens påverkan på länken. En undre gräns för spänningen gällande vad oscilloskopet skulle detektera sattes upp då det inte var önskvärt att få med spänningsnivåer som inte bar någon sensorinformation för serialiseraren och de-serialiseraren. Sättet som den serDes-krets som användes fungerade på var att det skedde kommunikation mellan enheterna via signaler med en konstant frekvens på 1,5 GHz. Det visade sig att den sensor som användes inte skickade information av en mängd som krävde kontinuerligt informationsflöde med en hastighet på 1,5 GHz mellan serialiseraren och de-serialiseraren. Det kunde ibland ses tydligt på oscilloskop att det inte skickades någon information mer än vad som troddes vara kontrollsignaler av betydligt lägre spänning än de databärande signalerna, för att bekräfta att länken fortfarande var uppkopplad. Då det ibland inte skickades databärande signaler så kunde det inte skapas ögonogram för hur signalerna såg ut endast då det skickades databärande signaler, utan att sätta en undre gräns på spänningsnivåer som skulle detekteras av oscilloskopet. Vad som hände om ingen undre gräns sattes på oscilloskopet var att det ficks fram ögonogram som var en kombination av databärande signaler och slumpmässiga signaler med lägre spänning som inte var av intresse att studera.

Jitterhistogrammen som gjordes tillsammans med ögonogrammen gjordes då det var av intresse att se hur signalerna förhöll sig till kravspecifikationerna för jitter, för de olika länkuppsättningarna. Det var även av intresse att studera vilken påverkan en släpring har på jitter för signalerna med de frekvenser som sensorns signaler hade.

### 4.3 Impedans- och frekvensanalys

Impedansanalys för länken då släpringen var installerad gjordes för att det skulle fås fram information angående den karakteristiska impedansen för de olika media som signaler färdades igenom. Om det finns olikheter i karakteristisk impedans så finns det teoretisk grund till att det bildas reflektioner, som kunde ses i ögondiagrammen. Det valdes att göra impedansanalyser med släpringen och dess kontakter då det är på så vis släpringen används i färdig produkt. Vidare så sågs det även till att den enda vägen som genererade signaler från instrumentet kunde gå var genom länken med släpring, för att det skulle fås så pålitliga mätvärden som möjligt. Hade det funnits andra vägar för signalerna att gå hade dessa vägar och eventuella reflektioner i dem påverkat resultatets utseende, och därmed sänkt pålitligheten. Det valdes att låta frekvenserna i impedansanalysen gå från 300 MHz till 10 GHz då det var av värde att se vilka utvecklingsmöjligheter som fanns. I framtiden kommer den sensor som användes för att skicka signaler att få högre upplösning och därmed skicka signaler med högre frekvens. Av impedansanalyserna så gjordes det en analys med en öppen ändpunkt, och en analys med kortsluten ändpunkt. Anledningen till varför det gjordes två olika impedansanalyser på det sätt som det gjordes var för att det skulle säkerställas att hela länkens impedans kunde ses i det fönster som mätresultaten visade i instrumentet. Det kunde enkelt i fönstret i figur 27 tillsammans med figur 26 noteras var länkens ändpunkt var i mätresultatet.

Kalibreringarna och referensmätningarna i impedansanalysen gjordes för att pålitligheten i mätningarna skulle öka. Kalibreringarna av typerna; öppen, kortsluten och belastad med ett motstånd på 50 ohm gjordes. Det gjordes även kalibreringar då instrumentets kablar var kopplade ihop med varandra. De typer av kalibreringar som gjordes resulterar i att instrumentet får en bra uppfattning om var dess egna kablar slutar och var enheten som är under testning börjar. Det var inte av intresse att få med instrumentets kablar i mätningarna. Vidare så gjordes det även tester för att se hur mycket energi som gick förlorat i länken, beroende på frekvens, för att dels få mer information för att se om mätvärdena var pålitliga och dels för att det var av intresse att se vilka utvecklingsmöjligheter som fanns gällande hur högupplöst sensor det går att använda innan signalerna blir försvagade till den grad då de inte längre uppfyller kraven för produkten.

### 4.4 Utmaningar under examensarbetet

Den största utmaning som stöttes på under examensarbetets gång var att lösa problemet som var att det inte gick att få fram information från sensorn till datorn, direkt då den hade kopplats in på länken med släpring. Det som visade sig fungera var att se till att de databärande kablarna hos släpringen var lika långa, med millimeterprecision. När länken med släpring hade testats så hade det innan korrigering skiljt på några få millimeter i totala längden för de databärande kablarna, varför de differentiella signalerna hade tolkats fel. Det kunde dock

inte ses på spänningsnivåerna som studerades i oscilloskop av modell Lecroy HDO6104A att de differentiella signalerna inte var synkroniserade.

## 5 Resultat

### 5.1 Sensortester

Tabeller 1, 2 samt 3 visar om serDes-kretsen har registrerat signaler som den ej kan tolka, efter att sensorn skickat information under rotation med specifik hastighet, efter specifik tid.

Tabell 1: Tabellen visar om sensorn hade stängts av eller inte under den tid som testet gjordes. Sensorn roterade med en hastighet på tre varv per minut.

Tid [tim:min]	OK/Ej OK
0:20	OK
1:40	OK
2:40	OK
3:40	OK

Tabell 2: Tabellen visar om sensorn hade stängts av eller inte under den tid som testet gjordes. Sensorn roterade med en hastighet på tio varv per minut.

Tid [tim:min]	OK/Ej OK
1:40	OK
2:40	OK
3:40	OK

Tabell 3: Tabellen visar om sensorn hade stängts av eller inte under den tid som testet gjordes. Sensorn roterade med en hastighet på tio varv per minut.

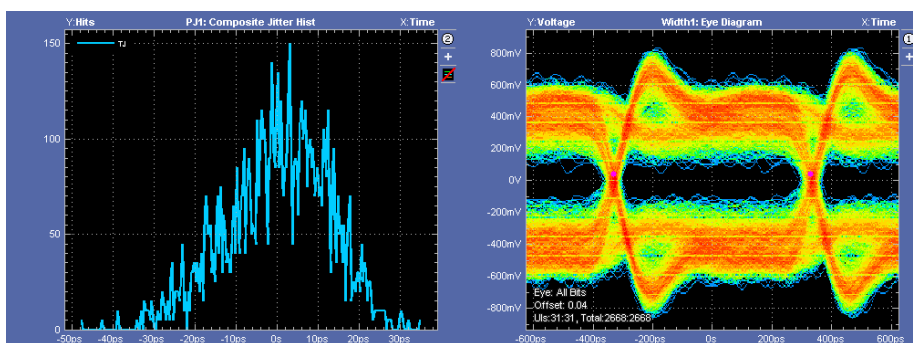
Tid [tim:min]	OK/Ej OK
18:40	OK

## 5.2 Ögonogram och jitterhistogram

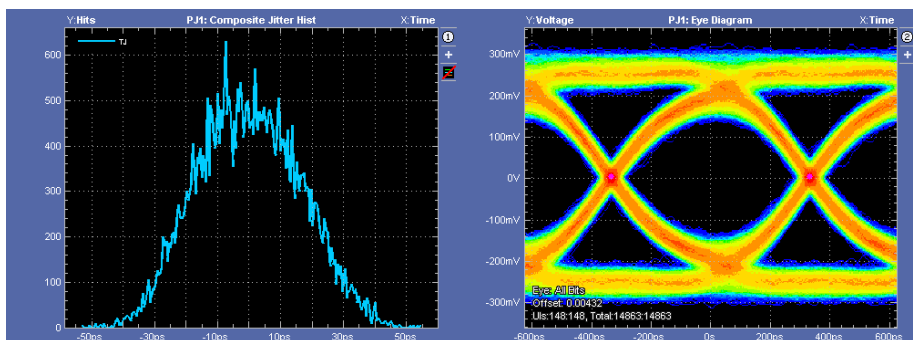
Resultaten visar hur ögonogram och jitterhistogram ser ut för de olika te-stuppsättningarna, när de först var statiska för att sedan roteras (i samma mätning).

### 5.2.1 Ögonogram och jitterhistogram med partvinnad kabel

När ögonogram och jitterhistogram gjordes på serialiseraren med uppställning enligt figur 12 så var totala jittert som minst -48 ps och som högst 35 ps och stig- och falltider var 80 ps, se figur 16. När det mättes på de-serialiseraren med uppställning enligt figur 12 så hade öppningen i ögonogrammet spänningsnivåer från -142 mV till 142 mV, se figur 17.



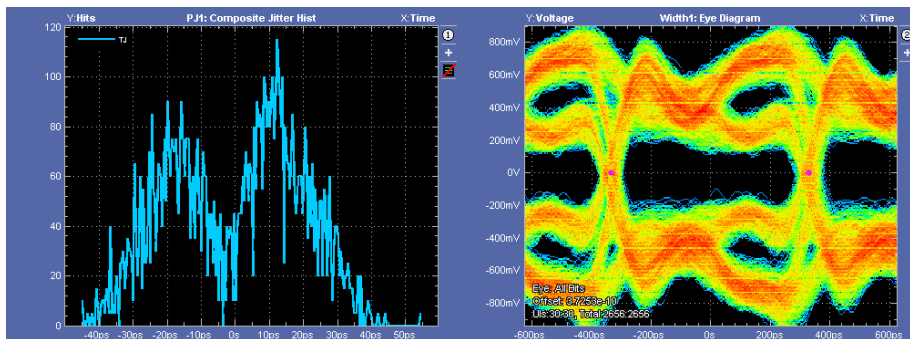
Figur 16: Ögonogram samt jitterhistogram på serialiseraren med uppställning enligt figur 12.



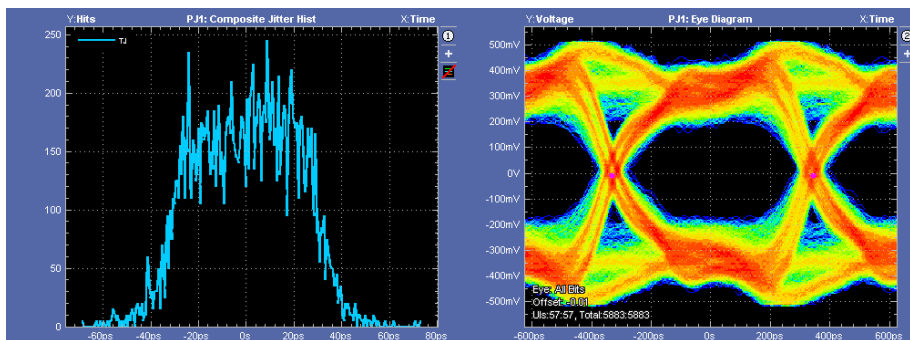
Figur 17: Ögonogram samt jitterhistogram på de-serialiseraren med uppställning enligt figur 12.

### 5.2.2 Ögondiagram och jitterhistogram på ny släpning

När ögondiagram och jitterhistogram gjordes på serialiseraren med uppställning enligt figur 13 så var totala jittert som minst -45 ps och som högst 55 ps och stig- och falltider var 80 ps, se figur 18. När det mättes på de-serialiseraren med uppställning enligt figur 13 så hade öppningen i ögondiagrammet spänningsnivåer från -170 mV till 180 mV, se figur 19.



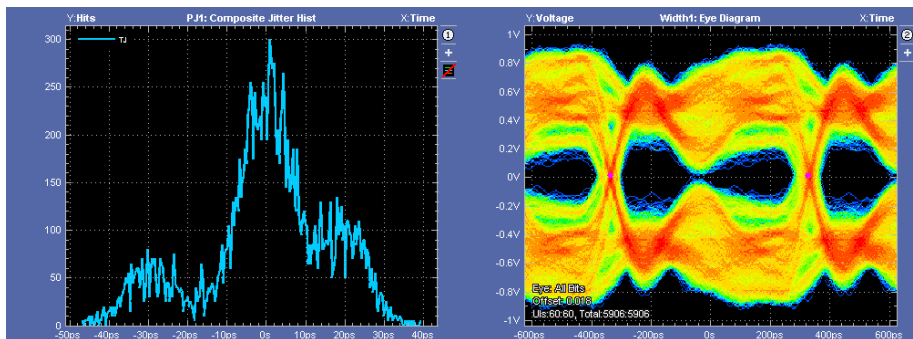
Figur 18: Ögondiagram samt jitterhistogram på serialiseraren med uppställning enligt figur 13.



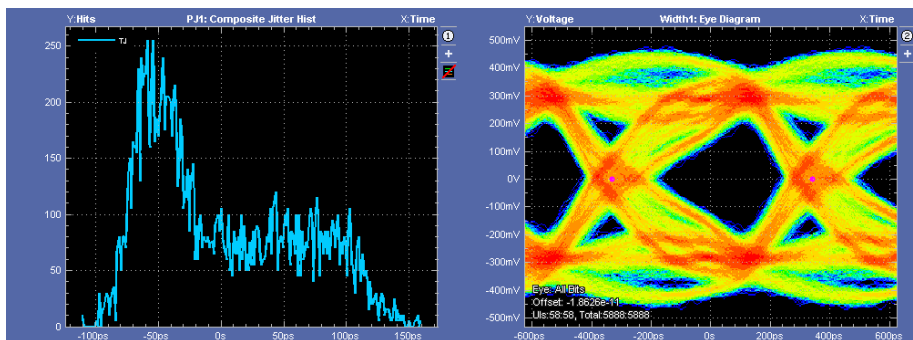
Figur 19: Ögondiagram samt jitterhistogram på de-serialiseraren med uppställning enligt figur 13.

### 5.2.3 Ögonogram och jitterhistogram med släpningssladd

När ögonogram och jitterhistogram gjordes på serialiseraren med uppställning enligt figur 14 så var totala jitter som minst -47 ps och som högst 39 ps och stig- och falltider var 100 ps, se figur 20. När det mättes på de-serialiseraren med uppställning enligt figur 14 så hade öppningen i ögonogrammet spänningsnivåer från -120 mV till 120 mV, se figur 21.



Figur 20: Ögonogram samt jitterhistogram på serialiseraren med uppställning enligt figur 14.

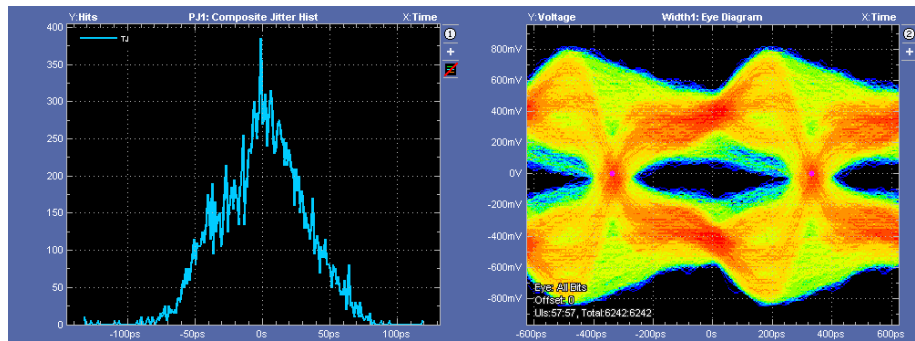


Figur 21: Ögonogram samt jitterhistogram på de-serialiseraren med uppställning enligt figur 14.

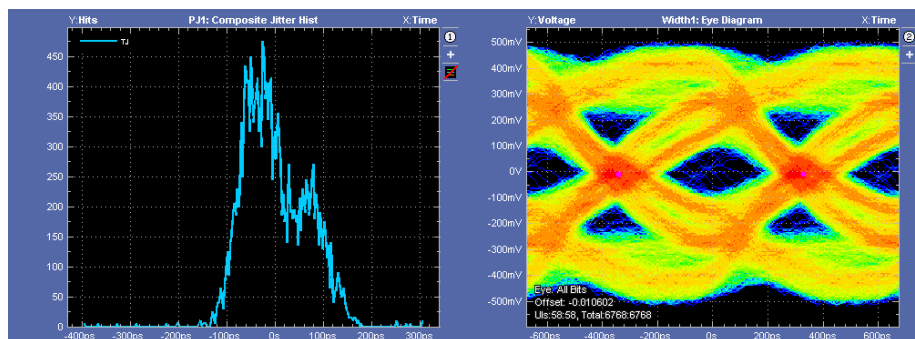


### 5.2.4 Ögonogram och jitterhistogram på släpning som roterat tre miljoner varv

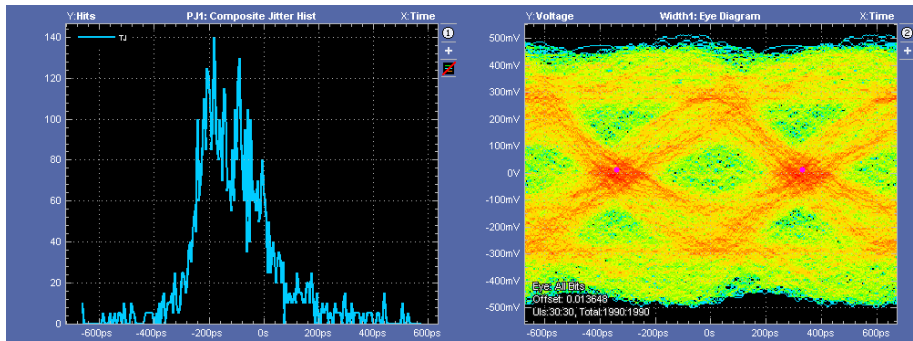
När ögonogram och jitterhistogram gjordes på serialiseraren med uppställning enligt figur 13, med en släpning som roterat tre miljoner varv, så var totala jitteret som minst -130 ps och som högst 120 ps och stig- och falltider var 150 ps, se figur 22. När det mättes på de-serialiseraren med uppställning enligt figur 13, med en släpning som roterat tre miljoner varv, så hade öppningen i ögonogrammet spänningsnivåer från -80 mV till 85 mV, se figur 23. Vid rotation av släpningen så stängdes kameran av och ögonogrammen på de-serialiseraren visade värden där de differentiella spänningsnivåerna i ögonens öppning ej kunde säkerställas, se figur 24.



Figur 22: Ögonogram samt jitterhistogram på serialiseraren med uppställning enligt figur 13 med en släpning som roterat tre miljoner varv.



Figur 23: Ögonogram samt jitterhistogram på de-serialiseraren med uppställning enligt figur 13 med en släpning som roterat tre miljoner varv.



Figur 24: Ögonogram samt jitterhistogram på de-serialiseraren från att först vara stationär till att sedan rotera, med uppställning enligt figur 13 med en släpning som roterat tre miljoner varv.

## 5.3 TDR-mätningar

### 5.3.1 Referensmätning för impedansanalys

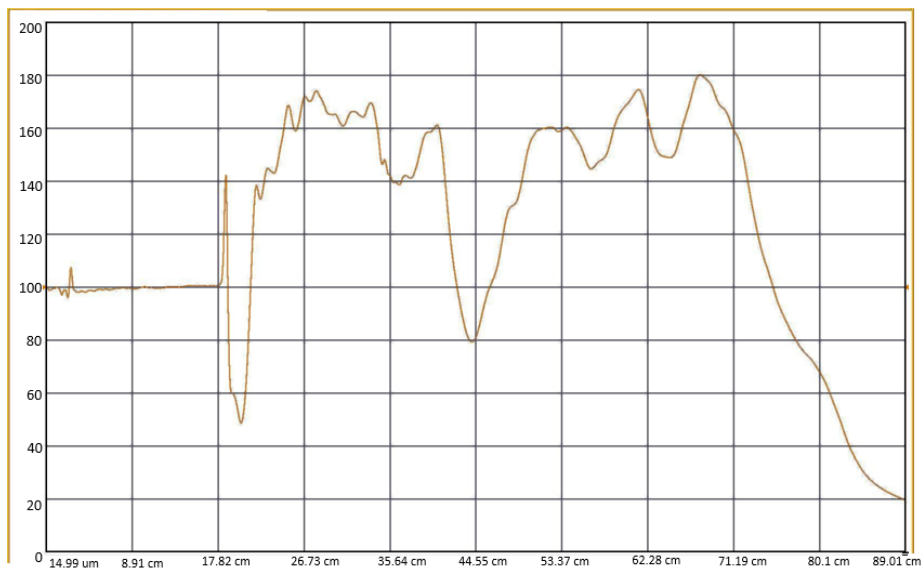
Referenstest med instrumentet för att göra TDR-mätningar, då det skulle mätas upp ett värde på 100 ohm, se figur 25.



Figur 25: Kalibrering av mätutrustning inför TDR-mätningar, med öppen ändpunkt. Y-led visar karakteristisk impedans i ohm [ $\Omega$ ]. X-led visar placering i den länk som mätningen görs på, med startpunkt i instrumentets kabelkontakt, i enhet meter [m].

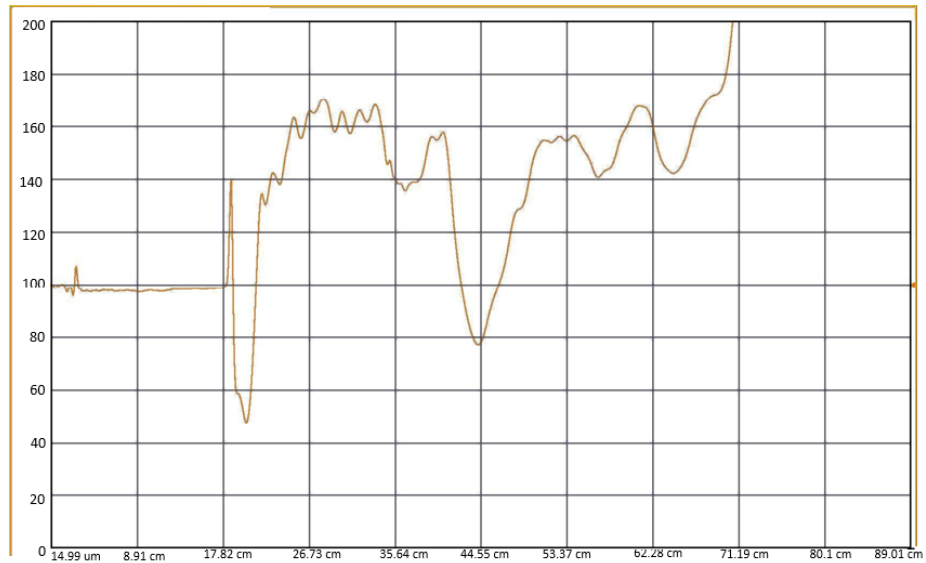
### 5.3.2 Impedansanalyser på släpring

Resultat då det gjordes impedansanalyser med kortsluten ändpunkt, på ny släpring, visas i figur 26.



Figur 26: TDR-mätning över släpring med en kortslutning på den bortre änden i mätuppställningen. Uppställning enligt figur 15. Y-led visar karakteristisk impedans i ohm  $[\Omega]$ . X-led visar placering i den länk som mätningen görs på, med startpunkt i instrumentets kabelkontakt, i enhet meter  $[m]$ .

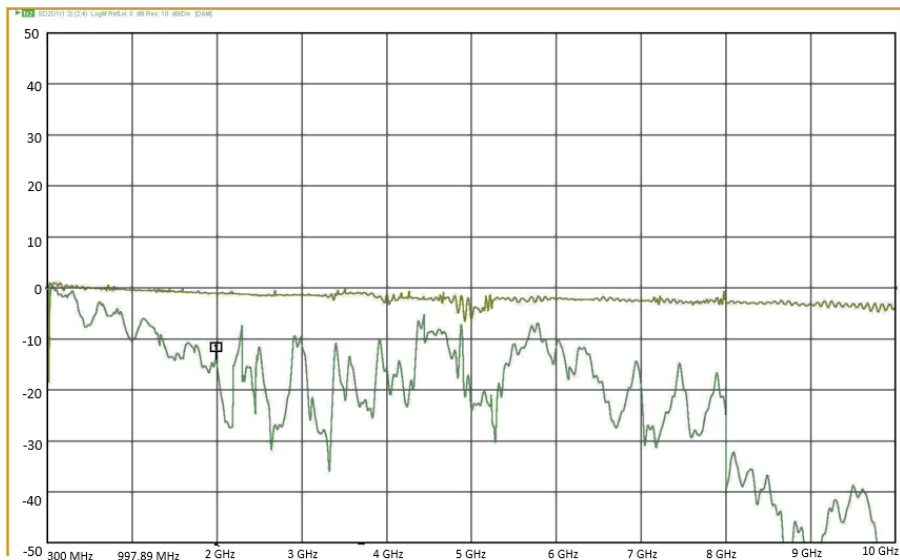
Resultat då det gjordes impedansanalyser med öppen ändpunkt, på ny släpning, visas i figur 27.



Figur 27: TDR-mätning över släpning med en öppen krets på den bortre änden i mätupställningen. Uppställning enligt figur 15. Y-led visar karakteristisk impedans i ohm  $[\Omega]$ . X-led visar placering i den länk som mätningen görs på, med startpunkt i instrumentets kabelkontakt, i enhet meter  $[m]$ .

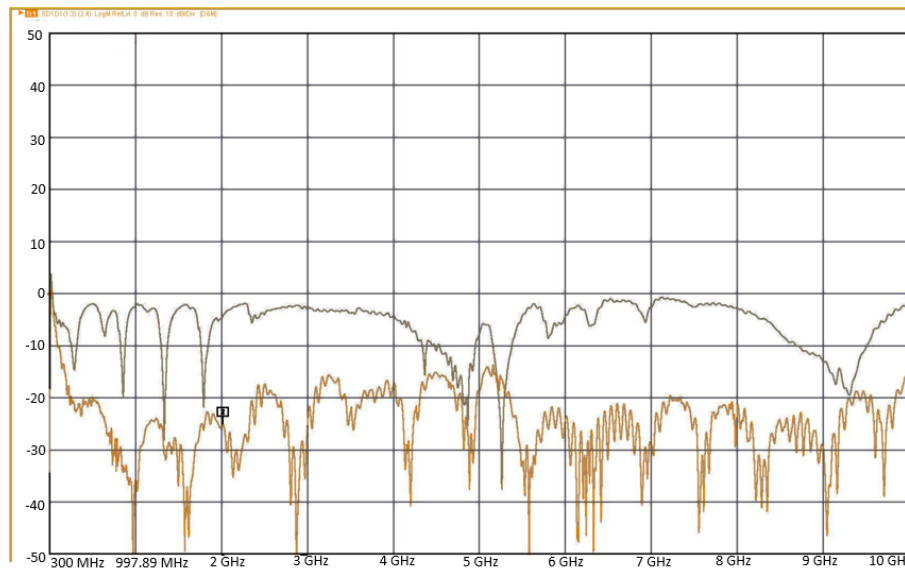
## 5.4 Frekvensanalys på släpringslänk

Resultatet från när det gjordes ett frekvenssvöp för att undersöka energin som gick förlorad i en släpring, beroende på frekvens, kan ses i figur 28.



Figur 28: Ett frekvenssvöp som visar den energin som kommit igenom länken som testas, för respektive frekvens. Den nedre kurvan visar den energin som kommit igenom länken med släpringen för respektive frekvens. Den övre kurvan visar kalibreringskurvan. Y-led visar förluster i enhet decibel [dB], X-led visar frekvens i enhet hertz [Hz].

Resultatet från det frekvenssvep som gjordes för att undersöka reflektionsbildningar i släpringen beroende på frekvens visas i figur 29.



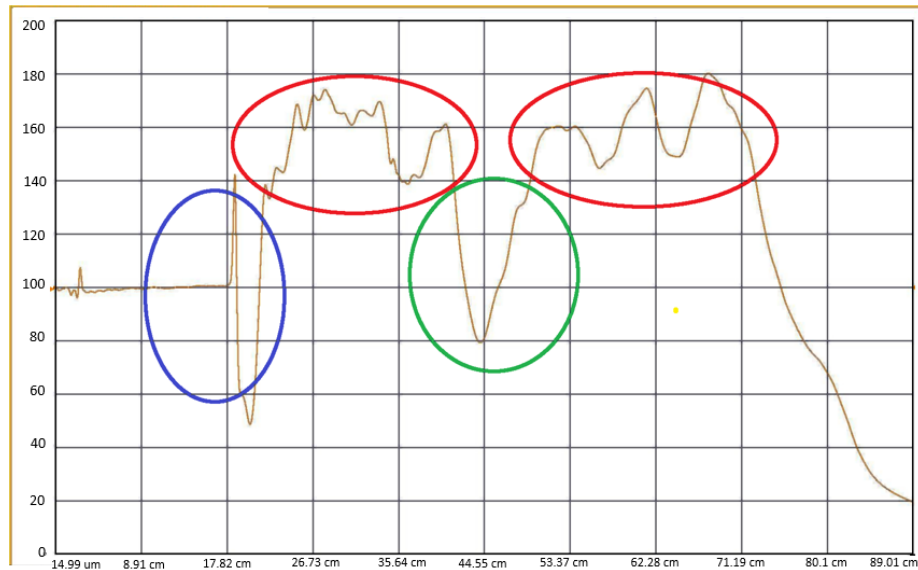
Figur 29: Ett frekvenssvep som visar den reflekterade energin i länken som testas, för respektive frekvens. Den nedre kurvan visar kalibreringskurvan och den övre visar energin som reflekteras i länken med släpringen. Y-led visar reflektioner i enhet decibel [dB], X-led visar frekvensi enhet Hertz [Hz].

## 6 Slutsats

Resultatet från stationärt och roterande sensortest talar för att en länk som består av en ny släpring utan problem kan skicka databärande differentiella signaler med den frekvens som det gjordes i testerna. Länken då en släpring är inkopplad kan även utan problem hantera serielagda signaler från en sensor med den upplösningen som är aktuell att använda i produkt. Testerna som gjordes talar även för att en axel i släpringen kan låta roteras fritt, utan att signalkvaliteten försämras till en grad så att informationen från sensorn inte fås fram till den dator som är inkopplad.

I resultatet för impedansanalyserna som gjordes så visar kalibreringstestet ett positivt resultat i den mån att det uppmättes det förväntade värdet 100 ohm, se figur 25. I figur 26 och 27 görs det tydligt var släpringens kontakt i enda ändpunkten börjar och var släpringens kontakt i andra ändpunkten slutar, genom att det gjorts mätningar med öppen och kortsluten ändpunkt. Släpringens symmetri gör det tydligt vilka delar i figurerna från impedanstestet som representerar vad i verkligheten hos släpringen, se figur 30. Impedansanalysen tolkas på så vis att släpringsmekanismen i sig inte är så högimpediv som det misstänkts sedan tidigare. Vad som ses är dock att de kablar som släpringen använder sig av har en skillnad i karakteristisk impedans på cirka 80 ohm jämförelsevis med släpringsmekanismen, varför det finns underlag till att det bildas reflektioner i länken.





Figur 30: TDR-mätning över släpring med en kortslutning på den bortre änden i mätupställningen. Röd markering är släpringskablar, grön markering är släpringsmekanismen och blå markering är inlödningen till släpringskontakten på PCBet.

Det gjordes även ett frekvenssvep där det undersöktes vilka frekvenser som en släpring med sina kablar och kontakter kan hantera. Resultatet från frekvenssvepet som gjordes talar för att släpringen dämpar reflektioner relativt dåligt i hela det spann som undersöktes. Det finns en dämpning med upp till 20 dB som med jämna mellanrum förekommer upp till dess att frekvensen når cirka 2 GHz, varpå mätningen visar på att det bildas mycket reflektioner. Frekvenssvepet talar dock för att det finns karakteristik i släpringen som får den att inte generera lika mycket reflektioner då signaler skickas i frekvenser mellan cirka 4-6 GHz samt 8-10 GHz. Med hänsyn till figur 28, som visar hur mycket energi som går förlorad i släpringen beroende på frekvens, så finns det dock anledning att inte tro att resultatet från hela frekvenssvepet är tillförlitligt. Utseendet för kurvan i figur 28 efter cirka 2 GHz antar ett onaturligt beteende för denna typ av mätning, genom att tala för att det skall gå mindre energi förlorad då frekvensen ökas. Brytpunkten för när kurvan i figur 28 börjar bete sig irreguljärt är densamma som när kurvan som beskriver reflektionsbildningen i släpringen i figur 29 även börjar anta ett utseende som inte anses vara normalt. En möjlig anledning till utseendet för de två kurvorna kan vara att de kontakter som används i släpringen inte är designade för att hantera signalfrekvenser som är högre än 2 GHz, varför de efter den frekvensen förstör mätningarna. Vad gäller kalibreringarna för de olika mätningar som gjordes så talar resultaten för att kalibreringarna är gjorda på rätt sätt, då de referensmätningar som är gjor-

da visar de mätresultat som det förväntas. För att säkerställa att mätvärdena är korrekta så kan det användas en signalgenerator för att generera signaler med bestämd frekvens och skicka dem igenom släpningen för att sedan studera eventuella reflektionsbildningar, vilket diskuteras mer i sektionen för framtida utvecklingsmöjligheter.

I resultatet från ögonogrammen och jitterhistogrammen syns det att då det används en partvinnad kabel i länken mellan serialiseraren och de-serialiseraren så uppfylls alla de kravspecifikationer som finns för serialiseraren samt för de-serialiseraren vad gäller spänningsnivåer, jitter samt stig- och falltider. Resultatet för när länken består av en partvinnad kabel anses vara väntade, då denna uppsättning används som referens vad gäller hur signalerna ser ut i ett optimalt fall.

Vad gäller resultatet från ögonogrammen och jitterhistogrammen för länken då den bestod av uppsättningen enligt figur 18 så kan det tydligt ses reflektionsbildningar när det mättes på serialiseraren som är den enhet som skickar signaler. Då de impedansanalyser som gjorts visar på att det finns skillnader i karakteristisk impedans i de media som finns i länken så är det fullt rimligt att det bildas reflektioner. Vad som kan ses är att signalerna på både serialiseraren och de-serialiseraren skiljer sig från det optimala fallet, men att de fortfarande förhåller sig positivt till de kravspecifikationer som finns vad gäller stig- och falltider, jitter och spänningsnivåer, med goda marginaler. Resultatet från ögonogrammen som är gjorda då en släpning är inkopplad, tillsammans med de sensortester som gjordes då en släpning var inkopplad, svarar positivt på den frågeställning där det undras om en släpning kan användas när det skickas serielagda signaler av specifik typ från den sensorn som används. Vidare så kommer lösningen med en serDes-krets att resultera i att det kommer att kunna flyttas komponenter från det roterande kretskortet till det stationära, varför produktens kompakthet och kylningsförmåga kommer att förbättras avsevärt. Förändringarna i produktens design kommer att kunna göras utan att prestandan för produkten sänks. Resultatet från mätningarna talar även för att det kan användas ett programmerbart FPGA-kort i båda ändarna om släpningen för att omfördela signalerna från det att det krävs 20 guldringar till det att det krävs färre guldringar. Anledningen till att det troligtvis hade fungerat med FPGA-kort är att det med dessa hade skickats signaler med lägre frekvenser än 1,5 GHz, i och med att informationen från sensorn inte skickade kontinuerlig information från sensorn då signalerna skickades med en frekvens på 1,5 GHz. Lösningen med FPGA-kort hade även resulterat i samma ändringar i design som en serDes-krets, varför frågeställningarna angående FPGA-kort även är besvarade positivt.

När det gjordes tester då det endast användes släpningsskablar i länken, och inte släpningen i sig, så kunde det ses att ögonogrammen var betydligt sämre än då släpningen i sig även var inkopplad. Resultaten talar för att det är släpningsskablar som är dåliga på att hantera signaler med hastighet på 1,5

GHz, och inte släpringen i sig. Det skall dock noteras att det användes kablar som var ett par centimeter längre då det framställdes ögonogram och jitter-histogram med släpringskablarna, än vad de kablarna var då länken bestod av en släpring.

Ögonogrammen och jitterhistogrammen på den släpring som var av samma model, men som hade låtit rotera tre miljoner varv, visar på att den vid stationärt tillstånd fortfarande klarar av de kravspecifikationer som finns vad gäller jitter och spänningsnivåer. Vad gäller stig- och falltider så kan det inte göras tillförlitliga mätningar då kurvorna har den spridning som de har. Vid inkoppling till dator så kunde information från sensorn fås fram utan problem i det statistiska tillståndet. Vad som ses vid jämförelse av figur 18 och 22 samt vid jämförelse av 19 och 23 syns det tydliga förändringar i signalerna utseende, som orsakats av slitaget från miljontalet rotationer. När ögonogram och jitterhistogram gjordes vid statistiskt tillstånd så stängdes inte serDes-kretsen av, vilket tyder på att signalerna upprätthöll nödvändig kvalitet. Figur 24 visar på hur ögonogram har börjats att registreras först under ett stationärt tillstånd, för att sedan registrera ögonogram under rotation. Vid rotation började signalerna uppträda oregelbundet, vilket syns tydligt i figuren, och serDes-kretsen stängde av sig automatiskt då datorn inte kunde tolka signalerna som skickades från sensorn. Livslängden för den specifika släpringen översteg alltså inte tre miljoner varv, varför det inte kunde säkerställas att en släpring som klarar sina tester för kravspecifikationer har en livslängd på över tre miljoner varv. Det är dock inte bekräftat att en släpring av den typ som användes, har kortare livslängd än tre miljoner varv då den släpring som användes var av ett slag som sedan tidigare inte klarat av sina tester och var därför defekt.

Sammanfattningsvis så kan det konstateras att det går att implementera en lösning där serielagda signaler av en specifik typ kan skickas även en släpring där det endast krävs fyra guldringar, och denna kan uppfylla krav för prestanda, signalkvalité och kompakthet. Det kan även implementeras en lösning där ett FPGA-kort används i båda ändarna av länken för att reducera antalet guldringar som krävs för att överföra samma information, och denna kan uppfylla krav för prestanda, signalkvalité och kompakthet. Det är dock inte önskvärt att använda en lösning med FPGA-kort då det fungerar att använda en serDes-krets, vilket är smidigare. Om det kan implementeras en optisk eller annan typ av lösning som uppfyller krav för prestanda, signalkvalité och kompakthet, diskuteras vidare i framtida utvecklingsmöjligheter.

## 6.1 Reflektion över etiska aspekter

### 6.1.1 Konfidentiell information

Konfidentiell information är information som är extra känslig för ett företag. Konfidentiell information skulle kunna vara ritningar eller andra hemliga dokument. Under examensarbetets gång stöttes det på mycket konfidentiell in-

formation. Den konfidentiella information som stöttes på fick inte på något vis spridas vidare utanför Företaget, varför examensarbetsrapporten är begränsad i vissa beskrivningar och förklaringar. För att säkerställa att informationen inte spreds vidare skrevs det på ett avtal, som innefattade en tystnadsplikt, mellan examensarbetarna och Företaget.

### **6.1.2 Samhällsnytta**

Vid ett lyckat examensarbete kan Företaget göra en produkt som är mer kompakt, som har bättre utvecklingsmöjligheter och som kräver mindre åtgång av material. Att produkten i sig får bättre utvecklingsmöjligheter gör att världen kan få större nytta av den, och att den kräver mindre åtgång av material gör den mer miljövänlig, samtidigt som det borde sänka priset på produkten. Om priset på produkten sänks så blir den en mer tillgänglig produkt för fler personer och företaget, varför den kan på så vis göra mer samhällsnytta.

### **6.1.3 Hederskodex**

En av ingenjörernas tio hederskodexar lyder "Ingenjören bör sträva efter att förbättra tekniken och det tekniska kunnandet i riktning mot ett effektivare resursutnyttjande utan skadeverkningar.". Examensarbetet gick ut på att se om det fanns möjlig optimering av en lösning mellan roterande och stationära kretskort. Om optimering var möjlig skulle det medföra bättre utvecklingsmöjligheter och ökad kompakthet, tillsammans med mindre materialåtgång för samma prestanda och det i sig leder till ett mer effektivt resursutnyttjande utan skadeverkningar.

## **6.2 Framtida utvecklingsmöjligheter**

Under examensarbetets arbetsgång fanns det inte tid att undersöka nedanstående lösningar eller tester. De nämns nedan som möjliga utvecklingsmöjligheter och ytterligare säkerställanden för kommande arbete inom signalöverföring över en roterande länk.

### **6.2.1 Test med signalgenerator**

För att ytterligare testa en släprings egenskaper vid högre frekvenser utan att behöva tillhandahålla en sensor med högre upplösning samt som skall vara kompatibel med lämplig serDes-krets så kan en signalgenerator användas. På en signalgenerator kan bithastigheten på exempelvis en fyrkantsvåg ställas in till önskad hastighet. Kopplas släpringen in med signalgeneratoren på ena sidan och ett oscilloskop på andra sidan som mäter signalkvaliteten så kan det ses vid vilken bithastighet signalen inte håller kravspecifikationen. Ett signalgeneratortest skulle bekräfta att frekvensspeket är korrekt då ögondiagrammen för signalerna skulle sett bra ut vid frekvenserna där reflektionsdämpningen är låg.

### 6.2.2 Optisk överföring

En optisk överföring hade exempelvis kunna byggas med en optisk sändare och en optisk mottagare. Elektriska signaler från det sändande kretskortet hade behövts översättas till ljussignaler som skulle överförts mellan den optiska sändaren och mottagaren. När överföringen hade kommit till mottagaren hade den behövts översättas till elektriska signaler igen för att det andra kretskortet skulle kunna tolka signalen. Istället för en släpring med mekanisk överföring hade då en optisk överföring haft markant mindre slitage. Då det inte hade varit samma slitage hade den optiska lösningen haft en betydligt längre hållbarhetstid. I släpringen användes det två differentiella signaler medan i en optisk lösning hade det krävts en överföring istället för två. Det hade dock behövts titta vidare på hur strömförsörjningen skulle förts mellan sensorn och sensorns huvudkort. En möjlig lösning skulle vara att fortfarande använda en släpring för att överföra strömförsörjningen. I framtiden önskas troligen sensorer med högre upplösning och då kommer bithastigheten att behöva vara högre. Släpringens signalöverföring blir sämre och sämre vid ökad bithastighet och en optisk överföring har potential för betydligt högre bithastigheter.

## 7 Terminologi

**Persistens** - Beständighet.

**CML** - Current Mode Logic.

**DM** - Differential Mode.

**CM** - Common Mode.

**TDR** - Time Domain Reflectometry.

**serDes-krets** - Krets med serialiserare och de-serialiserare.

**CPU** - Central Processing Unit.

**FPGA** - Field-Programmable Gate Array.

**PCB** - Printer Circuit Board.

**USB** - Universal Serial Bus.

**bps** - Bits per second.

**SMA** - SubMiniature version A.

**ps** - pikosekund.

**ms** - millisekund.

**IEEE** - Institute of Electrical and Electronics Engineers.

**SNR** - Signal to Noise Ratio.

## 8 Källförteckning

- [1] Onsemi. *Understanding Data Eye Diagram Methodology for Analyzing High Speed Digital Signals*. URL: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9075-D.PDF>. (Hämtad: 2020-04-20).
- [2] Jose Schutt-Aine. *Jitter Analysis*. URL: [http://emlab.uiuc.edu/ece546/Lect\\_24.pdf](http://emlab.uiuc.edu/ece546/Lect_24.pdf). (Hämtad: 2020-04-27).
- [3] Rui Shi m. fl. "Efficient and accurate eye diagram prediction for high speed signaling". I: *2008 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design*. IEEE. 2008, s. 655–661.
- [4] High Frequency Electronics. *Jitter—Understanding it, Measuring It, Eliminating It Part 1: Jitter Fundamentals*. URL: [https://www.highfrequencyelectronics.com/Apr04/HFE0404\\_Hancock.pdf](https://www.highfrequencyelectronics.com/Apr04/HFE0404_Hancock.pdf). (Hämtad: 2020-05-05).
- [5] Daniel Chow. *Jitter: Measurement References Matter*. URL: <https://www.edn.com/jitter-measurement-references-matter/>. (Hämtad: 2020-05-05).
- [6] Matteo Salgarello. *What is a Slip Ring?* URL: <https://www.servotecnica.com/en/component/zoo/what-is-a-slip-ring/>. (Hämtad: 2020-05-05).
- [7] All About Circuits. *Characteristic Impedance*. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-14/characteristic-impedance/>. (Hämtad: 2020-04-30).
- [8] All About Circuits. *Finite-length Transmission Lines*. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-14/finite-length-transmission-lines/>. (Hämtad: 2020-04-29).
- [9] HVT Technologies. *The Basics of Time Domain Reflectometry (TDR)*. URL: <https://hvtechnologies.com/blog/basics-time-domain-reflectometry-tdr>. (Hämtad: 2020-05-05).
- [10] EE Times. *Electrical noise and mitigation - Part 1: Noise definition, categories and measurement*. URL: <https://www.eetimes.com/electrical-noise-and-mitigation-part-1-noise-definition-categories-and-measurement/>. (Hämtad: 2020-05-05).
- [11] Cisco Press. *CCNA: Network Media Types*. URL: <https://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=31276>. (Hämtad: 2020-05-05).
- [12] Carsten Pinkle. *The Why and How of Differential Signaling*. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/the-why-and-how-of-differential-signaling/>. (Hämtad: 2020-05-05).
- [13] Maxim Integrated. *Introduction to LVDS, PECL, and CML*. URL: <https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN291.pdf>. (Hämtad: 2020-04-26).

- [14] Maxim Integrated. *MAX9271 16-Bit GMSL Serializer with Coax or STP Cable Drive*. URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX9271.pdf>. (Hämtad: 2020-05-08).
- [15] Maxim Integrated. *MAX9272A 28-Bit GMSL Deserializer for Coax or STP Cable*. URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX9272A.pdf>. (Hämtad: 2020-05-08).



## 9 Appendix

### 9.1 Bilaga 1 - Utdrag från datablad för serialiserarkretsen MAX9271

#### AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

( $V_{DVDD} = V_{AVDD} = 1.7V$  to  $1.9V$ ,  $V_{IOVDD} = 1.7V$  to  $3.6V$ ,  $R_L = 100\Omega \pm 1\%$  (differential), EP connected to PCB ground (GND),  $T_A = -40^\circ C$  to  $+105^\circ C$ , unless otherwise noted. Typical values are at  $V_{DVDD} = V_{AVDD} = V_{IOVDD} = 1.8V$ ,  $T_A = +25^\circ C$ )

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>I<sup>2</sup>C/UART AND GPIO PORT TIMING</b>						
I <sup>2</sup> C/UART Bit Rate			9.6	1000		kbps
Output Rise Time	$t_R$	30% to 70%, $C_L = 10pF$ to $100pF$ , $1k\Omega$ pullup to IOVDD	20	120		ns
Output Fall Time	$t_F$	70% to 30%, $C_L = 10pF$ to $100pF$ , $1k\Omega$ pullup to IOVDD	20	120		ns
Input Setup Time	$t_{SET}$	I <sup>2</sup> C only (Figure 6, Note 6)	100			ns
Input Hold Time	$t_{HOLD}$	I <sup>2</sup> C only (Figure 6, Note 6)	0			ns
<b>SWITCHING CHARACTERISTICS (Note 6)</b>						
Differential Output Rise/Fall Time	$t_R, t_F$	20% to 80%, $V_{OD} \geq 400mV$ , $R_L = 100\Omega$ , serial-bit rate = 1.5Gbps		250		ps
Total Serial Output Jitter (Differential Output)	$t_{TSOJ1}$	1.5Gbps PRBS signal, measured at $V_{OD} = 0V$ differential, preemphasis disabled (Figure 7)		0.25		UI
Deterministic Serial Output Jitter (Differential Output)	$t_{DSOJ2}$	1.5Gbps PRBS signal, measured at $V_{OD} = 0V$ differential, preemphasis disabled (Figure 7)		0.15		UI
Total Serial Output Jitter (Single-Ended Output)	$t_{TSOJ1}$	1.5Gbps PRBS signal, measured at $V_{O}/2$ , preemphasis disabled (Figure 3)		0.25		UI
Deterministic Serial Output Jitter (Single-Ended Output)	$t_{DSOJ2}$	1.5Gbps PRBS signal, measured at $V_{O}/2$ , preemphasis disabled (Figure 3)		0.15		UI
Parallel Data Input Setup Time	$t_{SET}$	(Figure 8)	2			ns
Parallel Data Input Hold Time	$t_{HOLD}$	(Figure 8)	1			ns
GPI-to-GPO Delay	$t_{GPIO}$	Deserializer GPI to serializer GPO (Figure 9)		350		$\mu s$
Serializer Delay (Note 7)	$t_{SD}$	(Figure 10)	Spread spectrum enabled	6880		Bits
			Spread spectrum disabled	3040		
Link Start Time	$t_{LOCK}$	(Figure 11)		2		ms
Power-Up Time	$t_{PU}$	(Figure 12)		7		ms

Figur 31: Utdrag från datablad för serialiserarkretsen MAX9271 som användes i lösningen med en serDes-krets. [14]

## 9.2 Bilaga 2 - Utdrag från datablad för de-serialiserarkretsen MAX9272A

### DC Electrical Characteristics (continued)

( $V_{AVDD} = V_{DVDD} = 1.7V$  to  $1.9V$ ,  $V_{IOVDD} = 1.7V$  to  $3.6V$ ,  $R_L = 100\Omega \pm 1\%$  (differential), EP connected to PCB ground,  $T_A = -40^\circ C$  to  $+105^\circ C$ , unless otherwise noted. Typical values are at  $V_{AVDD} = V_{DVDD} = V_{IOVDD} = 1.8V$ ,  $T_A = +25^\circ C$ .)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS	
Output Short-Circuit Current	$I_{OS}$	DOUT <sub>-</sub>	$V_O = 0V$ , DCS = 0	$V_{IOVDD} = 3.0V$ to $3.6V$	15	25	39	mA
			$V_{IOVDD} = 1.7V$ to $1.9V$	3	7	13		
		PCLKOUT	$V_O = 0V$ , DCS = 1	$V_{IOVDD} = 3.0V$ to $3.6V$	20	35	63	
			$V_{IOVDD} = 1.7V$ to $1.9V$	5	10	21		
			$V_O = 0V$ , DCS = 0	$V_{IOVDD} = 3.0V$ to $3.6V$	15	33	50	
			$V_{IOVDD} = 1.7V$ to $1.9V$	5	10	17		
<b>OPEN-DRAIN INPUTS/OUTPUTS (GPIO0/DBL, GPIO1/BWS, RX/SDA/EDC, TX/SCL/ES, ERR, LOCK)</b>								
High-Level Input Voltage	$V_{IH2}$			$0.7 \times V_{IOVDD}$			V	
Low-Level Input Voltage	$V_{IL2}$				$0.3 \times V_{IOVDD}$		V	
Input Current	$I_{IN2}$	(Note 3)	RX/SDA, TX/SCL	-110		+1	$\mu A$	
			LOCK, ERR, GPIO <sub>-</sub>	-80		+1		
			DBL, BWS, EDC, ES	-10		+20		
Low-Level Output Voltage	$V_{OL2}$	$I_{OUT} = 3mA$	$V_{IOVDD} = 1.7V$ to $1.9V$			0.4	V	
			$V_{IOVDD} = 3.0V$ to $3.6V$			0.3		
<b>OUTPUT FOR REVERSE CONTROL CHANNEL (IN+, IN-)</b>								
Differential High Output Peak Voltage, $(V_{IN+}) - (V_{IN-})$	$V_{ROH}$	No high-speed data transmission (Figure 1)		30		60	mV	
Differential Low Output Peak Voltage, $(V_{IN+}) - (V_{IN-})$	$V_{ROL}$	No high-speed data transmission (Figure 1)		-60		-30	mV	
<b>DIFFERENTIAL INPUTS (IN+, IN-)</b>								
Differential High Input Threshold (Peak) Voltage, $(V_{IN+}) - (V_{IN-})$	$V_{IDH(P)}$	(Figure 2)	Activity detector, medium threshold (0x22 D[6:5] = 01)			60	mV	
			Activity detector, low threshold (0x22 D[6:5] = 00)			45		
Differential Low Input Threshold (Peak) Voltage, $(V_{IN+}) - (V_{IN-})$	$V_{IDL(P)}$	(Figure 2)	Activity detector, medium threshold (0x22 D[6:5] = 01)	-60			mV	
			Activity detector, medium threshold (0x22 D[6:5] = 00)	-45				
Input Common-Mode Voltage $((V_{IN+}) + (V_{IN-}))/2$	$V_{CMR}$			1	1.3	1.6	V	
Differential Input Resistance (Internal)	$R_i$			80	105	130	$\Omega$	

Figur 32: Relevant utdrag från datablad för de-serialiserarkretsen MAX9272A, som användes i lösningen med en serDes-krets. [15]