

# Mirkastrategi för EMC

EMC i industrimiljö

Linus Grön

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

El- och automationsteknik

Vasa 2024

## EXAMENSARBETE

Författare: Linus Grön  
Utbildning och ort: El- och automationsteknik, Vasa  
Inriktning: Automationsteknik  
Handledare: Matts Nickull, Kari Lund

Titel: Mirkastrategi för EMC

---

Datum: 10.1.2024 Sidantal: 42 Bilagor: 2

---

### Abstrakt

Elektromagnetisk kompatibilitet, EMC, är ett återkommande ämne i dagens industrier. EMC definieras som en elektrisk apparats förmåga att samverka i en elektromagnetisk miljö med andra elektriska apparater. Beaktande av EMC blir bara viktigare och viktigare, ju större utsträckning ett elektriskt system har. De störningar som kan uppstå kan bidra till allt från problem med signaler till allvarliga maskin- och personsador. För att uppnå en elektromagnetiskt störningsfri miljö krävs åtgärder både i planeringsskedet av elektroniska apparater och i planering av elektriska installationer.

Syftet med examensarbetet, som utförs åt Mirka Oy, var att på ett grundläggande plan utföra en studie om varifrån elektromagnetiska störningar uppstår och hur de kan förebyggas samt åtgärdas om de redan har uppstått. En teoretisk del utformades utgående från detta, innehållande bakgrund om EMC, vanliga störfaktorer, former av test samt eventuella lösningar.

Även en praktisk analys av en maskinanläggning som ska genomgå en säkerhetsuppgradering utfördes för att fungera som riktlinje för ombygget av anläggningen. Denna analys baserades på informationen som tagits fram från den teoretiska studien i form av metoder och tekniker för att skapa en störningsfri miljö.

Den teoretiska grunden, i samband med den praktiska analysen, resulterade i en checklista som är ämnad att användas vid framtida elektriska installationer. Checklisten innehåller allmänna punkter och föreskrifter som bör följas för att uppnå en så god elektromagnetisk kompatibilitet som möjligt.

---

Språk: svenska

Nyckelord: elektromagnetisk kompatibilitet, elektromagnetiska störningar, elektroteknik.

## **BACHELOR'S THESIS**

Author: Linus Grön

Degree Programme: Electrical Engineering and Automation, Vaasa

Specialisation: Automation

Supervisor(s): Matts Nickull, Kari Lund

Title: Mirka Strategy for EMC

---

Date: 10.1.2024    Number of pages: 42    Appendices: 2

---

### **Abstract**

Electromagnetic compatibility, EMC, is a reoccurring subject in today's industries. EMC is defined as an electrical equipment's ability to cooperate in an electromagnetic environment with other electrical equipment. The consideration of EMC gets more and more important the more extensive an electrical system gets. The interference that may occur can contribute to many problems, ranging from problems with signals to serious machine and personnel damage. To achieve an electromagnetically interference-free environment, some measures are required in the planning stage of an electrical appliance as well as in the planning stage of an electrical installation.

The aim of this thesis, commissioned by Mirka Oy, was to on a basic level conduct a study of where electromagnetic interference stems from and how it can be prevented or rectified if already occurred. Based on this knowledge a theoretical study was formed, containing background information about EMC, common interference sources, testing techniques as well as possible solutions.

A practical analysis was also formed from an already existing machine plant, due to a safety upgrade, to work as a base and guideline for the electrical reconstruction. This analysis was based on the information from the theoretical research by way of methods and techniques to create an interference-free environment.

A combination of the theoretical research and the practical analysis resulted in a separate checklist meant for use in future electrical installations. The checklist contains general points of guidance and directives that should be followed to achieve as good electromagnetic compatibility as possible.

---

Language: Swedish

Keywords: electromagnetic compatibility, electromagnetic interference, electrical engineering.

## Innehållsförteckning

1	Inledning .....	1
1.1	Syfte .....	1
1.2	Avgränsning .....	1
1.3	Uppdragsgivare Mirka Oy .....	1
2	Bakgrund – Elektromagnetiska fält .....	2
3	EMC och EMI .....	3
3.1	Immunitet .....	3
3.2	Utstrålning/Emission .....	4
4	Direktiv och standarder .....	5
5	Vanliga elektromagnetiska störningar .....	6
5.1	Frekvensomvandlare .....	6
5.2	Övertoner .....	7
5.3	ESD .....	8
5.4	Radiostörning .....	9
5.5	Kabelbundna störningar .....	9
5.5.1	Lågfrekventa störningar (<10 kHz) .....	9
5.5.2	Mellanfrekventa störningar (10 kHz – 3 MHz) .....	9
5.5.3	Högfrekventa störningar (>3 MHz) .....	10
5.6	Kopplingsfaktorer för kabelbundna störningar .....	10
5.6.1	Närfält och fjärrfält .....	10
5.6.2	Konduktiv koppling .....	11
5.6.3	Induktiv koppling .....	12
5.6.4	Kapacitiv koppling .....	12
5.6.5	Magnetisk koppling .....	13
5.6.6	Koppling genom strålning .....	13
6	Test av EMC .....	14
6.1	Utstrålning .....	14
6.2	Ledningsbunden utstrålning .....	14
6.3	Instrålning RF-immunitet .....	14
6.4	Flimmertest .....	14
6.5	Immunitet mot ESD .....	15
6.6	Immunitet mot EFT .....	16
6.7	Impuls (Surge) .....	17
6.8	Magnetfält .....	17
6.9	Övertonstest .....	18
7	Hur kan man motverka EMI? .....	19

7.1	Jordning .....	19
7.1.1	Typer av jordning .....	19
7.1.2	Potentialutjämning.....	20
7.2	Kabelskärmning .....	21
7.2.1	Skärmtyper .....	23
7.3	Kabeltyper .....	25
7.4	Jordning av kabelskärm .....	25
7.4.1	Enkeljordad skärm.....	25
7.4.2	Dubbeljordad skärm.....	26
7.5	Filter .....	26
7.6	Kapslingar .....	27
7.7	EMC-Förskruvning.....	27
8	Praktiskt utförande – EMC analys av PSA-anläggning .....	28
8.1	Process .....	28
8.2	Jordning .....	29
8.3	Kablage.....	31
8.3.1	Kabelskärmning.....	31
8.3.2	Signalkablar.....	33
8.4	Kontrollskåp .....	34
8.5	Elektrostatisk urladdning (ESD).....	35
8.6	Frekvensomvandlare .....	36
9	Resultat.....	38
10	Diskussion.....	39
11	Källförteckning .....	40

## Ordlista och definitioner:

<b>CE</b>	<b>Conducted Emission</b>	<b>Ledningsbunden utstrålning</b>
<b>CI</b>	<b>Conducted Immunity</b>	<b>Ledningsbunden immunitet</b>
<b>CS</b>	<b>Conducted Susceptibility</b>	<b>Ledningsbunden mottaglighet</b>
<b>EFT</b>	<b>Electrical Fast Transients</b>	<b>Elektroniskt snabba transienter</b>
<b>EMC</b>	<b>Electromagnetic Compatibility</b>	<b>Elektromagnetisk kompatibilitet</b>
<b>EMI</b>	<b>Electromagnetic Interference</b>	<b>Elektromagnetisk störning</b>
<b>EMP</b>	<b>Electromagnetic Pulse</b>	<b>Elektromagnetisk puls</b>
<b>ESD</b>	<b>Electrostatic Discharge</b>	<b>Elektrostatisk urladdning</b>
<b>EUT</b>	<b>Equipment Under Test</b>	<b>Utrustning som undersöks</b>
<b>HF</b>	<b>High-Frequency</b>	<b>Högfrekvent</b>
<b>IR</b>	<b>Infrared</b>	<b>Infraröd</b>
<b>LF</b>	<b>Low-Frequency</b>	<b>Lågfrekvent</b>
<b>PCB</b>	<b>Printed Circuit Board</b>	<b>Kretskort</b>
<b>PWM</b>	<b>Pulse Width Modulation</b>	<b>Pulsbreddsmodulering</b>
<b>RE</b>	<b>Radiated Emission</b>	<b>Utstrålad emission/utstrålning</b>
<b>RFC</b>	<b>Radiofrequency Compatibility</b>	<b>Radiofrekvent kompatibilitet</b>
<b>RI</b>	<b>Radiated Immunity</b>	<b>Utstrålad immunitet</b>
<b>RMS</b>	<b>Root Mean Square</b>	<b>Effektivvärde</b>
<b>RS</b>	<b>Radiated Susceptibility</b>	<b>Utstrålad mottaglighet</b>
<b>UV</b>	<b>Ultraviolet</b>	<b>Ultraviolet</b>
<b>CISPR</b>	<b>International special committee on radio interference (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques)</b>	
<b>IEC</b>	<b>International Electrotechnical Commission</b>	

# 1 Inledning

Elektromagnetisk kompatibilitet är ett ämne som i samband med nya tekniker och högre krav på elektriska produkter tas i beaktande mer och mer inom dagens industri. Elektromagnetiska störningar kan visa sig i form av allt från små störningar på kommunikationsnätverk till elektriska urladdningar eller problem med elkvalitet, som kan ge upphov till stora problem med processer. Med hjälp av standarder och direktiv kan den elektromagnetiska kompatibiliteten inom industrimiljön upprätthållas.

I detta examensarbete, som utförs åt Mirka Oy i Jeppo, kommer EMC som koncept utredas teoretiskt på en grundläggande nivå genom att granska grunden för elektromagnetiska fenomen, vanliga former av elektromagnetiska störningar, olika former av test som kan utföras samt olika typer av lösningar.

## 1.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete var att utföra en studie om elektromagnetisk kompatibilitet i industrimiljö. Studien kommer att fungera som grund för en analys av en säkerhetsuppträdning av en maskinanläggning, samt en checklista för EMC som kan användas vid framtida installationer.

## 1.2 Avgränsning

Arbetet avgränsas för grunderna av EMC och dess funktion och påverkan i en industrimiljö. EMC för produktutveckling och i små skalor, som på kretskortsnivå, utelämnas i största del.

## 1.3 Uppdragsgivare Mirka Oy

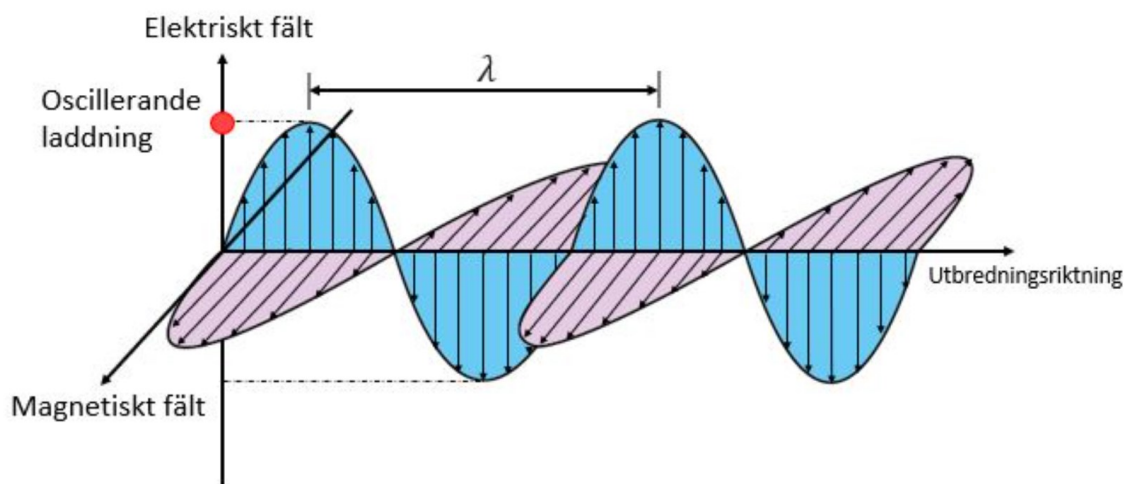
Mirka, som grundades år 1943 i Helsingfors och flyttades till Jeppo i Österbotten år 1962, är ett företag som agerar inom slipmaterialbranschen. Vid Mirkas enheter, placerade i Jeppo, Jakobstad, Oravais och Karis produceras slipmaterial och baksidesmaterial samt slipmaskiner och polermedel. Företaget har även 18 dotterbolag runt om i världen, placerade i Europa, Mellanöstern, Nordamerika, Sydamerika och Asien. (Mirka, u.d.).

Mirka erbjuder ett stort sortiment av innovativa produkter bestående av tekniskt högklassiga slipmaterial, verktyg och tillbehör för att kunder ska kunna uppnå en ytbehandling av hög kvalitet. Mirka var även den första slipmaterialtillverkaren i världen som utvecklat en verkligen dammfri slipmetod, tack vare deras nätslipkoncept. (Mirka, u.d.).

## 2 Bakgrund – Elektromagnetiska fält

Ett elektromagnetiskt fält består av ett elektriskt och ett magnetiskt fält som tillsammans bildar elektromagnetiska vågor. Elektromagnetiska vågor definieras enligt tids- och rymdmässig periodicitet.

Den tidsmässiga periodiciteten innebär att det elektriska fältets vektor i en given punkt ändras sinusformat med tiden. Den rymdmässiga periodiciteten är en sinusfunktion av avståndet i riktningen där en våg bildas. En elektromagnetisk våg i sin tur definieras som den sträcka en elektromagnetisk våg fortplantar sig. (Benda, 2000).



Figur 1. Avbildning av elektromagnetisk våg. (Vislander, u.d.).

En elektromagnetisk vågs fortplantningshastighet kan räknas ut med ekvationen:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$$

$\lambda$  = våglängden i meter

$c$  = fortplantningshastighet för elektromagnetiska vågor i rymden

$T$  = svängningsperiod i sekunder

$f$  = svängningsfrekvens [Hz]

(Benda, 2000).

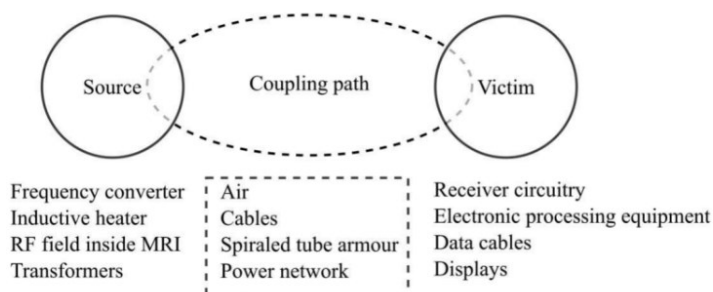


### 3 EMC och EMI

Elektromagnetisk kompatibilitet, EMC, är "en utrustnings förmåga att fungera tillfredsställande i sin elektromagnetiska omgivning utan att introducera oacceptabla elektromagnetiska störningar för annan utrustning i denna omgivning". (European Parliament, Council of the European Union, 2014).

Elektromagnetiska störningar, EMI, kan uppstå från ett flertal olika källor, allt från kablar till elmotorer och transformatorer. För att skydda kringliggande system från störningar krävs rätt typ av kapslingar och metoder vid installation av diverse anläggningar. (Helvoort & Melenhorst, 2018).

För att en elektromagnetisk störning skall kunna uppstå krävs en storkälla, *source*, som orsakar störningen och ett störobjekt, *victim*, som påverkas av störningen. För att det störda objektet ska påverkas krävs en kopplingsväg som kan var kapacitiv, konduktiv, induktiv eller elektromagnetisk. (Helvoort & Melenhorst, 2018).



Figur 2. Grundläggande EMC-modell för störbjekt och storkälla. (Helvoort & Melenhorst, 2018).

Ett EMC-koncept för produkter och installationer av system bör definieras i ett tidigt skede för att eliminera risker som kan medföra extra kostnader. Vanligtvis innehåller detta koncept information om hur produkten ska jordas på system-, intrasystem- och PCB-nivå, kabelskärmningar och filter mot exempelvis elektrostatiska urladdningar. (Keller, 2022).

#### 3.1 Immunitet

En apparats immunitet mot elektromagnetiska störningar kan delas in i ledningsbunden immunitet, CI (Conducted Immunity), immunitet mot strålning, RI (Radiated Immunity), samt immunitet mot fenomen som elektrostatisk urladdning, ESD (Electrostatic Discharge), och elektromagnetisk puls, EMP (Electromagnetic Pulse). (Keller, 2022).

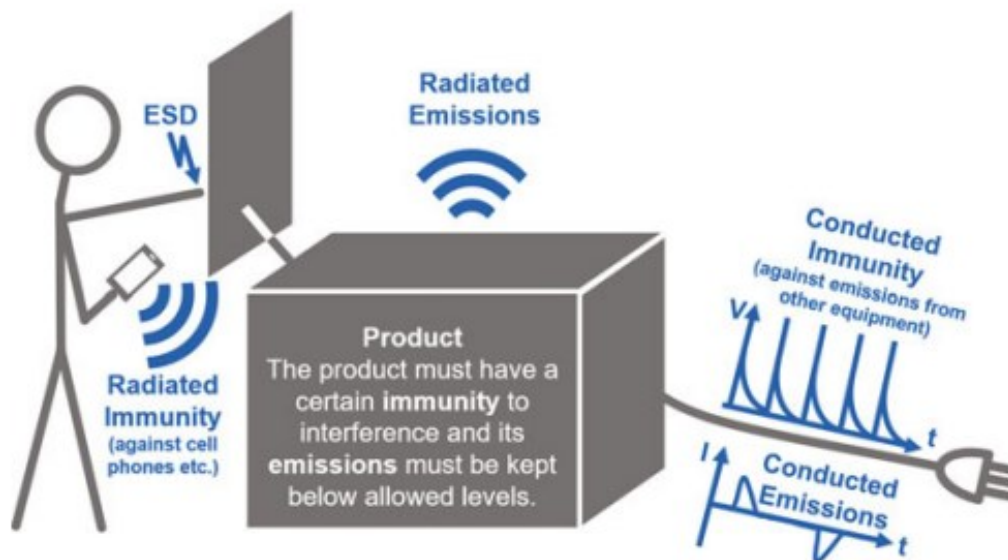
Ledningsbunden immunitet testas från de kablar som är kopplade till apparaten. Vanliga testtyper är radiofrekvent (RF), ledningsburen immunitet, elektriska snabba transientkuror (EFT), överspänning och underspänning. (Keller, 2022).

Immunitet mot strålning testas ofta för strålande RF-immunitet och strålande magnetfältsimmunitet. (Keller, 2022).

### 3.2 Utstrålning/Emission

Utstrålning är en typ av inducerad störning som med ett elektromagnetiskt fält stör elektriska kretsar och härstammar ofta från elektriska apparater som verkar på ett normalt vis. Dessa störningar opererar på ett medel till högt frekvensområde. (Chavez & Schott, 2020).

Utstrålning delas in i ledningsbunden utstrålning, CE (Conducted Emission), och utstrålad emission, RE (Radiated Emission). Hos ledningsbundna utstrålningar kan det testas för RF ledningsbundna utstrålningar, övertoner och flimmer i spänningsnivån. (Keller, 2022).



Figur 3. Olika typer av elektromagnetiska störningar. (Keller, 2022).

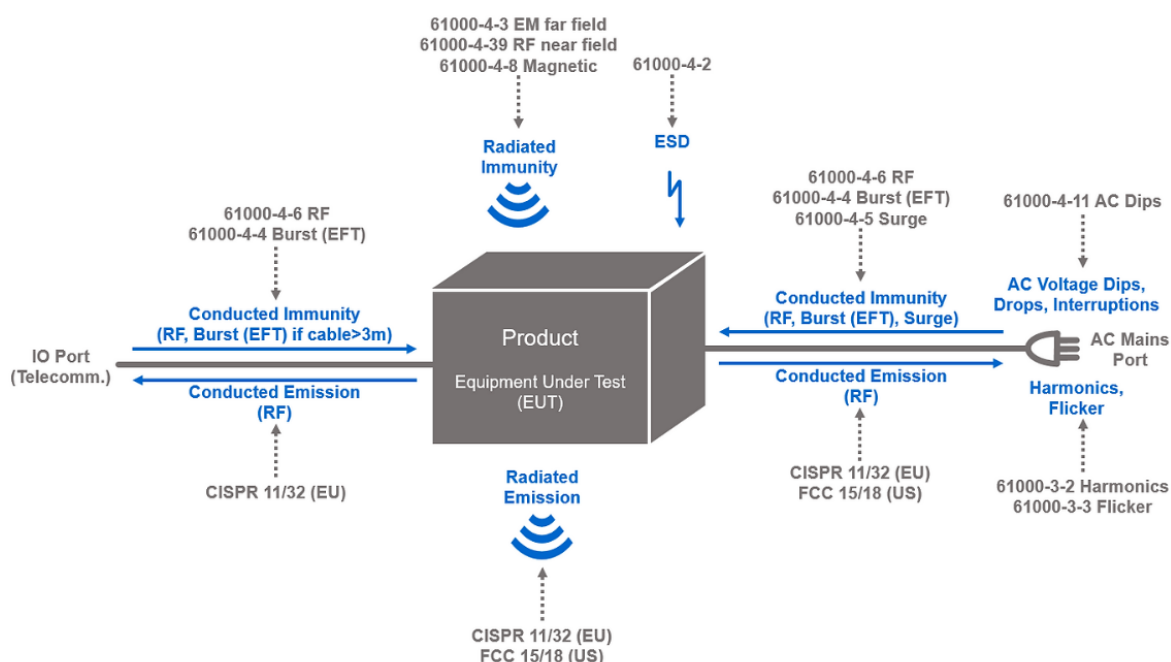
## 4 Direktiv och standarder

För att elektriska apparater ska få säljas bör tillverkaren se till att produkten uppfyller de krav som definieras i *EMC direktivet 2014*. Dessa krav innefattar regler för elektrisk utrustning och apparater så att de inte generar eller påverkas av elektromagnetiska störningar. En apparat som har testats och godkänts inom ramarna för kraven märks med en CE-märkning. (Tukes, u.d.).

Det är tillverkarens ansvar att testa apparaten enligt standarderna och se till att kraven uppfylls. Tillverkaren bör även medföra tillräcklig dokumentation om produkten, som information om vilka försiktighetsåtgärder som bör tas i beaktan vid installation för att undvika att överensstämmelsen med kraven inte äventyras. (Tukes, u.d.).

Standarderna för EMC är definierade av både nationella eller regionala och internationella organisationer på uppdrag av olika förvaltningsorgan. De standarder som oftast används för EMC är *IEC 61000*-serien och *CISPR 11/32*. IEC-standarderna baseras primärt på tester för elektriska apparaters immunitet, elektriska och elektromagnetiska emissioner och kabelbundna störningsfenomen, medan CISPR fokuserar mer på radiofrekventa störningar.

I figur 4 visas vilka standarder som hanterar olika störningstyper då <16 A/fas och ingen trådlös kommunikation är i bruk. Alla RF emissioner är i detta fall alltså oavsiktliga. (Academy of EMC, 2018).



Figur 4. Standarder relaterade till vanliga fenomen. (Academy of EMC, 2018).

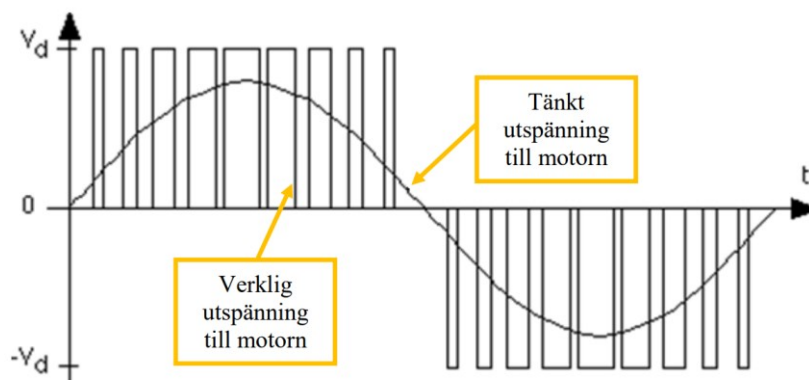
## 5 Vanliga elektromagnetiska störningar

Ofta visar sig störningar i form av en förvrängd version av den signal som ursprungligen skickades, exempelvis som ett felaktigt mätvärde. Dessa så kallade störspänningar påverkar inte alltid de ämnade funktionerna hos en apparat men om störspänningarnas storlek är av en sådan grad att den påverkar apparatens normala funktion kallas det funktionsstörning. (Benda, 2000).

Funktionsstörningar går antingen över när störningen inte längre är aktiv eller kvarstår under en viss tid fast den orsakande störningen har försvunnit. I digitala signalkretsar kan funktionsstörningar visa sig i två olika former. En falsk funktion, då apparaten agerar som den tagit mot en signal fast den inte har det, eller en utebliven funktion, då apparaten inte reagerar fast den har mottagit en signal. (Benda, 2000).

### 5.1 Frekvensomvandlare

Frekvensomvandlare, en av de vanligaste störfaktorerna, fungerar genom att först likriktar den ingående nätspänningen, därefter går spänningen vidare till ett mellanled med kondensatorer som fungerar som energireservoar. Till slut går spänningen till en växelriktare där likspänningen från mellanledet omvandlas till en trefasig växelspanning som kan moduleras till önskad frekvens. På detta vis skapas en sinusvåg med hjälp av en PWM-signal, Pulse Width Modulation, som kan se ut enligt figur 5. Med denna pulsbreddsmodulerade signal kan exempelvis varvtal på elmotorer styras till en önskad hastighet. (Olsson, 2016).



Figur 5. Hur PWM-signalen simulerar en sinusvåg. (Olsson, 2016).

På grund av frekvensomvandlarens pulserande natur kan störningar från dess kablage enkelt spridas vidare till kringliggande ledare och apparater. Därför är det extra viktigt att se till att EMC-regler för kablage, skärmning och jordning följs noggrant. (Olsson, 2016).

## 5.2 Övertoner

Övertoner, harmonics, är multipler av den nominella frekvensen hos en spänning som förekommer på AC-huvudledningar. Dessa övertoner kan delas in i *jämordnade* övertoner som är jämntaliga multipler av den nominella frekvensen, samt *udda ordnade* övertoner som är udda multipler av nominella frekvensen. Exempel på multipler visas i figur 6. De udda ordnade övertonerna orsakar de största problemen i huvudledningar. (Armstrong, 2023).

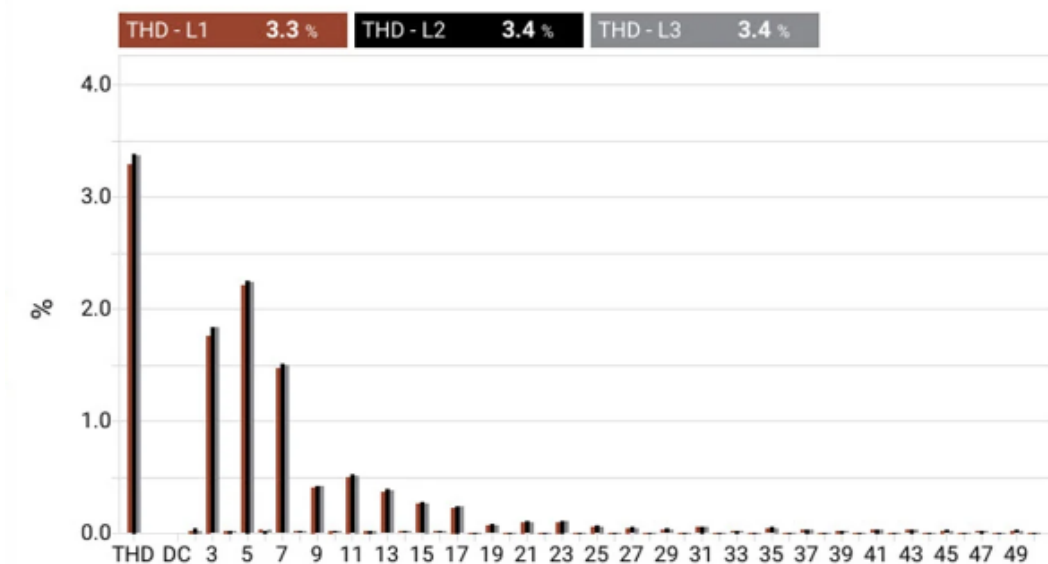
Harmonic Number Even Order	Odd Order	16.667Hz	50Hz	60Hz	400Hz
1 (the fundamental mains frequency)		16.667Hz	50Hz	60Hz	400Hz
2		33.333	100	120	800
	3	50	150	180	1.2kHz
4		66.667	200	240	1.6kHz
	5	83.333	250	300	2kHz
6		100	300	360	2.4kHz
	7	116.667	350	420	2.8kHz
8		133.333	400	480	3.2kHz
	9	150	450	540	3.6kHz
...etc...	...etc...	...etc...	...etc...	...etc...	...etc...
100		1.6667kHz	5kHz	6kHz	40kHz
	101	1.6833kHz	5.05kHz	6.06kHz	40.4kHz
...etc...	...etc...	...etc...	...etc...	...etc...	...etc...

Figur 6. Multipler av den nominella frekvensen hos en AC-huvudledning. (Armstrong, 2023).

Övertoner i industrimiljö förekommer ofta på grund av VFD:s (Variable Frequency Drives) eller elmotorer som drivs av växelriktare. Distorsion av en ren AC-signal kan uppstå från flera störande apparater, kopplade till samma system, som tillsammans ökar distorsionen av signalen. (FLUKE, 2023).

Ett vanligt sätt att uttrycka övertoner i ett system är genom THD, Total Harmonic Distortion. Med THD summeras alla harmoniska effekter. Detta mäts vanligen från den nominella frekvensen, 50 Hz, till den femtonde multipeln, 2,5 kHz. I figur 7 visas det harmoniska spektrumet för en mätning av THD. Om THD överskrider 8 % bör problemet utforskas vidare. (FLUKE, 2023).

Problem med övertoner på elnätet resulterar huvudsakligen i problem inom fyra olika områden. Dessa är överhettning av fasledare och neutrala ledare, distorsion av huvudledning, inducerade störningar samt ljud och vibrationer. (Armstrong, 2023).



Figur 7. Harmoniskt spektrum vid mätning av THD. Alla faser har en godkänd nivå på ca. 3,4 %. (FLUKE, 2023).

### 5.3 ESD

Elektrostatisk urladdning, ESD (Electrostatic Discharge), är ett fenomen som uppstår när två eller flera icke-konduktiva material med olika dragningskraft till elektroner får eller bryter kontakt med varandra, vilket kan ge upphov till elektriska impulser på flera tusentals volt. (Keller, 2022).

Dessa urladdningar av statisk elektricitet kan uppstå på grund av mattor, skor, möbler, kläder av ylle eller konstfibermaterial etcetera och förekommer speciellt vid låg relativ fuktighet. Konsekvenserna av ESD kan variera från små momentana störningar till att elektriska komponenter helt förstörs. Hur en statisk urladdning påverkar kretsen beror på urladdningsströmmens karaktär, det vill säga dess stigtid, amplitud och halvvärdestid. (Benda, 2000).

Avrullning av diverse material, speciellt isolerande material som plast, vissa typer av papper och silikon, har en tendens att bygga upp stora statiska spänningar som kan urladdas när det vidrör något med annan potential. (Transforming Technologies, u.d.) Just hur höga spänningar som uppstår beror bland annat på damm i miljön samt den relativa luftfuktigheten i utrymmet. Risken för en elektrostatisk urladdning minskar avsevärt vid en luftfuktighet på ca. 45 % och över. (SIBE, u.d.).

## 5.4 Radiostörning

Radiostörning, RFI (Radio Frequency Interference), är en typ av radiovågsstörningar mellan 9 kHz-3 GHz. (Benda, 2000). Källan till RFI kan vara vilket objekt som helst, antingen naturligt eller artificiellt, som bär på snabbt föränderliga strömnivåer, exempelvis en elektrisk krets eller till och med solen. (Fuseco, u.d.).

RFI består av två typer, ledningsbunden RFI som är ofrivilliga störningar som tar plats på höga frekvenserna av en växelströms vågform, samt utstrålad RFI som strålar fritt genom luften. Dessa radiofrekventa störningar uttrycker sig ofta i telefonsystem, nätverk och radioapparater. (Fuseco, u.d.).



Figur 8. Olika radiostörningar i ett frekvensspektrum. (Electrical Volt, 2022).

## 5.5 Kabelbundna störningar

Störningar som grundar sig i kablar kan delas in i lågfrekventa, mellanfrekventa eller högfrekventa störningar. (Benda, 2000).

### 5.5.1 Lågfrekventa störningar (<10 kHz)

Lågfrekventa störningar kan uppstå från i princip alla kretsar som har varierande spänning eller ström. Om och hur störningen mottas beror på typen av koppling mellan störojektet och storkällan. Störningarna av denna typ kommer oftast från ett matande elnät, både växel- och likström men kan även bero på jordproblem som exempelvis stor potentialskillnad mellan punkter. (Benda, 2000).

### 5.5.2 Mellanfrekventa störningar (10 kHz – 3 MHz)

Mellanfrekventa störningar kan uppstå från ett flertal olika källor. Allt från tyristorers spänningsderivator som uppstår då de tänder till åsknedslag över elnät. Här är skillnaden att åsknedslaget själv ofta inte orsakar störningarna, utan det orsakas av en kapacitiv eller induktiv koppling mellan ledningssystem och åsköverspänningen.

I industri är det även vanligt att strömbrytare och frånskiljare orsakar störningar vid manöver på grund av dess transienter. Denna störning inverkar oftast på en elektronikutrustnings kraftmatning och jordsystem men kan också kopplas till dess signalkablar. (Benda, 2000).

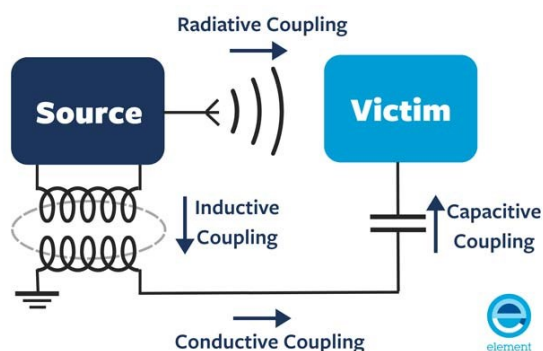
### 5.5.3 Högfrekventa störningar (>3 MHz)

Högfrekventa störningar kan härstamma från mekaniska eller elektromekaniska element, som reläer och kontaktorer. När dessa element bryter strömmar ger de gniststörningar som innehåller störfrekvenser mellan 10 MHz-100 MHz. (Benda, 2000).

## 5.6 Kopplingsfaktorer för kabelbundna störningar

För att kopplingsstörningar ska uppstå krävs en koppling eller viss närhet till störkällan. Kopplingen mellan störd och störande ledning blir proportionell mot den gemensamma längden och närheten mellan ledarna eftersom störningarna i de lägre frekvensområdena är ledningsbundna. (Benda, 2000).

Störningarna som uppstår kan delas in i tvärspanning (normal mode) och längsspänning (common mode). Tvärspanning, då signaler går i riktning mot varandra, uppstår där en störsignal är direkt överlagrad signalspänningen och dämpas mycket snabbt på grund av förluster i kabeln. Längsspänning, då signaler färdas åt samma riktning, uppstår mellan en ledare och en referenspunkt, ofta i form av jord, och dämpas inte. (Benda, 2000).



Figur 9. Olika typer av elektromagnetiska kopplingar. (Hayes, 2023).

### 5.6.1 Närfält och fjärrfält

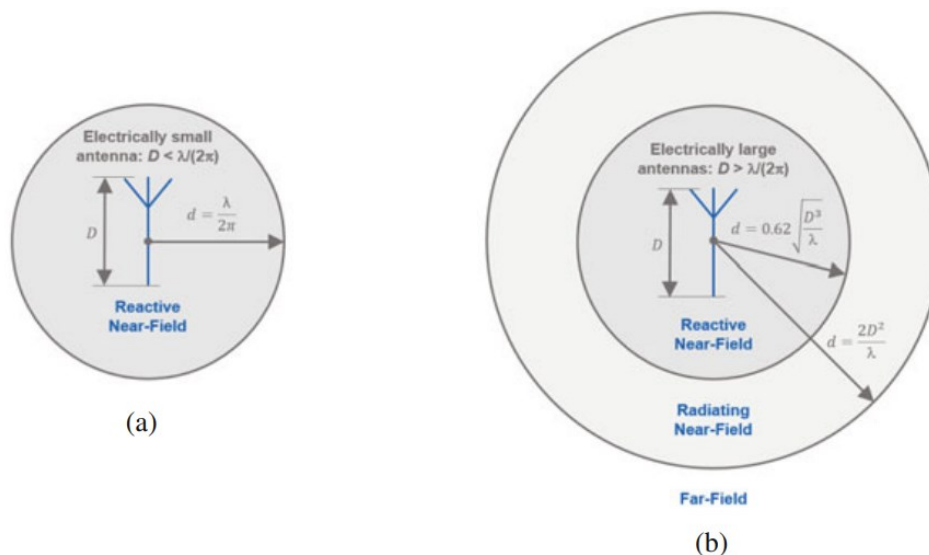
För att veta vilken typ av kabelskärmning som är passlig bör man veta om störningar uppstår från när- eller fjärrfält. Även när test utförs är denna vetskap viktig. (Keller, 2022).

I närfält beror vågimpedansen huvudsakligen på störkällan och oftast är det antingen ett elektriskt E-fält eller ett magnetiskt H-fält som dominerar i närfält. Närfält i sig delas in i reaktiva och utstrålade närfält. Reaktiva närfält finns i de elektriska och magnetiska fält som uppstår mycket nära störkällan men inte utstrålad från dem, utan energi utbyts mellan



signalkällan och fälten. Utstrående närfält definieras som området mellan det reaktiva närfältet och fjärfältet. (Keller, 2022).

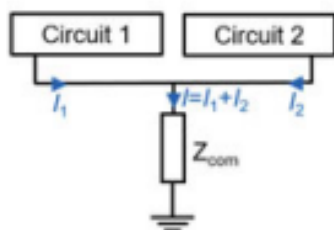
I Fjärfält rör sig E- och H-fälten ortogonalt i fas med varandra och formar en plan våg. Dessutom övergår fältet till "normal" elektromagnetisk strålning. (Keller, 2022).



Figur 10. (a) Reaktivt närfält för elektriskt små antenner. (b) När- och fjärfält för elektriskt stora antenner. (Keller, 2022).

### 5.6.2 Konduktiv koppling

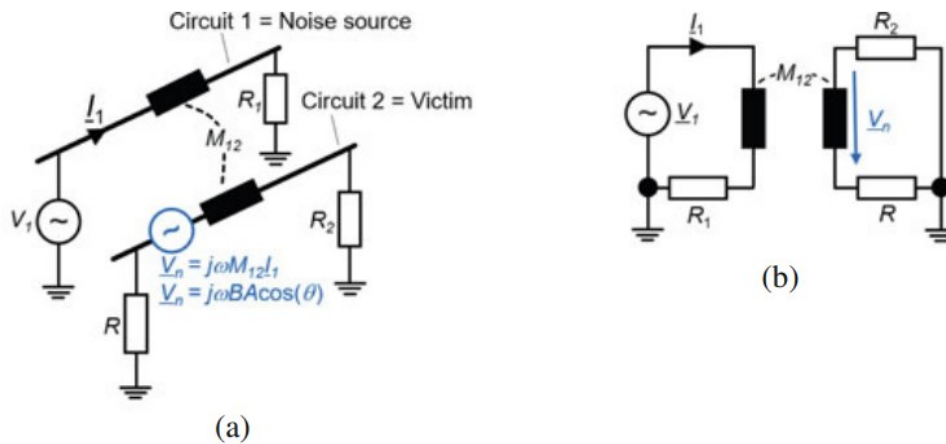
När två eller flera kretsar delar en gemensam väg eller ledare, och därmed gemensam impedans, kan konduktiv koppling uppstå. Eftersom denna delade väg ofta leder till jord eller en annan referenspunkt kan spänningsstörningar uppstå genom att en av kretsarna får exempelvis ESD-störningar. Genom att separera strömloopar, reducera kopplingsimpedansen eller filtrering kan man effektivt motverka konduktiva kopplingar. (Keller, 2022).



Figur 11. Konduktiv koppling: delad väg till jord. (Keller, 2022).

### 5.6.3 Induktiv koppling

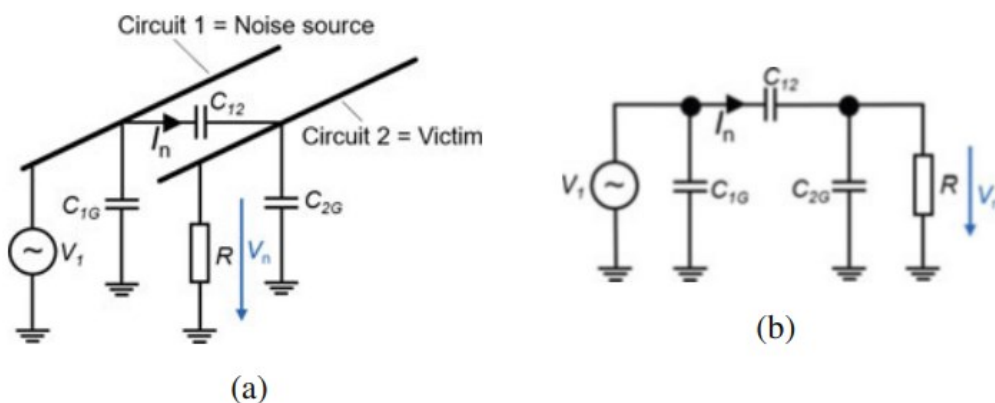
En induktiv koppling kan uppstå när två eller flera kretsar delar induktans  $M$  [H], och är en typ av närfältskoppling, vilket innebär att störkällan och störobjektet befinner sig nära varandra. Induktiv koppling kan ge problem vid EMC-test när höga strömmar flödar genom kablar och kopparbanorna på en PCB under ett impulstest när strömmar på flera  $kA$  kan uppstå. Detta kan motverkas genom att reducera strömloopsarean, öka avståndet mellan störkälla och -objekt eller kabelskärmning. (Keller, 2022).



Figur 12. (a) Induktiv koppling mellan två närliggande kretsar. (b) Motsvarande kretsschema. (Keller, 2022).

### 5.6.4 Kapacitiv koppling

Kapacitiv koppling uppstår när det finns en kopplingskapacitans mellan två kretsar och uttrycker sig som en närfältskoppling, alltså när störkällan och -objektet är nära varandra. Detta uppstår bland annat när flera olika ledningar går parallellt, vilket gör att de alla blir kapacitivt kopplade och kan motverkas genom att reducera transienter från störkällan och reducera kopplingskapacitansen genom kabelskärmning ledningsseparation samt filtrering. (Keller, 2022).



Figur 13. (a) Kapacitiv koppling mellan två kretsar. (b) Motsvarande kretsschema. (Keller, 2022).

### 5.6.5 Magnetisk koppling

Elektromagnetisk koppling är en typ av fjärrfältskoppling. Störkällan och störojektet är alltså långt ifrån varandra jämfört med våglängden  $\lambda$  [m]. Detta kan motverkas med filtrering, skärmning och jordning. (Keller, 2022).

### 5.6.6 Koppling genom strålning

Koppling genom strålning uppstår oftast i kabelledningar i common-mode, alltså längsspänning. Elektromagnetiska fält genererar störströmmar i kablar och ledningar som i sin tur agerar som effektiva antenner. (Keller, 2022).

## 6 Test av EMC

För att säkerställa att produkter är säkra för användning innan de når slutanvändaren krävs en del tester som döms enligt standardiserade resultat. Genom att testa för EMC redan i ett tidigt skede under utvecklingen av en produkt kan man undvika att i värsta fall behöva göra grundläggande ändringar för att få fram en godkänd produkt. Hur testen utförs samt godtagbara nivåer definieras i standarder. (Clever Compliance, 2021).

### 6.1 Utstrålning

Utstrålning, Radiated emissions, definierad i *IEC 61000-6-4* eller *CISPR 11*, testas genom att mäta de elektromagnetiska fält som en elektrisk apparat omedvetet avger och uppstår till en viss grad inom alla apparater. Testet utförs ofta i en anekoisk kammare (figur 14), ett rum designat för att dämpa elektromagnetiska vågor, med en antenn man mäter störningen med. (Clever Compliance, 2021) (IEC, 2018).

### 6.2 Ledningsbunden utstrålning

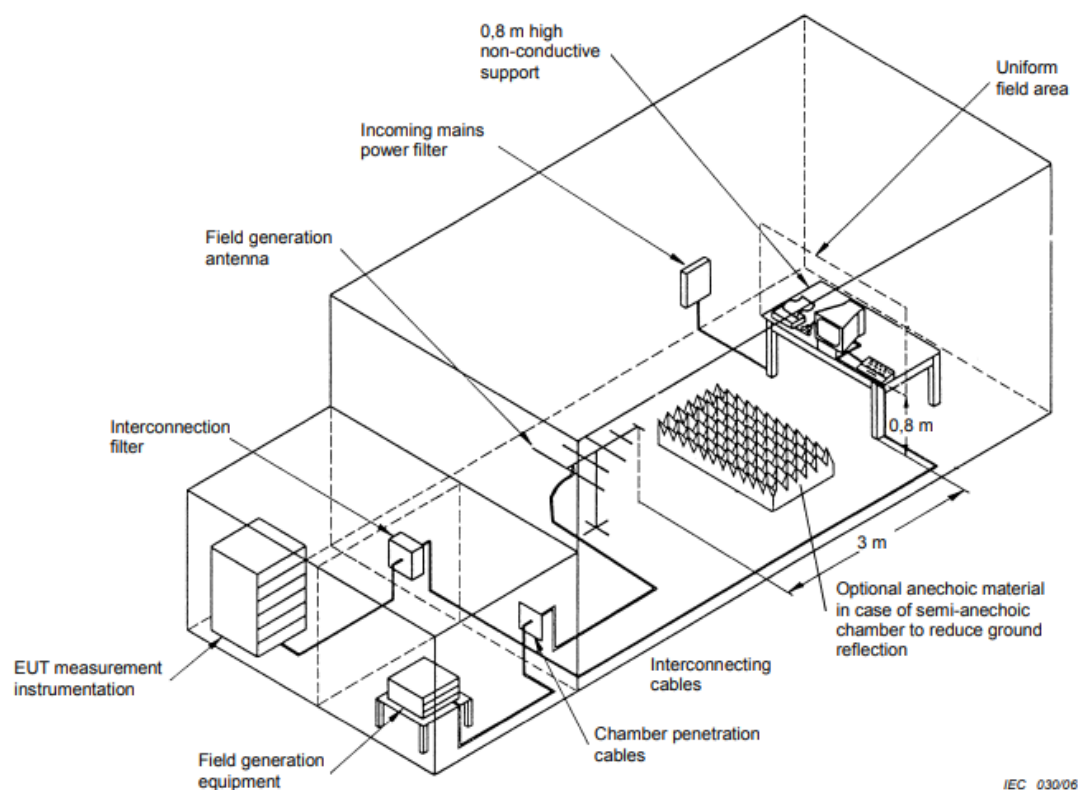
Ledningsbunden utstrålning, conducted emissions, definierad i *IEC 61000-6-4*, testas genom att mäta den elektromagnetiska energin producerad av en produkt och ledd till en power supply-ledning. Resultaten jämförs med specificerade gränsvärden från en relevant EMC-standard, vanligen mellan 150 kHz och 30 MHz. (Clever Compliance, 2021) (IEC, 2018).

### 6.3 Instrålning RF-immunitet

Immunitet mot instrålning radiofrekvenser, definierad i *IEC 61000-4-3*, testas för att mäta en apparats prestation när den strålas utifrån. Dessa test utförs i allmänna fall i frekvensområdet mellan 80 MHz och 1000 MHz. För immunitet mot RF-utstrålningar från digitala radiotelefoner och andra RF-emitterande apparater testas det vanligen mellan frekvensområden på 800 MHz till 960 MHz och 1,4 GHz till 6,0 GHz. (IEC, 2006).

### 6.4 Flimmertest

Flimmertest, flicker, som definieras i *IEC 61000-3-3*, utförs för att ta reda på om apparaten producerar varierande last i grenkretsen som orsakar variation i effektivvärdet, RMS, på spänningen med flimmer. (Clever Compliance, 2021) (IEC, 2013).



Figur 14. Anekoisk kammare för test av apparaters kompatibilitet. (IEC, 2006).

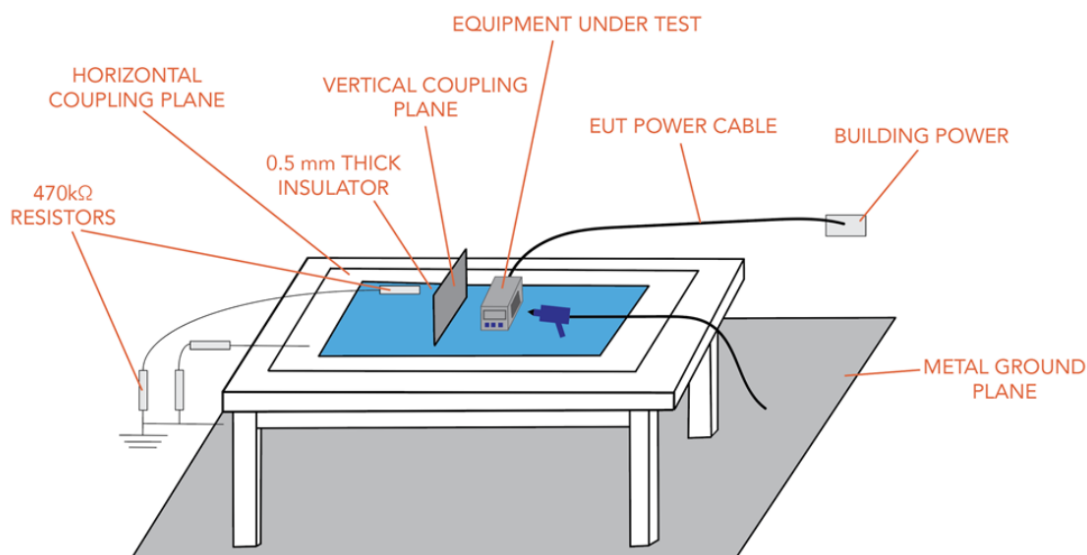
## 6.5 Immunitet mot ESD

Immunitet mot elektrostatisk urladdning, definierat i *IEC 61000-4-2*, testas genom att ladda specifika testpunkter på en apparat med spänningar enligt figur 15. Detta test utförs oftast fysiskt via kontakt med exempelvis ett chassi, eller luftburet om fysisk kontakt inte är möjlig. Sedan provoceras en elektrostatisk urladdning fram med en ESD simulator (ESD gun) som simulerar en elektrostatisk urladdning. (IEC, 2008) (Avalon Test Equipment, 2023).

Contact discharge		Air discharge	
Level	Test voltage kV	Level	Test voltage kV
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
x <sup>a</sup>	Special	x <sup>a</sup>	Special

<sup>a</sup> "x" can be any level, above, below or in between the others. The level shall be specified in the dedicated equipment specification. If higher voltages than those shown are specified, special test equipment may be needed.

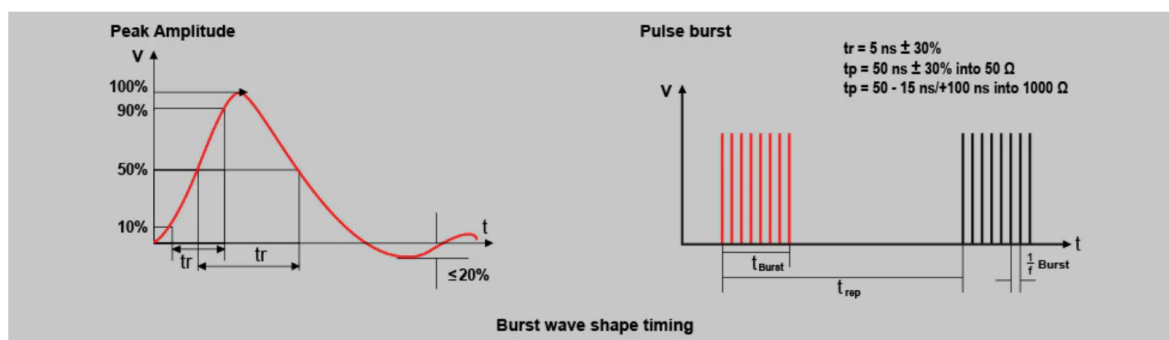
Figur 15. Testspänningar för ESD-test. (IEC, 2008).



Figur 16. ESD testkonfiguration. (Avalon Test Equipment, 2023).

## 6.6 Immunitet mot EFT

EFT (Electrical Fast Transients), även kallat Bursts, är en serie med snabba högfrekventa pulserande transienter. Dessa transienter kan förekomma på elnät bland annat då kretsar bryts eller aktiveras. I figur 17 visas ett exempel på kurvformen för EFT från en störningsgenerator. (Pitrak, 2023).



Figur 17. Exempel på EFT från en Teseq NSG 3040 manual. (Pitrak, 2023).

Test av immunitet mot EFT, som definieras i *IEC 61000-4-4*, utförs för att testa apparaters motstånd mot typer av transientstörningar från exempelvis relän. Det testas genom att skicka skurar av snabba transienter, kopplade till kraft-, jord-, kontroll- och signalportar av elektriska apparater. Viktigt är att de skurar som skickas har hög amplitud, kort stigtid, hög repetitionsfrekvens och låg energi på transienterna. Testspänningarna definieras enligt figur 18. (IEC, 2012).

Open circuit output test voltage and repetition frequency of the impulses				
Level	Power ports, earth port (PE)		Signal and control ports	
	Voltage peak kV	Repetition frequency kHz	Voltage peak kV	Repetition frequency kHz
1	0,5	5 or 100	0,25	5 or 100
2	1	5 or 100	0,5	5 or 100
3	2	5 or 100	1	5 or 100
4	4	5 or 100	2	5 or 100
X <sup>a</sup>	Special	Special	Special	Special

The use of 5 kHz repetition frequency is traditional, however, 100 kHz is closer to reality. Product committees should determine which frequencies are relevant for specific products or product types.

With some products, there may be no clear distinction between power ports and signal ports, in which case it is up to product committees to make this determination for test purposes.

<sup>a</sup> "X" can be any level, above, below or in between the others. The level shall be specified in the dedicated equipment specification.

Figur 18. Testspänningar för EFT-test. (IEC, 2012).

## 6.7 Impuls (Surge)

Impuls eller surge, är ett fenomen av överspänningar med hög energi och relativt slöa transienter jämfört med EFT och ESD, som simuleras för att testa en apparat eller ett systems immunitet. Detta fenomen förekommer oftast längs kraftledningar eller långa signalledningar på grund av blixtnedslag i närheten av ledningarna. (Williams, 2007).

Impulstest, som definieras i *IEC 61000-4-5*, utförs med en impulsgenerator som simulerar normala spänningsförhållanden med strömimpulser kopplad till en EUT, *Equipment Under Test*. (IEC, 2017).

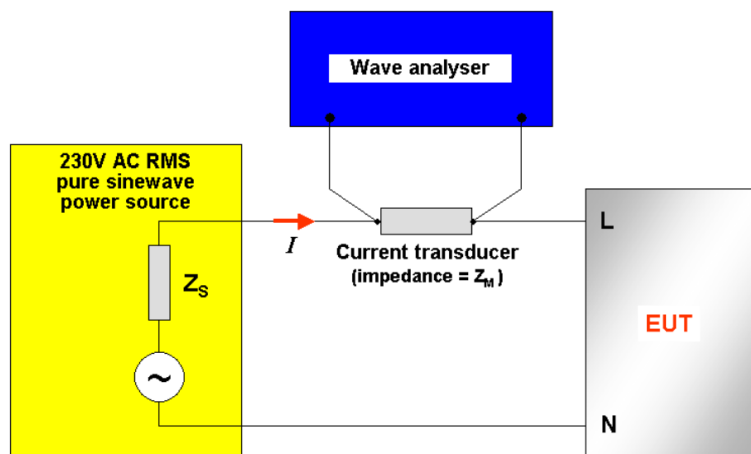
## 6.8 Magnetfält

Magnetfältstest går ut på att testa apparaters påverkan av magnetiska fält. Hos växelströmskretsar varierar strömmen, vilket leder till förändringar i dess magnetfält, vilket även kan orsaka störande strömmar i närliggande ledare eller apparater. (EMC Directory, 2022).

Vid test av magnetfält, som definieras i *IEC 61000-4-8*, används en induktionsloop som går över en EUT och genererar ett magnetfält på 50 Hz eller 60 Hz sinusformat med mindre än 8 % distorsion. EUT:n kan testas både kortvarigt och kontinuerligt. (Williams, 2007) (IEC, 2009).

## 6.9 Övertontest

Övertoner från en huvudledning kan enligt *IEC 61000-3-2* testas för att få en bild av vilka emissioner den avger. En ren sinusvåg från ett spänningsaggregat och en specificerad impedans matas till en EUT (Equipment Under Test) genom en transducer vidare en apparat som analyserar vågformen och mäter de harmoniska komponenterna. (Armstrong, 2023).



$I$  = the total supply current consumed by the Equipment Under Test (EUT)

Figur 19. Krets för övertontest. (Armstrong, 2023).

Vågformen från ett standardiserat test är inte alltid exakt samma i en verklig installation på grund av kringliggande störfaktorer. För att testa övertoner i ledare i en fast installation kan en enkel vågformsanalysator, exempelvis multimeter eller oscilloskop, sättas runt en ledare för att analysera kvaliteten hos spänningskällan. (Armstrong, 2023).



## 7 Hur kan man motverka EMI?

Man kan minimera elektromagnetiska störningar, både för immunitet och emission, på huvudsakligen tre olika sätt. Dessa metoder är jordning, skärmning och filtrering.

Jordning används för att motverka jordloopar och kortslutningar mellan apparater eller komponenter och används småskaligt som på kretskort samt storskaligt i anläggningar. Skärmning används för att öka en ledares immunitet mot från instrålade störningar samt minska ledarens egen emission till kringliggande störobjekt. Filtrering används för att filtrera bort oönskade frekvenser som kan orsaka störningar och används primärt i kretskort men kan även förekomma som delar av större maskinanläggningar. (Thivakaran & Chong, 2022).

### 7.1 Jordning

Jordningssystemets huvudsakliga uppgift är att skydda personer och utrustning mot skador genom att för strömmen agera direkt väg mot jord, samtidigt som potentialskillnaden mellan två slumpmässiga punkter i systemet ska hållas så låg som möjligt. Ur ett EMC-perspektiv ska jordningssystemet fungera som en gemensam spänningsreferens för känsliga elapparater som är sammankopplade. (Benda, 2000).

Största problemet när det kommer till jordningsproblem ur ett EMC-perspektiv är att två metalliska objekt eller punkter i en krets har en ojämn spänningspotential. En liten skillnad på endast några hundra mikrovolt mellan två resonerande elektriska ledare kan orsaka störningar. På samma vis kan det uppstå problem med utstrålad immunitet när spänningar induceras mellan två ledare som är dåligt kopplade samman. (Learn EMC, 2023).

#### 7.1.1 Typer av jordning

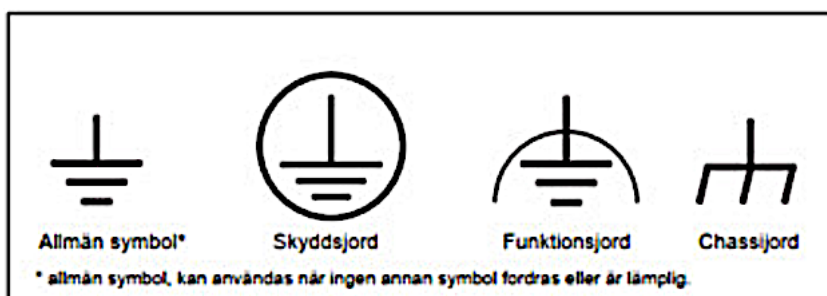
Det finns fyra typer av jordningar som används i EMC-sammanhang. Skyddsjord som skyddar mot ESD-pulser, funktionsjord som lindrar EMI-relaterade problem, chassijord som fungerar som jord för kabelskärmningar samt signaljord som fungerar som en referenspunkt för alla signaler. (Keller, 2022).

Skyddsjord används för att minska risken för allvarliga maskin- och personsador från elektriska fel i system, exempelvis vid en kortslutning där en maskinram eller bur kan bli spänningsförande. Då systemet är korrekt skyddsjordat, flyter strömmen genom skyddsledarna i stället för maskindelarna. (GSES, 2023).

Funktionsjord används huvudsakligen för att se till att elektriska komponenter fungerar som planerat. Denna typ kan användas på en eller flera punkter i ett system. (IET Wiring Regulations, u.d.).

Chassijord är jordning av elektriska apparater till exempelvis anläggningens ram, som oftast självt är jordat i ett större jordsystem. Denna typ av jordning används även som

referenspunkt för signaler, eftersom det vanligtvis har samma potential över hela chassit. (Keller, 2022).

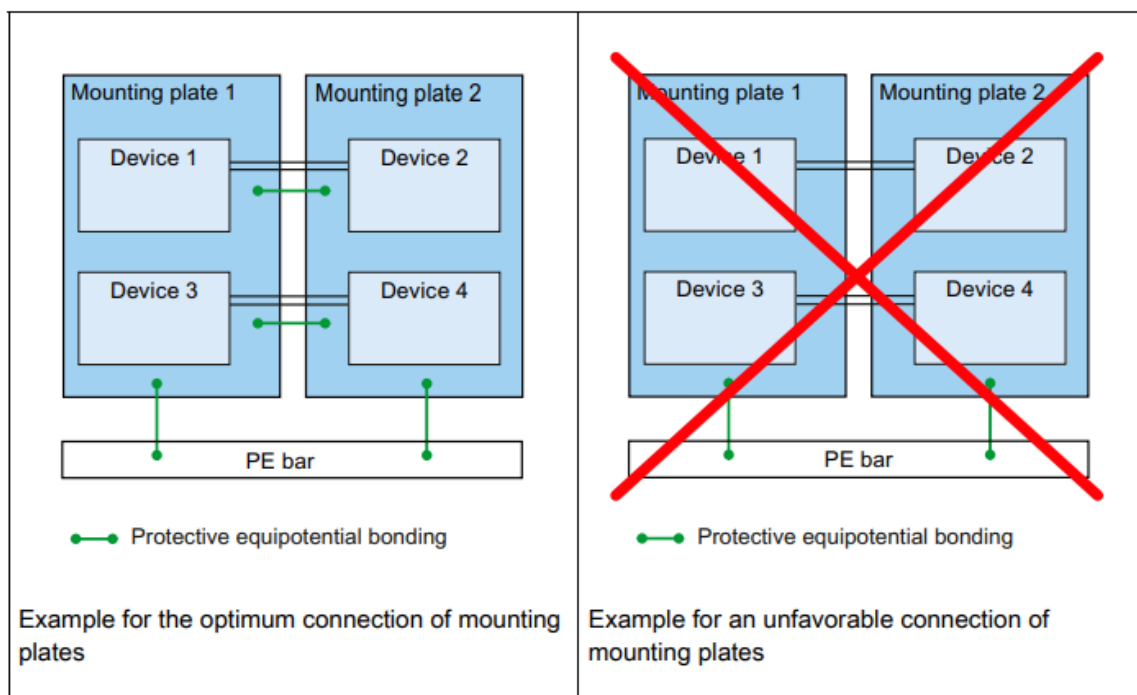


Figur 20. Symboler för jordning. (Ferroamp, 2023).

### 7.1.2 Potentialutjämning

Potentialutjämning är av stor betydelse för att försäkra sig om att komponenter i ett system interagerar utan problem. För att uppnå detta bör alla metalliska delar ha fysisk kontakt med varandra med största möjliga area. I exempelvis kontrollskåp kopplas alla metalliska delar sinsemellan med så många kontaktpunkter som möjligt på ett stort område, exempelvis paneler i skåpet. Panelerna kan sedan kopplas ihop med flätade kopparband, som kallas EMC-flätor, som är så korta som möjliga (figur 21). (Siemens, 2012).

För att få en jämn potential över en anläggning ska alla elektriska och mekaniska driftkomponenter, exempelvis transformatorer, kontrollskåp, motorer etcetera, jordas enligt standard. För höga frekvenser utförs potentialutjämning genom jordning av motorkablarnas skärmar till driftkomponenterna. (Siemens, 2012).

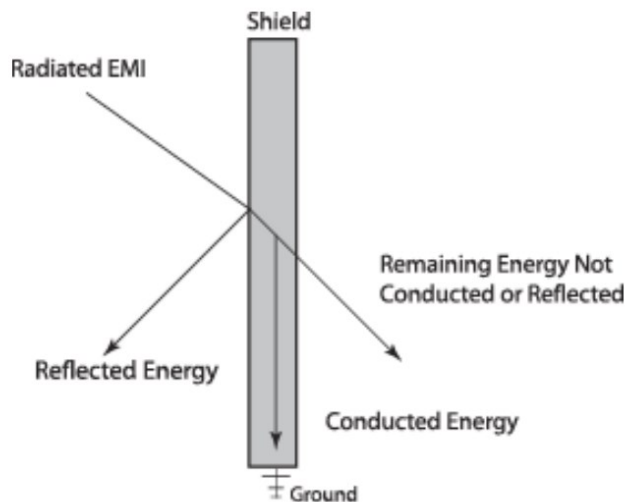


Figur 21. Rätt och fel sätt att jorda paneler i kontrollskåp. (Siemens, 2012).

## 7.2 Kabelskärmning

Genom att använda skärmade kablar kopplade till en apparat kan man reducera utstrålningar och stärka immuniteten mot elektromagnetiska störningar. Skärmningen mot elektromagnetiska vågor uppnås vanligen genom reflektion eller absorption. (Keller, 2022).

De elektromagnetiska störningarna som kabelskärmen utsätts för kan på så vis reflekteras av skärmen eller absorberas upp av skärmen och följa med skärmen till jord. En del av störningen kan förstås gå genom skärmen, men är dess skärmningseffektivitet tillräckligt hög är energin så liten att den inte har någon inverkan på signalerna. (AlphaWire, 2009).



Figur 22. Reflektion och absorption. (AlphaWire, 2009).

Kabelskärmar har två inneboende egenskaper. Dessa är kopplings- eller överföringsimpedans,  $Z_T$  (transfer impedance), och kopplings- eller överföringsadmittans,  $Y_T$  (transfer admittance). Låga värden på vardera egenskaper innebär en hög skärmningseffektivitet. Fördelen med transferimpedans och -admittans är att värdena är oberoende av konfiguration, så olika kablers skärmeffektivitet kan utvärderas utan att veta till vilken sorts applikation de skall användas till. (EMI Analyst, 2023).

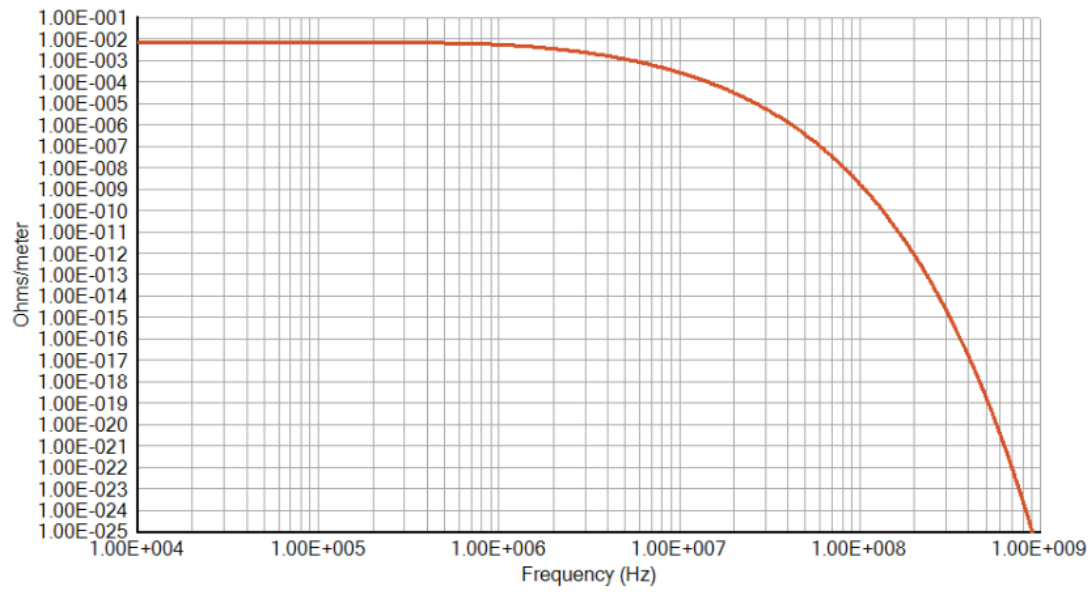
Kopplingsimpedans vid låga frekvenser är samma som skärmens DC-resistans. När frekvensen för störningar ökar tenderar transferimpedansen hos heltäckta folierade kabelskärmar att minska, medan den hos icke-heltäckta flätade skärmar tenderar att öka. (EMI Analyst, 2023).

Kopplingsimpedansen räknas ut enligt:

$$Z_T = \frac{U_i}{I} = \frac{\text{Spänning inducerad på kablar innanför skärm}}{\text{Strömflöde genom skärmen}} \Omega/m$$

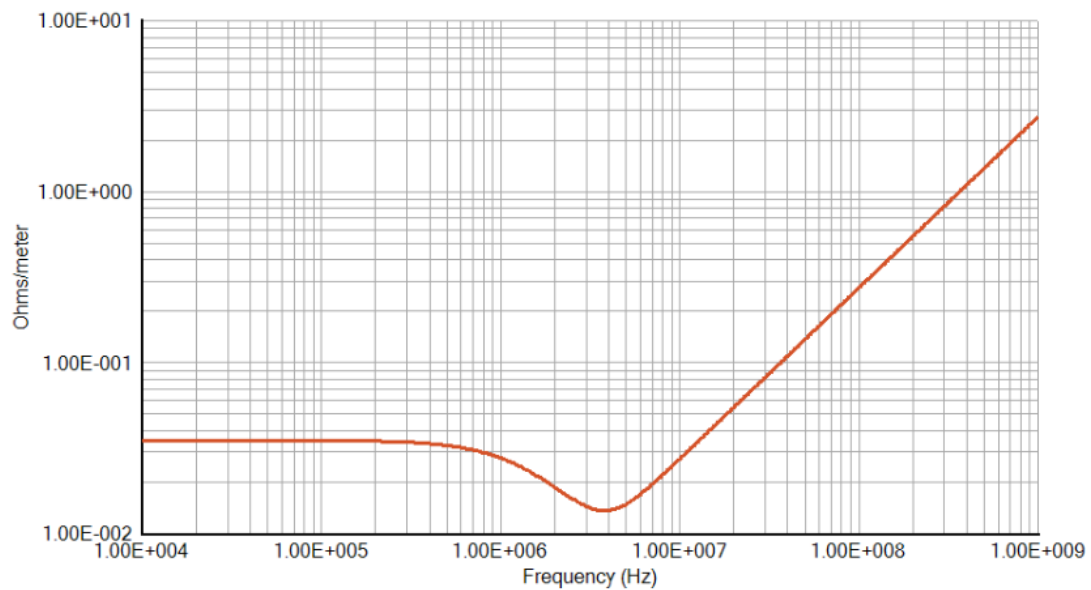
(EMI Analyst, 2023).

Transfer Impedance of a Solid Shield



Figur 23. Kopplingsimpedansen för en foliesköld. (EMI Analyst, 2023).

Transfer Impedance of a Braid Shield



Figur 24. Kopplingsimpedans för en flätad sköld. (EMI Analyst, 2023).

Skärmens kopplingsadmittans är en kapacitiv kopplingsegenskap hos skölden. Kopplingsadmittansen är proportionell mot kapacitansen mellan skärmen och ledarna innanför. Om skärmen är jordad i bägge ändar, då den inducerade skärmspänningen är relativt låg, är kopplingsadmittansen mindre viktig än om skärmen är jordad endast i ena änden. (AlphaWire, 2009).

På samma sätt som hos kopplingsimpedans, ökar admittansen med frekvensen och är vanligtvis försumbar vid låga frekvenser. Kopplingsadmittansen är jämfört med kopplingsimpedansen mycket mindre signifikant för de flesta skärmade kablar. (EMI Analyst, 2023).

Kopplingsadmittansen räknas ut enligt:

$$Y_T = \frac{I_i}{U} = \frac{\text{Ström inducerad på kablar innanför skärm}}{\text{Spänning som finns på skärmen}} U/m$$

(EMI Analyst, 2023).

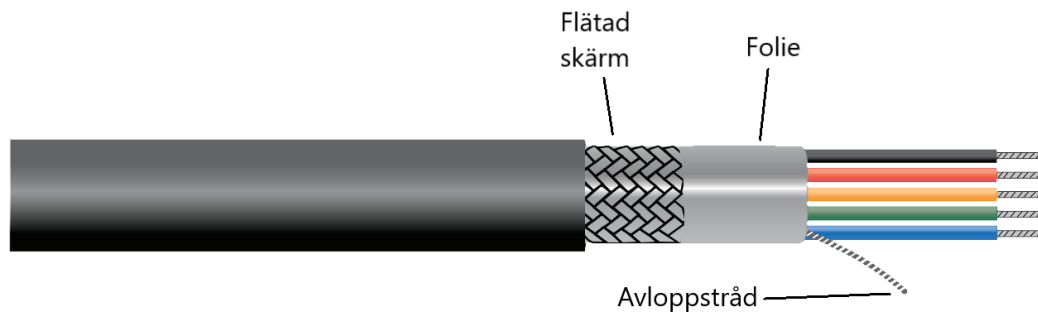
### 7.2.1 Skärmtyper

Val av skärmtypen baseras på kabelns syfte och miljö. Är kabeln placerad i en kontorsmiljö krävs det knappast någon åtgärd, jämfört med om kabeln befinner sig i industrimiljö nära andra objekt som kan ge upphov till störspänningar. Drivsystemskablar som motorkablar och matningskablar skärmas för att skydda andra kablar i närområdet, speciellt signalkablar som ofta sänder småskaliga och känsliga ström- eller spänningsintervall som kan medföra grova konsekvenser vid storskaliga störningar. Även kabelns behov av flexibilitet bör tas i beaktande och påverkar valet av skärmningstyp eftersom skärmen kan dras isär och tappa sin skyddsförmåga ifall den används på fel sätt. (Lapp Tannehill, 2021).

Oskärmade kablar kan användas där det inte förekommer betydande störningar. Exempelvis inuti kontrollskåp eller andra skyddade områden, där den skyddas från utomstående störningar. (Lapp Tannehill, 2021).

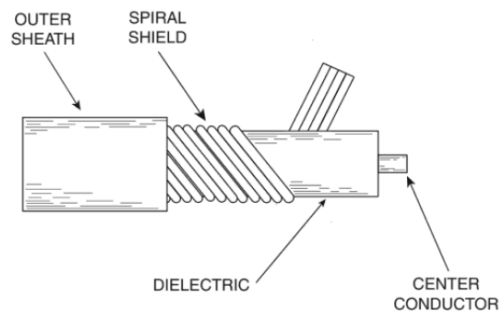
Kablar som är folieskärmade har ett tunt lager av aluminiumfolie, ofta förstärkt med annat material runt. På grund av dess tunnhet kan det vara komplicerat att jorda och därför används ofta avloppstråden för detta syfte (se figur 25). (AlphaWire, 2009).

Flätade kabelskärmar består ofta av rutnät vävt av bara vanliga eller tennlegerade koppartrådar. Rutnätet täcker naturligtvis inte en lika stor area av ledarna, men eftersom koppar har högre konduktivitet än aluminium och flätan har en större massa för att leda bort störningarna, är den en mera effektiv typ av skärm. Däremot ökar förstärkt storleken och priset på kabeln. En kombination av folie och flätad skärm är, på grund av fördelarna från bägge skärmtyper, en av de mest effektiva metoderna att motverka EMI. (AlphaWire, 2009).

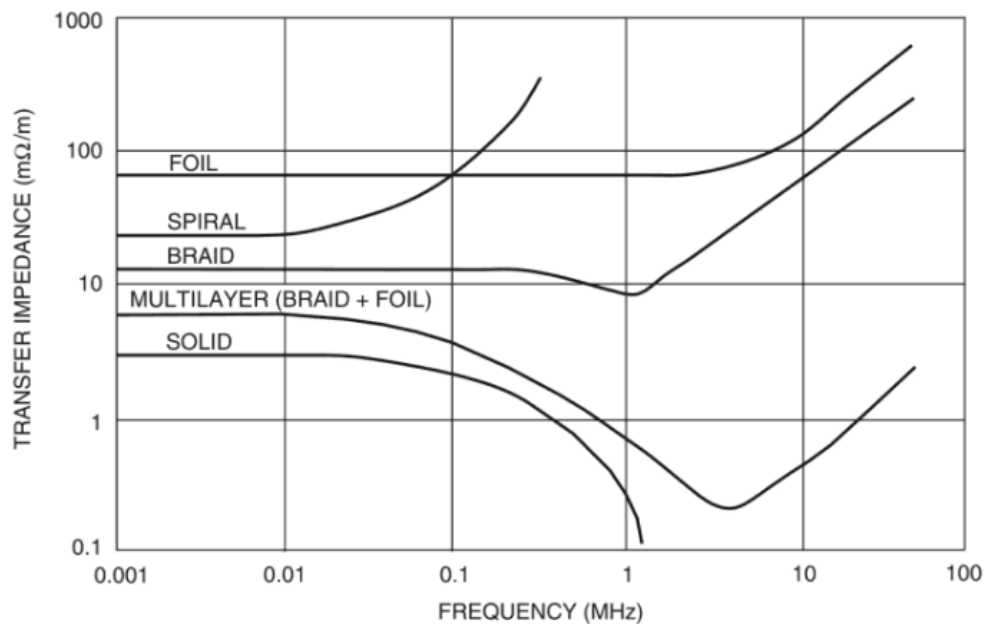


Figur 25. Kabel skärmd med folieskärm, flätad skärm och avloppstråd. (Lapp Tannehill, 2021).

En annan typ av skärmning, som påminner om en flätad kabelskärm, är en så kallad spiralskärm. Spiralskärmen är uppbyggd av koppartrådar tvinnade i en spiral runt en dielektrisk kabelstjärna. Denna typ är relativt mycket flexibel och lätt att jorda. (AlphaWire, 2009).



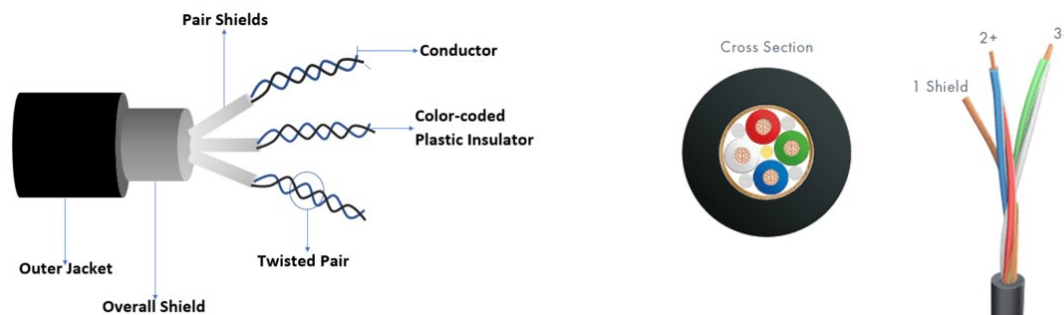
Figur 26. Spiralskärmad kabel. (Ott, 2011).



Figur 27. Jämförelse av kopplingsimpedansen hos olika kabelskärmstyper. (Ott, 2011).

## 7.3 Kabeltyper

Utöver skärmning kan även Twisted Pair, TP, eller Starquad kablar användas för ytterligare skydd. TP kablers ledare tvinnas runt varandra, vilket gör att de magnetfält som uppstår från sändning och mottagning av signalerna, som går åt motsatta håll, minimeras. Starquadkablar skyddas mot elektromagnetiska störningar genom att vara uppbyggda av fyra isolerade och ihoptvinnade ledningar som går längs samma axel. (CBO, 2022) (Belcom, 2023).



Figur 28. Twisted Pair kabel (vänster) (CBO, 2022) och Starquad kabel (höger). (Belcom, 2023).

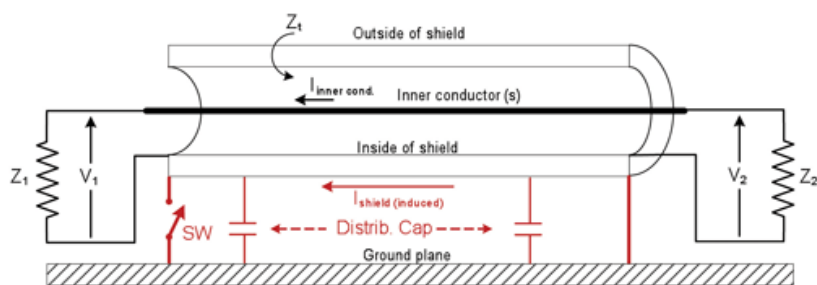
## 7.4 Jordning av kabelskärm

Den enda typen av jordning för kabelskärmar som gör skillnad för EMC-relaterade störningar är chassijord. I industrimiljö behövs nästan alltid en indirekt koppling till huvudjorden, som fås genom att alla metalliska chassin redan är skyddsjordade eftersom de flesta utrustningarna inom industrin är matade med spänningar större än 50 VAC/120 VDC. Som undantag kräver inte telekommunikationsutrustningar skyddsjord, eftersom de matas med ofarlig spänning. (Benda, 2000).

På vilket sätt kabelskärmen ska jordas beror bland annat på signalens amplitud och frekvensområde. Lågfrekventa störningar kommer ofta från spänningsfall i jordsystemet medan högfrekventa störningar kan uppstå från oavstörda induktiva laster och högfrekventa elektromagnetiska fält. Även systemets uppbyggnad, dess fysiska utsträckning, skärmens kvalitet samt avståndet mellan storkällan och störojektet, inverkar på valet av skärmjordningstyp. (Benda, 2000).

### 7.4.1 Enkeljordad skärm

Om kabelskärmen jordas endast i ena änden kan den motverka lågfrekventa ( $f < 100$  kHz) störningar, men kan däremot agera som en antenn för höga frekvenser där skärmen blir en effektiv antenn. Därmed rekommenderas endast jordning i ena änden för lågfrekventa applikationer med korta kabellängder där man huvudsakligen vill ha ett skydd mot el-fält. När kabelskärmen endast jordas i ena änden bryts eventuella jordloopar. (Keller, 2022).

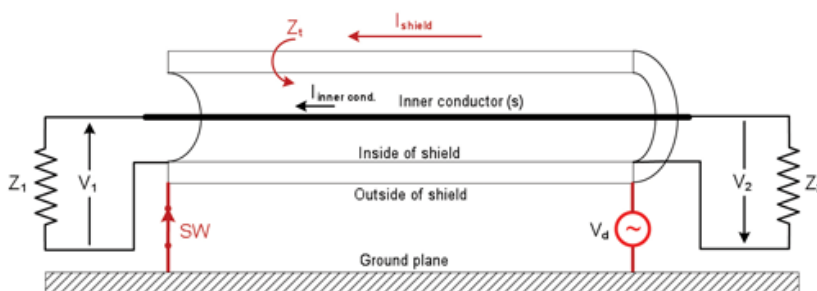


Figur 29. Enkeljordad kabelskärm. (Martin, 2014).

#### 7.4.2 Dubbeljordad skärm

En dubbeljordad skärm kan ha strömmar som går längs utsidan av skärmen, orsakade till detta kan vara bland annat jordloopar orsakade av potentialskillnad mellan jord på vardera änden av kabelskärmen, induktion från externa fält eller en kombination av båda. (Martin, 2014).

Jordning av kabelskärmen i båda ändarna rekommenderas när kabeln är längre än  $l > \lambda/20$  samt vid högfrekventa ( $f > 100$  kHz) digitala kretsapplikationer. (Keller, 2022).



Figur 30. Dubbeljordad kabelskärm. (Martin, 2014).

#### 7.5 Filter

Med filter kan man filtrera bort befintliga störningar av olika slag. Lågpasfilter är den vanligaste typen av filter vid EMC-beaktning och används när man vill rensa signalen från icke önskvärda höga frekvenser över ett visst inställt gränsvärde.

Högpasfilter i sin tur sänker låga frekvenser under ett visst gränsvärde och släpper genom höga frekvenser. HP-filter används sällan i EMC inriktade sammanhang.

Det finns även bandpass- och bandstopppfilter som skärmar av frekvenser utanför respektive innanför ett visst frekvensområde. Dessa typer används mycket sällan för EMC.

För EMC-bruk används oftast passiva filter. Passiva filter är enklare än aktiva och de konfigureringsmöjligheter man har med aktiva filter är sällan nödvändiga för ett EMI-filter. (Keller, 2022).



## 7.6 Kapslingar

Kapslingar används för att ge en eller flera apparater ett så fullständigt skydd som möjligt mot yttre störfaktorer som kan påverka dess normalfunktion. Kapslingar kan komma i form av ett metalliskt hölje runt enskilda apparater eller som elskåp som kapslar in flera komponenter. Denna kapsling absorberar de störande signalerna både inifrån och utifrån kapslingen vilket förhindrar störningar till och från apparaterna. Höljet är ofta isolerat med en gummitätning mellan panelerna för att motverka att eventuella störsignaler tar sig in mellan fogarna. (CP Cases, 2023).



Figur 31. Exempel på ett EMI-skyddat väggskåp. (Eldon, 2023).

## 7.7 EMC-förskruvning

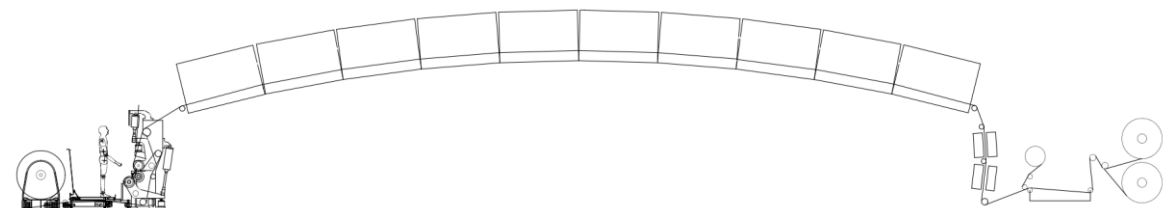
EMC-förskruvning är ett typ av skyddande hölje som sätts på en kabel vid dess ingång till exempelvis ett elskåp. Förskruvningen kopplas till ändan av en kabelskärm och avleder elektromagnetiska vågor över kapslingsytan som en Faraday-bur. (Hummel AG, 2023). Detta fungerar genom att bilda ett utrymme avskärmat från elektriska och elektromagnetiska fält genom ett elektriskt ledande hölje. (Kursnavet, 2005). En EMC-förskruvning skyddar även kapslingar mot damm och fukt samt försäkrar att kabeln hålls fast ordentligt i sitt hölje. (CMP Products, 2023).



Figur 32. Typiska EMC-förskruvningar. (Hummel AG, 2023).

## 8 Praktiskt utförande – EMC analys av PSA-anläggning

Som praktiskt utförande görs en analys ur ett EMC-perspektiv för en säkerhetsupgradering av en befintlig maskinanläggning, som kallas PSA (Pressure Sensitive Adhesive). I analysen kommer huvudsakligen de mest sannolika störfaktorerna och störobjekten tas i beaktande och analysen skall användas med syfte att undvika initiala samt framtida elektromagnetiska störningar. Eftersom PSA-anläggningen inte ännu är uppdaterad kommer vissa bilder och exempel tas från andra maskiner med motsvarande tekniker.

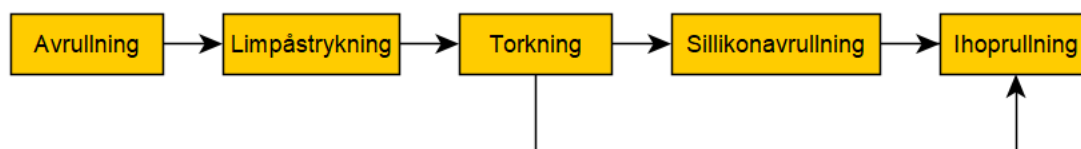


Figur 33. PSA-anläggningen.

### 8.1 Process

PSA-maskinen är en maskinanläggning som används för att bestryka baksidan av slipmaterial med ett lim som har självhäftande egenskaper. Materialet stansas sedan ut i rondeller med syfte att enkelt kunna fästas på diverse slipmaskiners fästplatta.

Processen startar med att rulla av slipmaterial som dras genom maskinanläggningen. Sedan görs ett val av bestrykningsmängd, varifrån valsarna vid avrullningen justeras med varvtal och riktning för att få rätt mängd lim på slipmaterialet. Det nu bestrykta materialet går upp via valsar till torkugnarna där det torkas till en bestämd nivå. Vid nedrullningen får vissa PSA-produkter en silikonfilm inrullad för att skydda slipmaterialet, detta beror på slipmaterialets grovlek. Till slut rullas slipmaterialet ihop i antingen en enkel jumborulle eller två kluvna jumborullar som skickas vidare för stansning av rondeller.



Figur 34. Funktionsschema för PSA-maskinen.

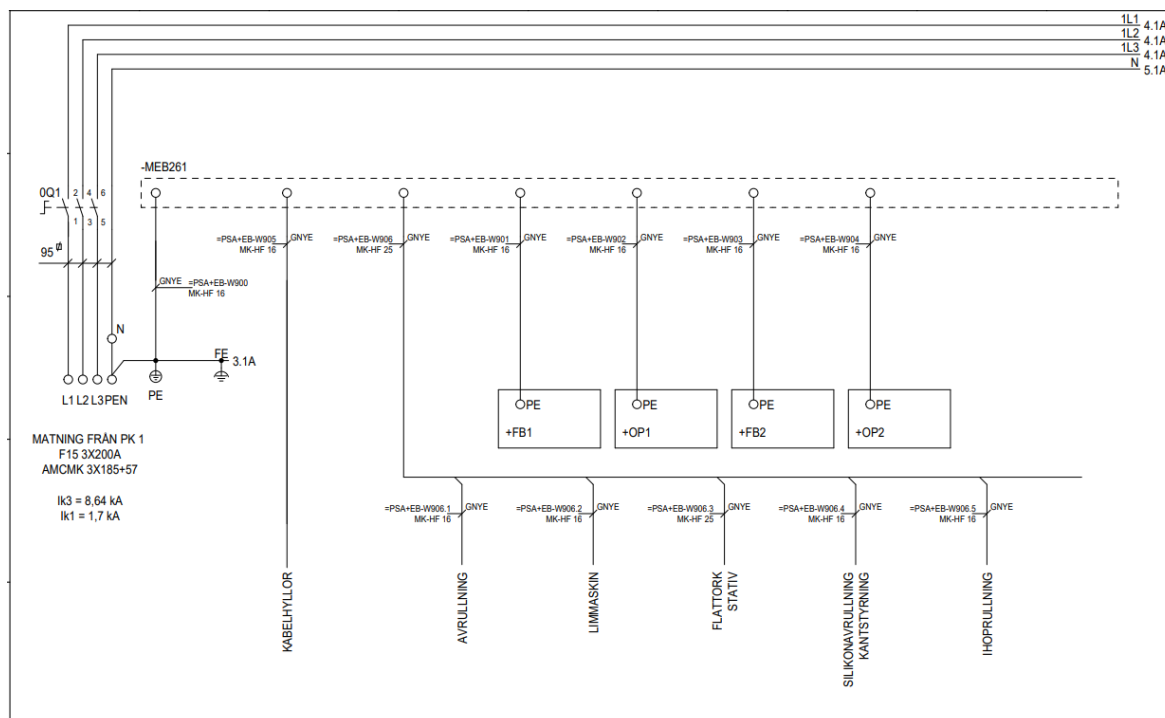


Figur 35. Avrullning (vänster) och ihoprullning (höger) vid PSA-anläggningen.

## 8.2 Jordning

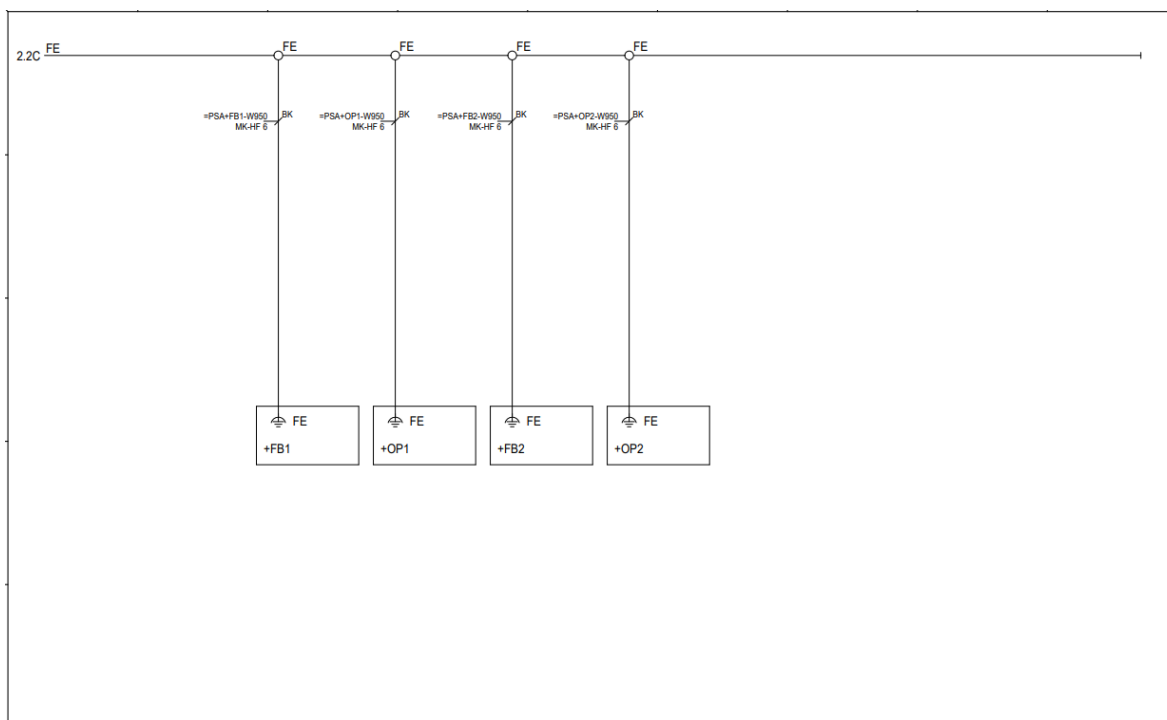
Jordningen i anläggningen utförs enligt standarder och tillverkares anvisningar. Här är det viktigt att använda rätt typ av jordning beroende på applikation. För att få en säker anläggning krävs en kombination av funktionsjord, chassijord och skyddsjord.

Jordningssystem ska skapa en tillräckligt jämn potential mellan godtyckliga punkter inom anläggningen samt eliminera driftfrekventa och högfrekventa strömmar som kan orsaka person- och maskinskador men även EMC-problem. I figur 36 visas ett nuvarande jordningsschema över anläggningen.



Figur 36. Jordningsschema över anläggningen.

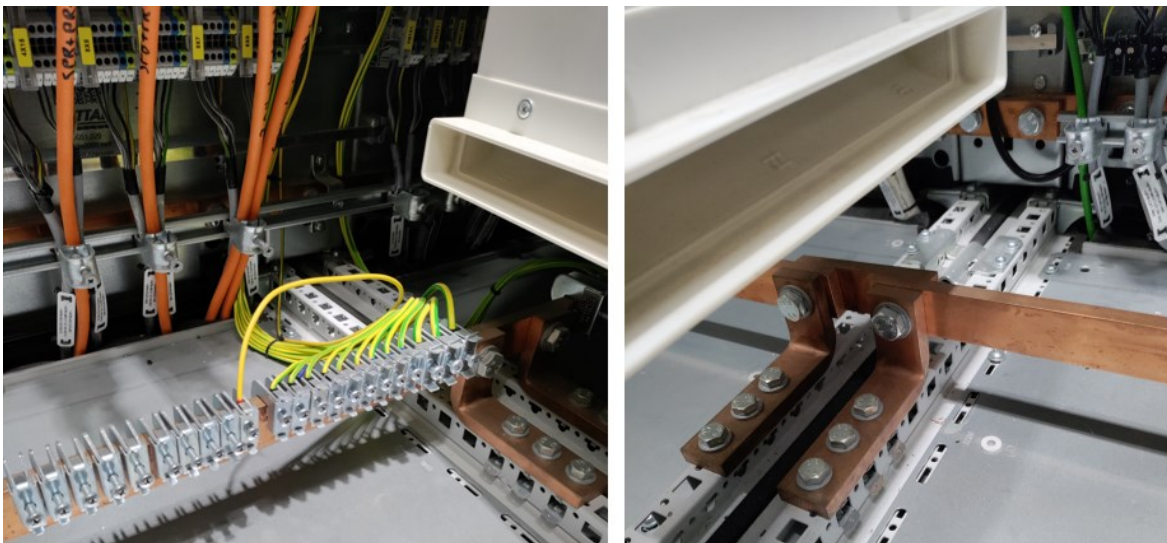
Figur 37 visar hur bland annat ethernetswitchar som används för signalkablar kopplas till funktionsjord, FE. Funktionsjord används för att upprätthålla en apparats normala funktion och se till att den inte går sönder om eventuella fel inträffar. Just ethernetswitchar är speciellt känsliga för störningar och går lätt sönder.



Figur 37. Ethernetswitchar kopplade till funktionsjord.

Chassijordning används i syfte att skapa ett ekvipotentiellt plan och skydda vid fall av kraftiga impulser. För att uppnå detta skydd och form av jordplan metalliskt sammankopplas alla chassidelar i anläggningen tillsammans.

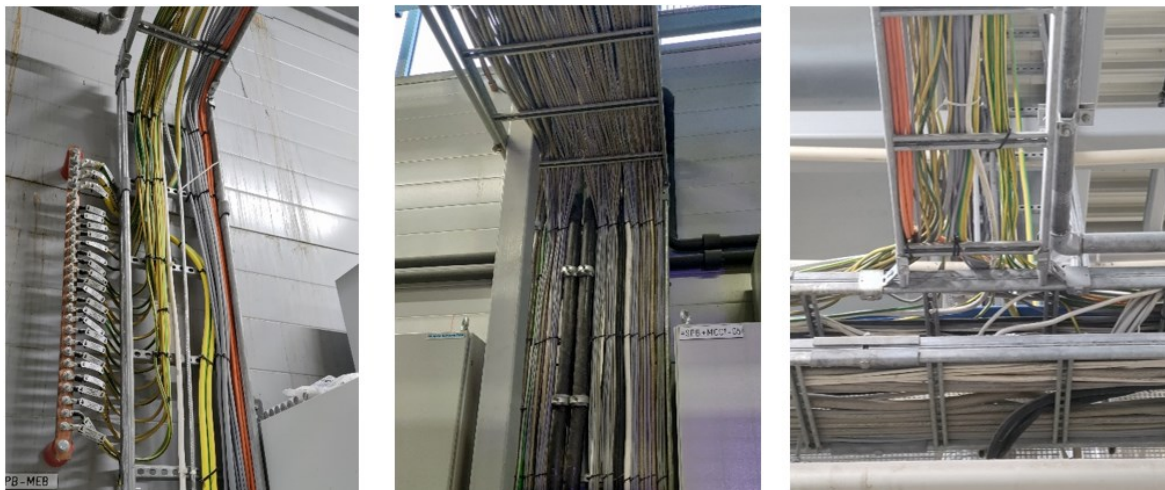
I kontrollskåpen jordas komponenter, apparater och kabelskärmar i en jordningsskena. Jordningsskenan agerar i form av potentialutjämning och skydd mot störningar.



Figur 38. Jordningsskenor i kontrollskåp.

## 8.3 Kablage

Motorkablar och signalkablar dras på separata kabelhyllor där det är möjligt. I figur 39 visas ett exempel från en annan maskin hur motorkablar och signalkablar dras på olika kabelhyllor. Dras de längs varandra med ett för litet avstånd kan längsspänning som stör signalerna uppstå.



Figur 39. Jord- och signalkablar (vänster), kraftkablar (mitten) och kablarna på separata hyllor (höger).

Jordningskablar bör vara av samma dimension som plus- eller matningskablar och ansluts så nära källan som möjligt. Viktigt är även att se till att kablarna inuti ett kontrollskåp är så korta som möjligt och inte rullas ihop för att förhindra att skapa en störande spole.

Vid kabeltillförseln till kontrollskåpen för nybygget, som visas i figur 42, krävs en kompromiss på grund av utrymmesbrist för kabelhyllan. Därför måste kraft- och signalkablarna dras på samma hylla parallellt. För att minimera eventuella störningar används en 50 cm bred ränna med ett plåtskydd i mitten mellan kablarna. Kablarna dras även så långt ut mot kanten som möjligt för att maximera avståndet mellan signal- och kraftkablarna.

### 8.3.1 Kabelskärmning

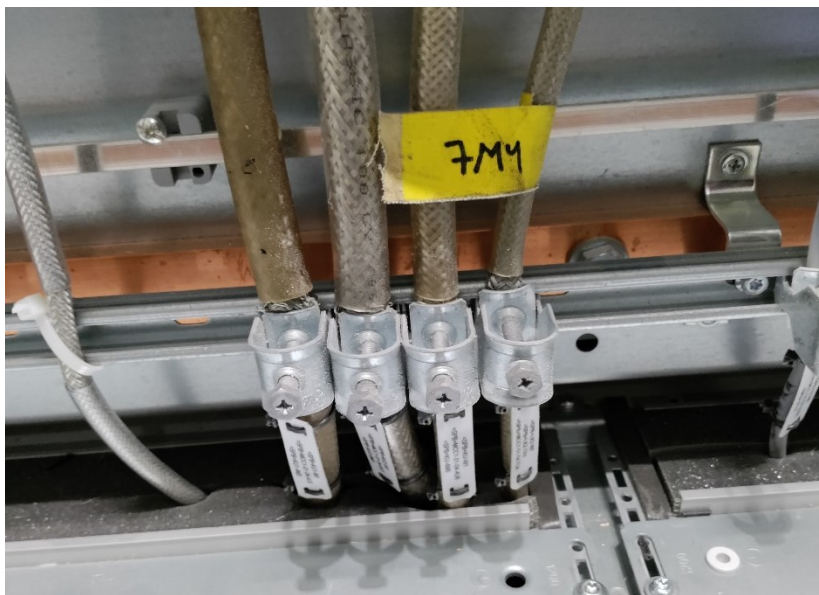
Kabelskärmning bör i regel utföras på alla kablar som tillförs ett system. Vilken typ av skärmning som används beror på applikationen.

De kablar som orsakar elektromagnetiska störningar, exempelvis motorkablar eller matningskablar där det går höga spänningar kräver en så bra skärmning som möjligt för att minska överföringen till andra kablar.

Kablar som är mottagliga för störningar, vanligen analoga signalkablar, kräver även god skärmning men beror mera på miljön den omges av. Är det en störningsrik miljö krävs förstås en mer effektiv skärmning än om den befinner sig i till exempel ett kontor där det sällan finns några betydande storkällor.

Huvudsaken vid kabelskärmningen är att se till att skärmningen uppnår en tillräckligt hög nivå. Beroende på krav för kablaset, exempelvis flexibilitet och skärmningsförmåga, görs val av kabelskärm.

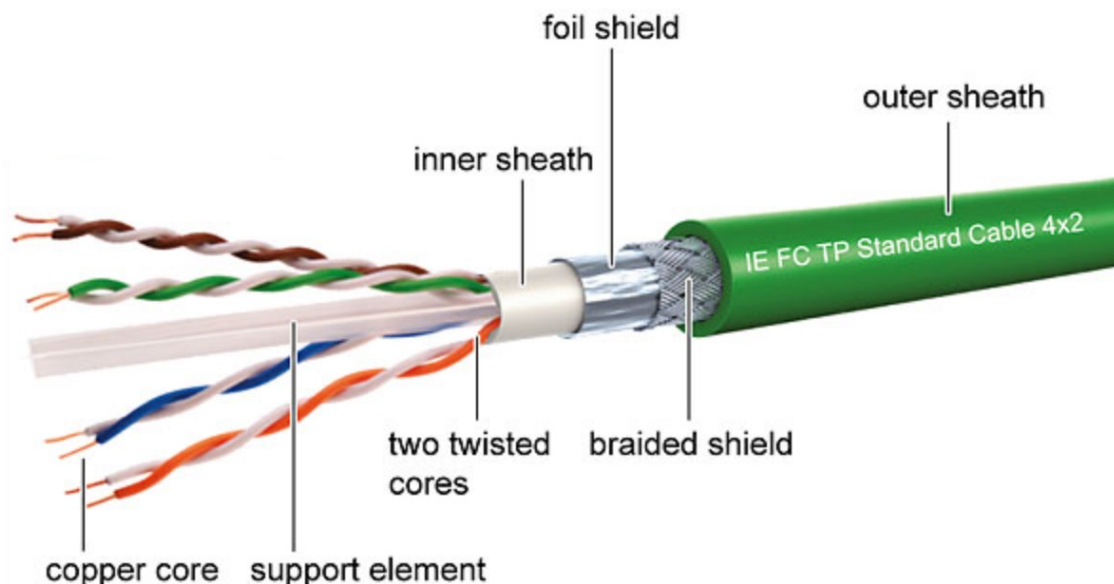
Typen av skärmkoppling som kan användas beror också på kabeltypen och vilken apparat den kopplas till. Här gäller det att alltid följa tillverkarens anvisningar (se exempel rubrik 8.6 *Frekvensomvandlare*). Vid kontrollskåpets ingång kan en EMC-förskruvning användas (se rubrik 7.7 *EMC-förskruvning*), eller så jordas skärmarna i en PE-skena inuti kontrollskåpet enligt figur 40. Skärmflätorna bör fästas så nära kabelanslutningen som möjligt för bästa möjliga skärmningseffekt.



Figur 40. Skärmkoppling i ett kontrollskåp.

### 8.3.2 Signalkablar

Som protokoll för Ethernetkommunikation används huvudsakligen PROFINET. Olika kombinationer av kabel- och skärmtyper kan användas för olika applikationer, beroende på utrymmets krav.



Figur 41. Exempel på Twisted Pair kabel för PROFINET-kommunikation. (PROFINET University, 2023).

Följande saker bör beaktas vid installation av signalkablar:

- Om signalkablarna dras nära oskärmade matningskablar (> 400 V) bör ett avstånd på 20 cm mellan kablarna uppfyllas.
- Vid zoner med extremt hög risk för elektromagnetiska störningar bör fiberoptiska kablar användas, eftersom dessa inte störs av elektromagnetiska fält.
- Jordade kabelhyllor är till fördel vid draging mellan kontrollskåp.
- Kablarnas skärmar bör jordas vid varje apparat, samt där kablarna går in, respektive ut ur kontrollskåpet. Mycket viktigt att alla jordningspunkter har samma potential.
- De Ethernetswitchar som signalkablarna är kopplade till bör även jordas så de har samma potential.

(Industrial Data Xchange, 2017).

## 8.4 Kontrollskåp

Kontrollskåp för anläggningen har införskaffats från Rittal och har medföljande kylaggregat för att hålla ned temperaturen inuti. Skåpdörrarna har gummilister runt kanterna vilket ger ett bättre skydd mot eventuella externa störningar.



Figur 42. Kontrollskåp från Rittal med kylaggregat.



## 8.5 Elektrostatisk urladdning (ESD)

Avrullning av diverse material, speciellt isolerande material som plast, vissa typer av papper och silikon, har en tendens att bygga upp stora statiska spänningar som kan urladdas när det vidrör något med annan potential. Just hur höga spänningar som uppstår beror bland annat på damm i miljön samt den relativa luftfuktigheten i rummet eller hallen.

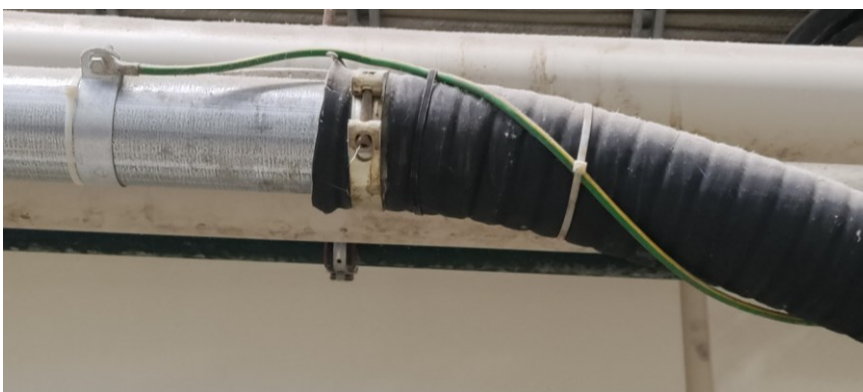
Tidigare har ESD-problem vid Mirka uppstått oftare vintertid då luften utomhus är torrare vilket även påverkar inomhusluften. Då luften är torrare ökar risken för ESD. I hallen där PSA-anläggningen är ligger den relativa fuktigheten i normala fall på ca 35 %. Risken för ESD minskar däremot markant först vid en relativ fuktighet på ca 45 % och högre.

Att förändra luftfuktigheten i produktionshallen skulle påverka slippapprets härdningsförmåga och andra diverse processer så den lösningen är i princip en omöjlig åtgärd att ta. Däremot har det tidigare använts joniseringsstavar som blåser luft med elektroner som neutraliserar statiska elektriciteten som produceras i rullen.



Figur 43. Joniseringsstavar.

ESD-skydd finns även i form av jordning som exempelvis används där icke-metalliska isolerande dammsugarslangar kopplas ihop med metalliska rör. Här jordas slangens hölje till röret enligt figur 44.



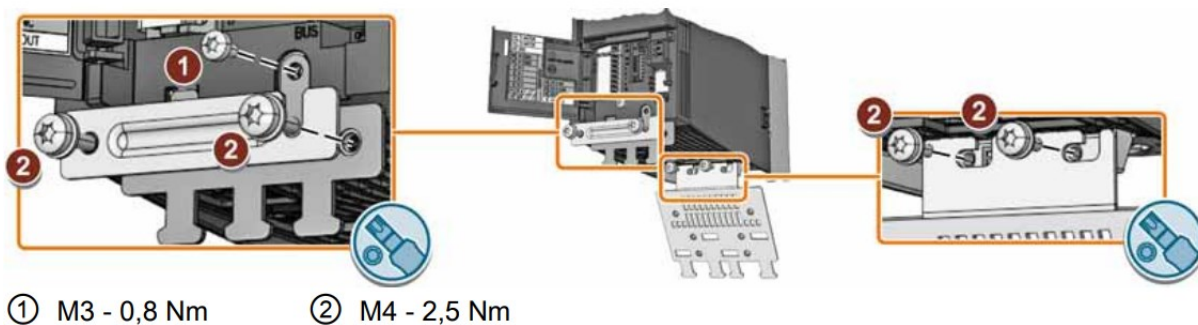
Figur 44. Jordad dammsgarslang.

## 8.6 Frekvensomvandlare

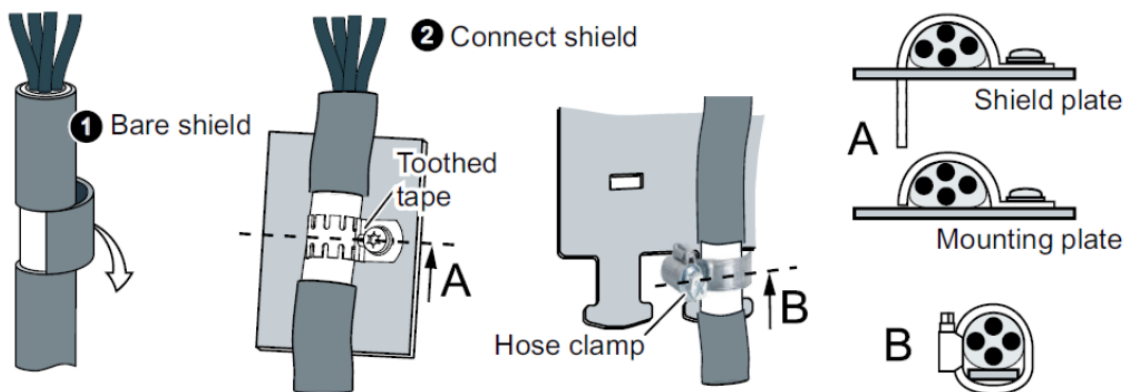
I den nya versionen av maskinläggningen skall det användas ett flertal Siemens Sinamics G120C frekvensomvandlare av fyra olika typer. Dessutom används Siemens Sinamics S120 frekvensomvandlare med servo. Dessa frekvensomvandlare är av de största störkällorna i anläggningen.

För att installera frekvensomvandlarna på ett sätt som tillfredsställer EMC-kraven bör tillverkarens installationsanvisningar följas.

- Frekvensomvandlaren bör installeras på en metallisk fästplatta enligt figur 45. Fästplattan får ej vara målad och måste ha bra elektrisk konduktivitet.
- Skärmade kablar används för motorn och motorns temperatursensor, bromsresistans, processgränssnitt som Fältbus eller digitala och analoga ingångar och utgångar.
- Varje skärmad kabel måst fastsättas på fästplattan med en kabelklämma enligt figur 46.

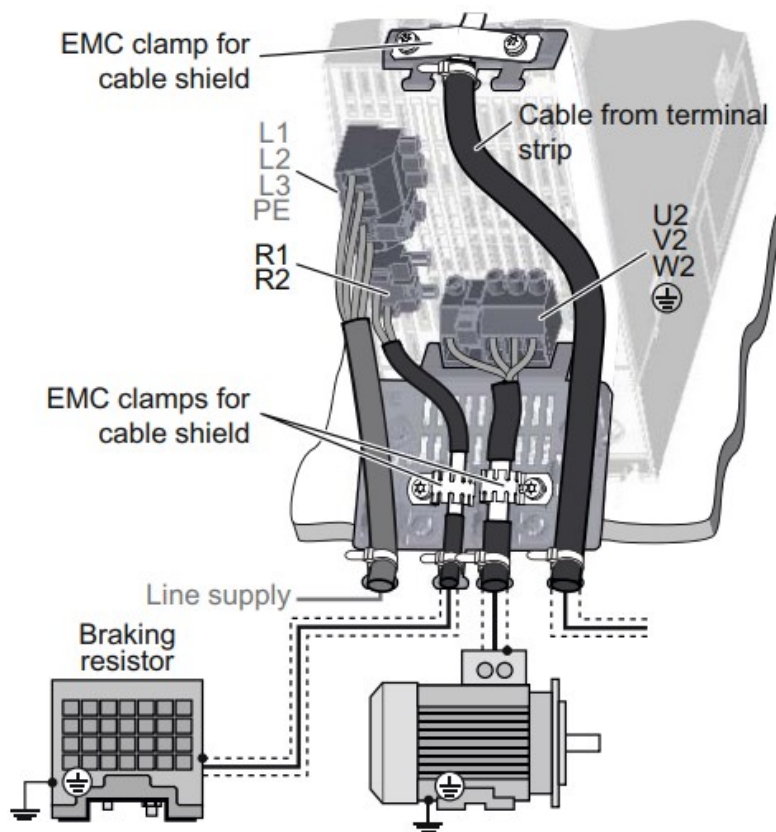


Figur 45. Fästplattans installationsinstruktion. (Siemens, 2014).



Figur 46. Hur en kabelskärm ska kopplas. (Siemens, 2012).

I figur 47 visas ett kopplingsschema för en frekvensomvandlare. Enligt denna anvisning rekommenderas jordning av kabelskärmen även vid elmotorn och bromsresistansen i form av en punkt vid streckade linjerna från kablarna.



Figur 47. Helhetsbild över EMC-krav för Sinamics G120C. (Siemens, 2012).

## 9 Resultat

Detta arbete om elektromagnetisk kompatibilitet ger en god grundläggande överblick över EMC som koncept samt ett praktiskt tillämpande av tekniker och metoder för att uppnå en god elektromagnetisk kompatibilitet i en industrimiljö. Med hjälp av denna studie kan framtida installationer av anläggningar planeras för att förebygga störningar till och från anläggningar.

Teoridelen behandlar grunden för elektromagnetisk kompatibilitet, standarder och direktiv som bör följas vid installation, vanligt förekommande störkällor, olika typer av test som kan utföras för att ta reda på vilken typ av störning det rör sig om samt diverse sätt att åtgärda nuvarande eller förebygga framtida problem. Teoridelen innehåll fungerade som en god grund för analysen av säkerhetsuppgraderingen för maskinanläggningen och tillsammans resulterade de i en checklista som kan användas för framtida installationer av anläggningar vid Mirka (se bilagor).

Eftersom teoridelen utförts på ett relativt grundläggande plan, vilket även var målet med arbetet, finns det en hel del möjligheter till ytterligare fördjupning inom så gott som alla ämnen. Nämnvärt här är speciellt de olika typerna av EMC-test som kunde utvecklas med flera specifika test.

I den praktiska delen användes den information och kunskap som deriverades från teoridelen. Analysen är relativt kortfattad men innehåller de mest relevanta delarna för just denna anläggning. Även denna del av arbetet hade kunnat vara mycket mera djupgående med tester för att främja den elektromagnetiska kompatibiliteten ytterligare. Detta var däremot inte möjligt på grund av brist på testutrustning vid tillfället av examensarbetets utförande.

Ifall utrustning för att utföra egna test hade funnits tillhanda hade det varit mycket intressant att testa eventuella störkällor för att få en bättre praktisk inblick. På så sätt hade man kunnat ta fram egna mätresultat och komma fram till resultat som varit perfekt för just denna anläggnings applikationer. På grund av bristen på egna tester är analysen aningen allmän, vilket däremot kan vara till fördel vid kommande installationer eftersom den inte är specifikt utformad för just denna installation.

Checklistan för EMC som är utformad från teoridelen samt den praktiska delen täcker vanliga punkter man bör beakta för att få en så god elektromagnetisk kompatibilitet som möjligt. Eftersom checklistan huvudsakligen ska användas i förebyggande syfte och vara enkel att förstå är punkterna relativt allmänna. En mer avancerad lista hade varit komplicerat att få ihop på grund av elektromagnetiska störningars natur och det hade krävt fler förklaringar, vilket i sin tur hade gjort checklistan svårläst och därmed inte lika användbar.

## 10 Diskussion

Att studera detta ämne har varit mycket intressant och givande, men även mycket krävande, vilket jag visste om när jag tog på mig detta uppdrag. Det faktum att inget direkt praktiskt utförande gjordes var en liten nackdel och jag tror det hade varit lättare att greppa ämnet och få en bättre förståelse om några mindre test hade gjorts. Det hade även varit bra att få koppla egna testresultat till teorin för att förstärka studiens trovärdighet.

På grund av ämnets bredd och komplicerade natur, var inlärningsfasen ganska lång. Därmed tog även arbetet mycket längre att utföra än först väntat, men jag anser själv att jag fick med de mest centrala byggstenarna på ett strukturerat sätt så läsare av detta arbete kan bilda en god grundläggande kunskap inom ämnet. Förstås finns det flera fenomen och teorier som kunde ha behandlats och praktiska test som kunde ha utförts, men i sin helhet blev examensarbetet riktigt lyckat och jag tror det kommer till nytta i framtiden.

De tidigare kunskaperna jag samlat på mig från automationsingenjörstudier var kanske inte de mest relevanta för just EMC i industrimiljö, vilket förstås har gjort ett redan relativt komplicerat ämne något svårare att studera. I och med det har jag däremot lärt mig väldigt mycket om förstås EMC men även annan relevant kunskap om elektroteknik som jag definitivt kommer ha stor nytta av vid framtida projekt i arbetslivet.

Jag vill avsluta med att tacka Mirka för chansen att ta på mig ett examensarbete om detta ämne, eftersom det alltid har intresserat mig när det har dykt upp i diverse moment under min utbildning. Jag vill även tacka mina handledare från Mirka och Yrkeshögskolan Novia för den goda handledningen och hjälpen jag har fått under arbetets gång.

## 11 Källförteckning

- Academy of EMC. (2018). *Academy of EMC*. Hämtat från EMC Standards: <https://www.academyofemc.com/emc-standards> den 3.4.2023.
- AlphaWire. (2009). Hämtat från <https://www.mouser.com/pdfdocs/alphawire-Understanding-Shielded-Cable.pdf> den 23.3.2023.
- Armstrong, K. (2023). *EMC Standards*. Hämtat från Mains Harmonics Guide: <https://www.emcstandards.co.uk/mains-harmonics-guide> den 12.10.2023.
- Avalon Test Equipment. (2023). *Avalon Test Equipment*. Hämtat från ELECTROSTATIC DISCHARGE (ESD) GUNS: <https://avalontest.com/electrostatic-discharge-esd-guns> den 16.11.2023.
- Belcom. (2023). *Belcom*. Hämtat från Starquad Wiring for Balanced XLR to XLR Connections: <https://www.belcom.co.uk/technical/starquad-wiring-for-balanced-xlr-to-xlr-connections> den 16.11.2023.
- Benda, S. (2000). *Störningsfri elektronik*. Lund: Studentlitteratur.
- CBO. (den 7.1.2022). *CBO*. Hämtat från Basics about Twisted Pair Cables: <https://www.cbo-it.de/en/blog/basics-about-twisted-pair-cables.html> den 14.11.2023.
- Chavez, M., & Schott, E. (2020). *What is EMC? 4 Questions About EMI, Radiated Emissions, ESD and EFT in Isolated*. Texas Instruments Incorporated.
- Clever Compliance. (den 27.10.2021). Hämtat från What is EMC Testing? Definition & Types of Tests: <https://blog.clevercompliance.io/electrical-product-compliance/what-is-emc-testing/> den 23.2.2023.
- CMP Products. (2023). *CMP Products*. Hämtat från What is a cable gland? An Introduction: <https://www.cmp-products.com/cable-glands/technical/cable-glands/> den 16.11.2023.
- CP Cases. (den 2.4.2023). *CP Cases*. Hämtat från EMC/EMI SHIELDING PROTECTION: WHAT IS IT & HOW DOES IT WORK?: <https://cpcases.com/news/what-is-emc-emi-shielding> den 23.8.2023.
- Eldon. (2023). *Eldon*. Hämtat från EMC KAPSLINGAR: [https://www.eldon.com/Documents/Catalogues/Chapters/SWE\\_EMC.pdf](https://www.eldon.com/Documents/Catalogues/Chapters/SWE_EMC.pdf) den 23.8.2023.
- Electrical Volt. (den 22.2.2022). Hämtat från Radio Frequency Interference(RFI): <https://www.electricalvolt.com/2021/10/what-is-radio-frequency-interference-rfi/> den 21.4.2023
- EMC Directory. (den 11.10.2022). Hämtat från What is Magnetic Field Testing?: <https://www.emc-directory.com/community/what-is-magnetic-field-testing> den 12.9.2023.
- EMI Analyst. (2023). *EMI Analyst*. Hämtat från How to Select Cable Shielding for Electromagnetic Compatibility – Part 3: <https://www.emisoftware.com/blogs/select-cable-shield-ing-electromagnetic-compatibility-3/> den 30.3.2023.
- European Parliament, Council of the European Union. (2014). The EMC Directive (2014/30/EU).
- Ferroamp. (den 29.8.2023). *Ferroamp*. Hämtat från Finns det ett krav på att funktionsjorda solpanelerna?: <https://support.ferroamp.com/sv-SE/support/solutions/articles/47001236491-finns-det-ett-krav-pa-att-funktionsjorda-solpanelerna-> den 10.10.2023.

- FLUKE. (2023). Hämtat från How to find harmonics in electrical systems: <https://www.fluke.com/en/learn/blog/power-quality/how-to-find-harmonics-in-electrical-systems> den 16.10.2023.
- Fuseco. (u.d.). Hämtat från What is RFI (EMI) / EMC?: <https://www.fuseco.com.au/articles/what-is-rfi-emi-emc> den 11.4.2023.
- GSES. (2023). Hämtat från <https://www.gses.com.au/getting-down-to-earth-earthing-explained/> den 10.10.2023.
- Hayes, S. (den 4.1.2023). *Element*. Hämtat från EMC vs EMI Testing, What's the Difference, and What do I Need to Consider?: <https://www.element.com/nucleus/2017/whats-the-difference-emc-vs-emi> den 23.2.2023.
- Helvoort, M. V., & Melenhorst, M. (2018). *EMC for Installers: Electromagnetic Compatibility of Systems and Installations*. CRC Press.
- Hummel AG. (2023). *Hummel AG*. Hämtat från Cable glands EMC: <https://www.hummel.com/en/cable-glands/products/cable-glands-emc/> den 26.4.2023.
- IEC. (2006). IEC 61000-4-3. *Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*, IEC 61000-4-3.
- IEC. (2008). IEC 61000-4-2. *TESTING AND MEASUREMENT TECHNIQUES - ELECTROSTATIC DISCHARGE IMMUNITY TEST*.
- IEC. (2009). IEC 61000-4-8. *Testing and measurement techniques - Power frequency magnetic field immunity test*.
- IEC. (2012). IEC 61000-4-4. *Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test*.
- IEC. (2013). IEC 61000-3-3. *Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current  $\leq 16$  A per phase and not subject to conditional connection*.
- IEC. (2017). IEC 61000-4-5. *Testing and measurement techniques. Surge immunity test*.
- IEC. (2018). IEC 61000-6-4. *Generic standards - Emission standard for industrial environments*.
- IET Wiring Regulations*. (u.d.). Hämtat från What is functional earth: <https://www.wiring-regulations.co.uk/wiki/what-is-functional-earth/> den 10.10.2023.
- Industrial Data Xchange. (den 25 8 2017). Hämtat från PROFINET Installation Tips & Tricks On Guidelines: <http://blog.idx.co.za/2017/08/profinet-installation-tips-tricks-on.html> den 28.3.2023
- Keller, R. B. (2022). *Design for Electromagnetic Compatibility--In a Nutshell*. Springer Cham.
- Kursnavet*. (2005). Hämtat från Faradays bur: [https://www.kursnavet.se/kurser/fy1201/fy1201w/EI\\_4\\_0\\_080\\_Faradays.htm](https://www.kursnavet.se/kurser/fy1201/fy1201w/EI_4_0_080_Faradays.htm) den 26.4.2023.
- Lapp Tannehill. (den 24.8.2021). *Lapp Tannehill*. Hämtat från Choosing the right shielding: [https://www.lapptannehill.com/media/wysiwyg/pdf/brochures/cable\\_shielding\\_types\\_brochure.pdf](https://www.lapptannehill.com/media/wysiwyg/pdf/brochures/cable_shielding_types_brochure.pdf) den 13.3.2023.

- Learn EMC. (2023). *Learn EMC*. Hämtat från Grounding: <https://learnemc.com/grounding> den 27.9.2023.
- Martin, A. (den 1.6.2014). *In Compliance Magazine*. Hämtat från Things You May Not Have Heard About Shielding: <https://incompliancemag.com/article/things-you-may-not-have-heard-about-shielding/> den 19.4.2023.
- Mirka. (u.d.). Hämtat från Företaget: <https://www.mirka.com/sv/fi/top/About-us/> den 27.11.2023.
- Olsson, H. (2016). *Projektrapport frekvensomriktare och EMC*. Elsäkerhetsverket.
- Ott, H. W. (2011). *Electromagnetic Compatibility Engineering*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Pitrak, L. (2023). *Transient Specialists*. Hämtat från Electrical Fast Transient (EFT) Test - Overview, Levels, & Setup: <https://transientspecialists.com/blogs/blog/electrical-fast-transient-burst-iec-61000-4-4> den 11.10.2023.
- PROFINET University. (2023). *PROFINET Basics*. Hämtat från PROFINET Infrastructure – Cat-5 Cable: <https://profinetuniversity.com/profinet-basics/profinet-infrastructure-cat-5-cable/> den 28.3.2023.
- SIBE. (u.d.). Hämtat från Elektronikindustri & ESD (statisk elektricitet): <https://sibe.se/applikationsomraden/elektronikindustri-esd/> den 6.9.2023.
- Siemens. (2012). *EMC installation guidelines / basic system requirements*.
- Siemens. (2012). *Sinamics G120C Getting Started*.
- Siemens. (2014). *Sinamics G120C Pikaohje*.
- Thivakaran, & Chong, P. (2022). *TT Electronics*. Hämtat från HOW TO PREVENT: <https://www.ttelectronics.com/blog/electromagnetic-interference/> den 8.3.2023.
- Transforming Technologies*. (u.d.). Hämtat från Industries Concerned With Static & ESD: <https://transforming-technologies.com/industries-concerned-with-static-and-esd/> den 18.4.2023.
- Tukes. (u.d.). Hämtat från Elektromagnetisk kompatibilitet - EMC: <https://tukes.fi/sv/produkter-och-tjanster/elektriska-produkter/elektromagnetisk-kompatibilitet-emc> den 11.9.2023.
- Vislander, F. (u.d.). *Eddler*. Hämtat från Vågmodellen för Ljus - Elektromagnetisk strålning: <https://eddlar.se/lektioner/vagmodellen-for-ljus-elektromagnetisk-stralning/> den 21.9.2023.
- Williams, T. (2007). *EMC for Product Designers*. Newnes.



# Bilagor

## Bilaga 1. Checklista för EMC, sida 1.

Checklista för EMC		MIRKA
Mirkastrategi för EMC - Linus Grön		6.12.2023
<b>1. Allmänt:</b>		
Beakta tillverkarens installationsanvisningar för apparater.	<input type="checkbox"/>	
Beakta relevanta standarder för elinstallationer.	<input type="checkbox"/>	
<b>2. Jordning:</b>		
Skyddsjord	<input type="checkbox"/>	
- Skydd mot person- och maskinskador från till exempel ESD.		
Funktionsjord	<input type="checkbox"/>	
- Säkerställer korrekt funktion av elektriska apparater.		
Chassijord	<input type="checkbox"/>	
- Potentialutjämning.		
Alla jordningspunkter har samma potential.	<input type="checkbox"/>	
- Motverkar eventuella jordloopar.		
Använd så korta jordningskablar som möjligt.	<input type="checkbox"/>	
Jordkabel bör ha minst lika stor diameter som pluskabel.	<input type="checkbox"/>	
<b>3. Kabelskärmning:</b>		
Kabelskärm jordad i båda ändarna.	<input type="checkbox"/>	
- Motverkar högfrekventa störningar ( $f > 100$ kHz).		
- Rekommenderas vid längre kabellängder.		
- Jordloop kan uppstå på grund av potentialskillnader.		
Kabelskärm jordad i endast en ände.	<input type="checkbox"/>	
- Motverkar lågfrekventa störningar ( $f < 100$ kHz).		
- Rekommenderas endast för lågfrekventa applikationer med korta kabellängder.		
Använd passlig typ av kabelskärm beroende på applikation.	<input type="checkbox"/>	
- Folieskärm för skydd mot låga frekvenser, lättare och mindre kablar.		
- Flätad skärm effektiv mot låga och höga frekvenser, upp till 95% skydd.		
- Folie och flätad skärm är en av de mest effektiva Skärmningstyperna. God tålighet och flexibilitet i kritiska Områden.		
- Spiralskärm liknar en flätad skärm men har enskilda koppartrådar lindade runt kabeln. Mera flexibel och lättare att jorda. Skydd mellan 95% och 98%.		

## Checklista för EMC

Mirkastrategi för EMC - Linus Grön

**MIRKA**

6.12.2023

### 4. Kabeldragning:

Undvik onödigt långa kabellängder.

Motorkablar och signalkablar dras i separata kanaler/kabelhyllor.

Undvik att dra kraftkablar parallellt med signalkablar. Korsning av kablar görs med en vinkel på 90° för att motverka längsspänning.

Kraftkablar (> 400 V) och signalkablar separeras med ett avstånd på minst 20 cm om parallellt dragna.

### 5. Filter

Högpasfilter.

- Ta bort oönskade låga frekvenser.

Lågpasfilter.

- Ta bort oönskade höga frekvenser.

Aktiva och Passiva filter.

- Aktiva filter är sällan användbara.

- Passiva filter är enklare att använda.

### 6. Kapslingar

Apparatlådor/kontrollskåp med tillräckligt EMC-skydd.

- Tillräcklig skyddsklass.

- Gummilister runt dörrar.

### 7. EMC-Förskruvning

EMC-förskruvning används vid ingång till kontrollskåp.

- Skyddande hölje som fästs i kabelskärm.

- Avleder elektromagnetiska vågor över kapslingsytan.

- Skyddar även mot damm och fukt.

- Försäkrar att kabeln hålls fast i höljet.