



AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ  
Avdelningen för elektronik, matematik och naturvetenskap

---

# Frekvensomriktarens påverkan i dagens industri

Andreas Tränstad

2023-05-25

Examensarbete, Grundnivå (yrkesexamen), 15 hp  
Elektronik  
Automationsingenjör, Co-op

Handledare: Niklas Rothpfeffer  
Examinator: Håkan Hugosson

---



## Förord

Examensarbetet är det sista momentet att slutföra i automationsingenjörsutbildningen på Högskolan i Gävle. När detta är slutfört examineras jag som högskoleingenjör inom automation. Omfattningen av arbetet motsvarar totalt 15 högskolepoäng och genomförs under våren 2023 i samarbete med högskolan.

Först så vill jag rikta ett tack till min handledare Niklas Rothpfeffer på Högskolan för engagemang och stöd under dessa veckor. Jag vill även tacka ABB, LKAB och Siemens för det vänliga bemötandet och supporten med erfarna individer som tog sig tid att ställa upp i intervjuer. Era berättelser har bidragit med mycket information och förståelse, vilket utgör basen och har därmed möjliggjort för denna studie.

Slutligen vill jag tacka min sambo Daniella som har varit ett enormt stöd i detta arbete samt under hela studietiden.

*Andreas Tränstad*

Gävle, Maj 2023

## Sammanfattning

Studiens syfte var att kartlägga frekvensomriktarens påverkan i dagens industri. Ett delsyfte var också att studera perspektiv gällande frekvensomriktarens för- och nackdelar, dess funktion utifrån hållbarhet, produktionseffektivitet samt efterfrågan.

Målet med studien var att belysa frekvensomriktare som produkt och hur den bidragit till en hållbar och produktionseffektiv industri globalt sätt idag.

Studien utgick från en kvalitativ forskningsmetod, och det empiriska materialet har baserats på sex semistrukturerade intervjuer från branscher som idag använder sig av frekvensomriktare. Resultatet och delar av studiens syfte analyserades utifrån tidigare forskning och teoretiska perspektiv.

Resultatet visade främst på att frekvensomriktare bidrar med energibesparingar i industrin. Energibesparing sågs även som en av komponentens främsta fördelar, följt av att den ansågs vara kostnadseffektiv i förhållande till dess långa livslängd. Kostnaden och komplexiteten i produkten var det som identifierades som komponentens nackdelar.

I förhållande till hållbarhet går frekvensomriktare till stor del i linje med två av målen i Agenda 2030, hållbarhetsmål 9 och 12. I detta avseende är frekvensomriktarens energibesparing det centrala för produkten utifrån hållbarhetssynpunkt.

I förhållande till produktionseffektivitet konstaterades frekvensomriktare vara energimässigt mer effektiva, och således påverka processflödet till det bättre vilket tyder på ökad produktionseffektivitet. Komponenten ansågs som en smidig produktionslösning som möjliggör för flödesstyrning, samt att hålla en jämn kvalitet på produktionsflödet.

Den efterfrågan som finns idag på frekvensomriktare, tycks utifrån studiens resultat bara öka. Det konstateras att det finns en stor efterfrågan idag, samtidigt som det beroende på nation, bara verkar expanderas.

## **Abstract**

The purpose of the study was to cover the impact of variable frequency drives in today's industry. A partial aim was also to study perspectives regarding the advantages and disadvantages of the variable frequency drive, its function based on sustainability, production efficiency and demand.

The study was based on a qualitative research method, and the empirical material has been based on six semi-structured interviews from industries that currently use variable frequency drives. The results and parts of the study's purpose were analysed based on previous research and theoretical perspectives.

The results mainly show that variable frequency drives contribute to energy savings in our industries. Energy saving was also seen as one of the component's main advantages, followed by the fact that it was considered cost effective in relation to its long lifetime. The cost and complexity of the product were identified as the component's disadvantages.

In relation to sustainability, variable frequency drives mainly match with two of the goals in Agenda 2030, sustainability goals 9 and 12. In this regard, the variable frequency drives energy saving is central to the product from a sustainability point of view.

In relation to production efficiency, variable frequency drives were found to be more energy efficient, and for that reason affect the process flow for the better, which indicates increased production efficiency. The component was considered as a flexible production solution that enables flow control, as well as maintaining a consistent quality of the production flow.

Based on the results of the study, the demand that exist today for variable frequency drives only seems to increase. It is stated that there is a great demand today, while depending on the nation, it only seems to be expanding.

# Innehållsförteckning

Förord .....	i
Sammanfattning .....	ii
Abstract.....	iii
1    Introduktion .....	1
1.1    Bakgrund.....	1
1.2    Syfte och målsättning .....	2
1.3    Frågeställning .....	2
1.4    Avgränsningar.....	2
2    Teori .....	3
2.1    Frekvensomriktare .....	3
2.1.1    Allmänt och funktion.....	3
2.1.2    Direktomriktare.....	4
2.1.3    Mellanledsomriktare .....	4
2.1.4    Vanliga motorapplikationer .....	5
2.1.5    Remote och molntjänster .....	6
2.2    Elmotorn .....	7
2.2.1    Asynkronmotorn.....	7
2.2.2    Synkronmotorn .....	8
2.2.3    Varvtalsreglering.....	8
2.3    Harmonisk distorsion.....	9
2.3.1    Orsaker till övertoner.....	9
2.3.2    Förebyggnad till övertoner .....	10
2.4    Regenerativ energi .....	10
2.5    Lagar och direktiv .....	11
2.5.1    Ekodesigndirektivet .....	11
2.5.2    EMC - förordningen.....	11
2.5.3    EMC - standard för frekvensomriktare .....	12
2.5.4    EMC - lagen .....	12
2.5.5    EMC - direktivet.....	12
2.6    Fördelar.....	13
2.7    Nackdelar.....	14
3    Metod.....	15
3.1    Val av forskningsmetod .....	15
3.2    Forskningsprocess.....	16
3.3    Avgränsningar och urval .....	17
3.4    Genomförande och material .....	17
3.4.1    Insamling av studiens data .....	18
3.4.2    Tillvägagångssätt samt kontakt med deltagare .....	19
3.5    Databearbetning och analysmetod .....	19
3.6    Studiens kvalitet och generaliserbarhet.....	21
3.7    Kritisk reflektion av metod.....	21
3.8    Etiska aspekter .....	22

3.9	Presentation av deltagare .....	24
4	Resultat och analys .....	25
4.1	Vilken påverkan har frekvensomriktare tillskillnad från kontaktordrift? .....	25
4.1.1	Empiriskt material .....	25
4.1.2	Analys .....	27
4.2	På vilka sätt har frekvensomriktare påverkat processflödet? .....	27
4.2.1	Empiriskt material .....	27
4.2.2	Analys .....	29
4.3	Hur ser efterfrågan ut idag bland våra industrier? .....	29
4.3.1	Empiriskt material .....	29
4.3.2	Analys .....	32
4.4	För- och nackdelar .....	32
4.4.1	Empiriskt material .....	32
4.4.2	Analys .....	34
5	Diskussion .....	35
5.1	Förslag på vidare forskning .....	37
6	Referenser .....	38
7	Bilagor .....	A1
7.1	Informationsbrev och samtyckesformulär .....	A1
7.1.1	Samtycke till att delta i studie .....	A2
7.1.2	Kontaktuppgifter samt studiens ansvariga .....	A2
7.2	Intervjuguide .....	A3
7.2.1	Intervjufrågor .....	A3

# 1 Introduktion

Att elanvändningen har ökat markant och förändrats över tid är ett erkänt konstaterande. Oljan blev dyrare, kärnkraften byggdes ut och det fanns mer el att tillgå vilket resulterade i att både industrier samt hushåll började använda el i stället för olja i allt större utsträckning. Enligt energimyndigheten hade Sverige på 1970-talet en total elproduktion på 59 TWh och 2021 hela 168 TWh. I takt med den uppmätta inflationen som vi befinner oss i idag, så kommer stora delar från energipri- serna [1], [2].

Vidare uppger naturvårdsverket att en tredjedel av Sveriges energianvändning används inom industrin. Energikostnader är en stor del av ett företags omkostnader vilket gör att hållbara lösningar för minskad energianvändning är aktuellt och högt prioriterat i dagens inflationsläge [3].

Energieffektivisering innebär inte bara minskade energikostnader, utan genererar även vinster för miljön. ABB är en stor global tillverkare av frekvensomriktare vilket gör dem aktuella för denna studie och de menar på att två tredjedelar av industrier- nas elanvändning används för elmotorer. Vidare påstår de att en stor del av energin går till spillo [4].

Arbetet kommer att belysa frekvensomriktare som komponent, samt dess för- och nackdelar inom dagens industri. Perspektiv utifrån hållbarhet, produktionseffektivitet och efterfrågan kommer att tolkas och analyseras.

## 1.1 Bakgrund

Frekvensomriktare är en produkt som idag används globalt främst inom tyngre industrier men också inom städer och infrastruktur för att driva elmotorer till en hel del nyttiga samhällsfunktioner som till exempel hissar, rulltrappor, pumpar och fläk- tar. Utvecklingen går snabbt framåt och frekvensomriktare gav många fördelar när den sattes i drift. Möjligheten att få en stabil varvtalsreglering har bidragit till en lägre energiförbrukning vilket har resulterat i stora kostnadsbesparingar. Ett ytterli- gare bidrag är den besparing som görs på elmotorer vilket får en längre livslängd. Detta tack vare att elmotorn kan arbeta på önskvärd hastighet.

Sammanfattningsvis skulle en implementering av frekvensomriktare på drifter som ej avses drivas kontinuerligt bidra till att en stor mängd energi kan besparas. Detta skulle på sikt kunna bidra till global hållbarhet och effektivitet i dagens industri.



## 1.2 Syfte och målsättning

**Studiens syfte** är att kartlägga frekvensomriktarens påverkan i dagens industri. Ett delsyfte är också att studera perspektiv gällande för- och nackdelar kring frekvensomriktare, dess funktion utifrån hållbarhet, produktionseffektivitet samt efterfrågan.

**Målet med studien** är att belysa huruvida frekvensomriktare är en bra produkt och hur den bidragit till en bättre hållbar och produktionseffektiv industri globalt sätt idag.

## 1.3 Frågeställning

Studiens tre frågeställningar som skall besvaras i denna rapport är:

- Vilken påverkan har frekvensomriktare tillskillnad från kontaktordrift?
- På vilka sätt har frekvensomriktare påverkat processflödet?
- Hur ser efterfrågan ut idag bland industrier?

## 1.4 Avgränsningar

Studien kommer baseras på en kvalitativ metodansats där insamling av empiri kommer från respondenter inom området från företag i form av semistrukturerade intervjuer. Urvalet kommer att baseras på ett bekvämlighetsurval med hänsyn till studiens tidsaspekt och längd utifrån de riktlinjer som föreligger. Val av respondenter och företag har valts utifrån industrier som anses relevanta för ämnet, och arbetar med frekvensomriktare. Studien kommer bestå främst av teori, snarare än praktiska inslag vilket också kan ses som en avgränsning i arbetet. Detta beror på att praktiska inslag i högskolans regi inte bidrar till något högre mervärde för studien. Arbetet är tilldelat från högskolan och inte ett specifikt företag. Därav den teoretiska avgränsningen i examensarbetet.

## 2 Teori

I detta kapitel redogörs tidigare forskning och teorier kring frekvensomriktare som tar upp funktionen, frekvensomriktarens delar, förhållningsätt till lagar och regler samt för och nackdelar. Relevanta elmotorer, störningar och regenerativ energi finns också beskrivet. Teorin grundar sig i vetenskapliga artiklar websidor och böcker.

### 2.1 Frekvensomriktare

#### 2.1.1 Allmänt och funktion

Under senare 1900-tal utvecklades frekvensomriktare i snabb takt. Detta beror på att utvecklingen av mikroprocessorer och halvledarkomponenter gick framåt och därmed blev prismässigt konkurrenskraftiga. Idén för hur en frekvensomriktare är uppbyggd är dock oförändrad [5]. Figur 1 visar en schematisk bild för frekvensomriktarens uppbyggnad. Frekvensomriktarens syfte och funktion är att omvandla en växelspanning av en frekvens till en växelspanning av, vanligen, variabel frekvens. Den består av tre huvudkomponenter och kan delas in i två grupper, mellanledsomriktare och direktomriktare. Med denna teknik varieras rotationshastigheten hos en elmotor genom att i stället styra frekvensen för den elektriska kraft som tillförs [6]. Detta möjliggör en kontinuerlig processhastighetskontroll som anpassar sig efter olika belastnings krav vilket bidrar till bättre resultat och energibesparingar [7].

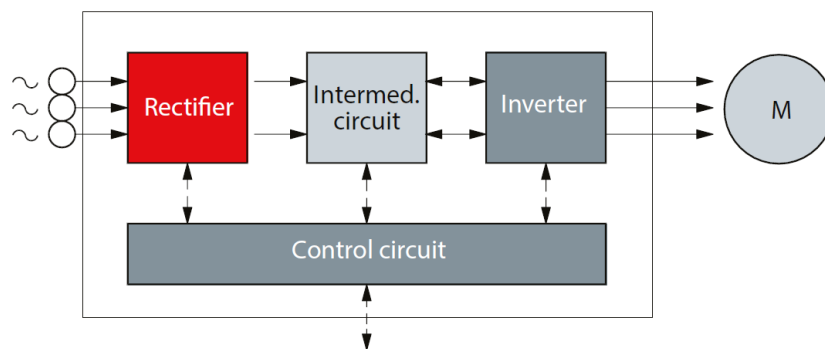


Fig. 1. Blockschema för en frekvensomriktarens uppbyggnad

## 2.1.2 Direktomriktare

Ett annat ord för direktomriktare är cyklokonverterar och används för en- eller fler-faskopplingar. Utgående frekvens är som högst hälften av den ingående frekvensen och är därför främst framtagen för att driva större långsamtgående motorsystem.

Den används också för omvandling av den ordinarie 50 Hz frekvensen till en tredjedel, det vill säga 16,7 Hz som distribueras till järnvägsnätet. Nuförtiden är direktomkopplare till större del ersatt av PWM (Pulse Width Modulation) - omriktare [6].

## 2.1.3 Mellanledsomriktare

Det som skiljer en mellanledsomriktare från en direktomriktare är att frekvensen behandlas i tre olika steg. Först likriktas den inkommande frekvensen för att skapa en likspänning, sedan omvandlas den vidare till en utgående spänning med annan frekvens än den inkommande. Fördelen med mellanledsriktaren är möjligheten till överttonreducering, nackdelen är större förluster som medförs av fler komponenter [6].

### 2.1.3.1 Likriktaren

I frekvensomriktarens likriktardel finns två grundtyper av likriktare, styrda och ostyrda. Denna del omvandlar den ingående växelspanningen och avger pulserande likspänning. Detta genomförs med uppkopplade dioder som förhindrar växling av polaritet i spänningen. Den matas med en eller trefasväxelspanning från nätet [6].

### 2.1.3.2 Mellankretsen

I frekvensomriktarens mellandel finns en induktor och ett kondensatorbatteri. När dessa komponenter sammansätts bildar dem ett så kallat LC-filter som glättar den ojämna strömmen som kommer ifrån likriktardelen. Det finns tre typer av mellankretsar, en som omvandlar likriktarspänningen till likström, en som antingen stabiliserar eller glättar likspänningen innan det sänds vidare till växelriktaren. Och sist en som omvandlar likspänningen från likriktaren till variabel spänning [6].

### 2.1.3.3 Växelriktaren

Växelriktaren är frekvensomriktarens sista del och har till uppgift att omforma mellankretsens spänning till den utgående spänningens nya frekvens. Detta genomförs med hjälp av halvledare som "hackar upp" likspänningen och distribuerar ut den som pulser. Sedan genom växelvis ut distribution av positiva pulser från mellankretsens positiva pol och dem negativa från den negativa polen skapas en växelspanning [8].

### 2.1.4 Vanliga motorapplikationer

Typiska applikationer där frekvensomriktare installeras är vanligen tillämpningar med variabelt vridmoment, till exempel pump och fläktdrifter. Centrifugalpumpar och fläktar har en stor energibesparingspotential eftersom dessa applikationer följer följande affinitetslagar [5].

$$\frac{Q_1}{Q_2} \sim \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

$$\frac{H_1}{H_2} \sim \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (2)$$

$$\frac{P_1}{P_2} \sim \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (3)$$

I ekvation (1) är flödet ( $Q$ ) proportionellt mot varvtalet ( $n$ ). I ekvation (2) är uppfordringshöjd ( $H$ ) proportionellt mot varvtalet ( $n$ ) i kvadrat. Och i sista ekvationen (3) är effektförbrukningen ( $P$ ) proportionellt mot varvtalet ( $n$ ) i kubik. Detta innebär att flödet ökar linjärt med varvtalet, medan uppfordringshöjd ökar kvadratisk och effekten ökar kubiskt. Det skulle teoretiskt sett leda till en energiminskning på 50% om varvtalet sänks 20% [5]. Tillämpas affinitetslagarna skulle en nedreglering av centrifugalpumpens varvtal till hälften resultera i halverat volymflöde, uppfordringshöjd till en fjärdedel och effektbehov på pumpaxeln till en åttondel [9].

Generellt måste ett pumpsystems vätskeflöde regleras för att uppfylla processens behov. Detta är möjligt via flera metoder. Dels kan vätskeflödet varieras genom start och stopp av pumpen, anslutning av fler pumpar, tvåhastighetsdrift av pumpar, dels kontinuerliga metoder som varvtalsreglering och strypning [10].

Vid Strypning styrs flödet via en reglerventil, genom att begränsa pumpens utlopp minskas flödet. Denna metod bidrar dock till energiförluster då energin som går åt för att kompensera motståndet går till spillo. Det skapas dessutom en strömningsförlust  $h_{fstrypp}$  som kräver att pumpaxeln tillför effekten  $P_{strypp}$  enligt ekvation (4) nedan [11].

$$P_{strypp} = \frac{\rho g Q_2 h_{fstrypp}}{1000 \eta_p} [W] \quad (4)$$

Där  $P_{strypp}$  är den tillförda effekten på pumpaxeln,  $\rho$  är densiteten,  $g$  är jordaccelerationen,  $Q_2$  är flödet,  $h_{fstrypp}$  är strömningsförlusten i strypningen och  $\eta_p$  är pumpens verkningsgrad.

Vid varvtalsreglering kan pumpens varvtal styras till det exakta flöde som efterfrågas. Denna typ av reglering är också det tillvägagångsätt som bidrar till minst energiförluster. Nackdelen är i stället en kostnadsfråga då varvtalsreglering är en dyrare investering. Om det förekommer höga flödesvariationer är rekommendationen att använda sig av varvtalsreglering för pumpsystem [10].

Energibesparingar med varvtalsreglering som grund har beräknats för pumpdrifter på flera platser i Sverige. Besparingen är mellan 30–50 % eller sett till effekt 3–5 miljarder kWh per år, vilket utgör ungefär samma mängd el som produceras av ett kärnkraftverk. Kostnadsmissigt har varvtalsreglering betalat sin investering efter 1–3 år jämfört med strypning och ca 5–10 år jämfört med start-stoppreglning förutsatt liten andel statisk uppföringshöjd [12].

### **2.1.5 Remote och molntjänster**

Både ABB och Siemens utvecklar sina omriktare till att bli mer uppkopplade och användarvänliga. ABB använder sig av ABB Ability som är en tjänst för prediktivt underhåll. Tjänsten kombinerar ett remote team med ABB:s expertis, uppskattning av drivkomponenternas livslängd med algoritmer från maskininlärningar och molnbereäkningar samt analyser av data för att föreslå riktade underhållsåtgärder för drivtillämpningar innan problemen uppstår. Detta för bättre tillgänglighet och drifttid [13].

2019 lanserade Siemens Sinamics G120X som är digitaliserings redo och kan länkas till tjänster som MindSphere och Sinamics Connect 300. Dessa tjänster ger möjlighet att analysera och visualisera driftdata som samlas in från frekvensomriktare, drivkedjan och maskinen för att på ett lättare sätt förutspå underhåll och optimering av processer [14].

## 2.2 Elmotorn

### 2.2.1 Asynkronmotorn

En asynkronmaskin är en elektrisk maskin som också går under namnet asynkronmotor eller asynkrongenerator beroende på om motorn alstrar eller förbrukar effekt. Rotorn som är den roterande delen arbetar på varvfrekvens som är asynkron med den tillförda växeffektens frekvens. Asynkronmotorn har omfattande arbetsområden inom industrin och anses mycket viktig av den anledningen. Typiska arbetsområden är att driva fläktar, pumpar och transportband. Tack vare sin kraftfulla konstruktion som leder till hög driftsäkerhet samt lågt underhåll och att den är ekonomiskt försvarbar att tillverka, är asynkronmotorn den ledande motortypen inom industrin. Asynkrongeneratoren är mer ovanligt förekommande idag [6].

Asynkronmotorn kan även benämnas induktionsmotor då grunden till rotorns magnetfält är elektromagnetisk induktion. Elektromagnetisk induktion uppstår när en ledare utsätts för ett tidsvarierande magnetfält. Genom att koppla statorns terminaler till en trefasväxelspänning genereras ett roterande magnetfält runt rotorn. Magnetfältets frekvens är nätfrekvensen dividerat med häften antalet pol-par, också kallat den synkrona frekvensen. Det roterande magnetfältet inducerar en ström i rotorledarna som enligt Lenz lag ger upphov till ett vridmoment runt rotoraxeln som tenderar att minska skillnaden mellan statorfältets frekvens och rotorns rotationsfrekvens [6].

Om rotorns rotationsfrekvens är i samma nivå som den synkrona frekvensen kommer ingen aktiv effekt att uppstå och inget vridmoment kommer att genereras för att bidra till rotationsrörelsen. I en helt förlustfri asynkronmotor skulle detta vara sluttillståndet för en icke belastad motor, men i och med oundvikliga förluster som till exempel värme skulle rotationsfrekvensen alltid vara lägre än den synkrona frekvensen [6].

### 2.2.2 Synkronmotorn

Synkronmaskinen har tre vanliga arbetsområden, generator, motor och synkronkompensator. Det huvudsakliga användningsområdet för synkronmaskiner är som generatorer i kraftverk. Flertal kraftverk i Sverige använder synkrongeneratorer för att omvandla mekanisk energi till elektrisk. Synkrongeneratorer används speciellt i vattenkraftverk som drivs av turbiner. Synkronmotorer är ovanliga vid motordrifter. Vanligast är drifter med väldigt stor effekt, flera MW och svaga nät. Asynkronmotorer är enklare, starkare och billigare att köpa in. Anledningen till att välja en synkronmotor är i de fall det efterfrågas ett konstant varvtal. En annan anledning är dem inte kräver lika mycket startström, vilket är önskvärt i vissa fall. Ett tredje skäl till att välja en synkronmotor kan vara dess förmåga att generera reaktiv effekt och därför användas för faskompensering. Stora synkronmotorer kan också vara effektivare än asynkrona. De största turbingeneratorerna kan uppnå verkningsgrader på över 98% vilket är långt ifrån vad asynkronmaskiner klarar av [6].

### 2.2.3 Varvtalsreglering

I kombination med sambanden för bestämning av det synkrona varvtalet samt eftersläpning kan det asynkrona varvtalet bestämmas för motorn enligt ekvationer (5), (6) och (7) nedan:

$$n_s = \frac{2}{p} * f \left[ \frac{rad}{s} \right] \quad (5)$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (6)$$

$$n = \frac{2}{p} * f(1 - s) \left[ \frac{rad}{s} \right] \quad (7)$$

Där  $n_s$  är det synkrona varvtalet,  $f$  nätfrekvensen,  $p$  antalet poler,  $n$  motorns verkliga varvtal och  $s$  eftersläpning. Ekvation (7) ger upphov till de tre principerna för varvtalsreglering som fås genom ändring av frekvens, eftersläpning eller pol-talet [6]. Detta lägger grunden till för hur frekvensomriktare kan genomföra varvtalsregleringar för asynkronmotorer [6].

## 2.3 Harmonisk distorsion

I ett idealiskt fall är strömmen i ett elnät en ren sinusvåg och innehåller inga övertoner. Detta är något som avviker i verkligheten, där strömmen i denna sinusvåg normalt sätt innehåller övertoner. I figur 2 och 3 visas skillnaden på ett idealt och verkligt fall av övertoner. Den totala mängden övertoner uttrycks som ett THD (Total Harmonic Distortion) procentvärde [15].

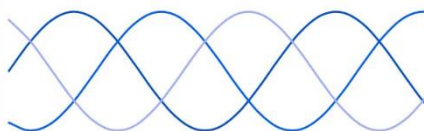


Fig. 2. Ren sinusformad spänning och ström utan övertoner.



Fig. 3. Spänning och ström avvikandes från sinusformen innehållandes övertoner.

Motorer och generatorer påverkas negativt av övertoner till följd av icke linjära belastningar. Typiska konsekvenser är ökad uppvärmning på grund av järn- och kopparförluster vid de harmoniska frekvenserna, högre ljudemissioner och harmoniska strömmar i rotorn. Även systemobalans, stående obalans eller jord fel uttrycks som negativa sekvensströmmar vilket också reflekteras in i rotorn som harmoniska strömmar, vilket ökar de konsekvenser som noterats ovan [5].

### 2.3.1 Orsaker till övertoner

Övertoner skapas i det elektriska nätet av icke-linjära belastningar, som till exempel strömförsörjning till PC, PLC (Programmable Logic Controller), TV osv [15]. Fler exempel som nämns är:

- Kopiatorer, hushållsapparater
- Diod- och tyristorbryggor



- Avbrottsfri strömförsörjning
- Motorstartare
- Strömförsörjning med switchat läge
- Frekvensomriktare med variabel hastighet

### 2.3.2 Förebyggning till övertoner

Det finns en del ineffektiva åtgärder för att motverka övertoner genom att lägga till kylning eller överdimensionera utrustningen. Ett alternativ är att använda lågharmoniska frekvensomriktare som producerar exceptionellt låg övertonsinnehåll och möter kraven som ställs av lågharmoniska standarder. I jämförelse med en mer konventionell frekvensomriktare reduceras övertonsinnehållet upp till 97%, vilket ger en typisk total övertonsströmdistorsion på 3%. Lägre övertoner och full motorspänning innebär minskade systemförluster och bättre total systemeffektivitet [15].

## 2.4 Regenerativ energi

Det finns idag frekvensomriktare som tar vara på och utnyttjar bromsenergin likt en elbil. Detta är något som ger kostnadsbesparingar för användaren. Denna regenerativa funktion gör att motorn i stället börjar fungera som en generator och matar tillbaka energin till frekvensomriktaren och vidare ut till matande nät vid motorinbromsningar. När de mer vanliga bromstyperna som mekanisk bromsning eller elektrisk bromsning med bromsmotstånd används förloras energin i form av värme och på så sätt inte tas tillvara på och utnyttjas. Då värmen behöver motverkas resulterar detta i stället i kostnader för kyllösningar. Idag finns frekvensomriktare med denna regenerativa bromsningsfunktion som ger upphov till en energieffektiv och kostnadseffektiv lösning för ändamålet [16]. Figur 4 illustrerar denna regenerativa funktion [5].

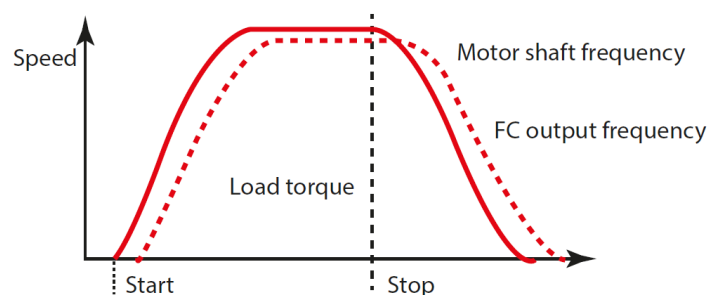


Fig. 4. Start/stop illustration för regenerativ princip.

## 2.5 Lagar och direktiv

### 2.5.1 Ekodesigndirektivet

En stor del av Sveriges totala elanvändning består av elmotordrivna system. Enligt Energimyndigheten har det beräknats

till nästan 40 % av totalen [17]. Detta har resulterat i att det idag ställs ekodesignkrav för elmotorer, samt på energieffektivitet hos elmotorer. Något som kan härledas till EU:s förordning som går under ekodesigndirektivet. Industrin är en stor förbrukare av elmotorer, där frekvensomriktare går under kategorin varvtalsreglerare. Följande krav ställs från och med 1 juli 2021 för varvtalsreglerare, citerat från motorförordningen [17]:

- Varvtalsreglerare ska motsvara minst IE2 effektivitetsklass när den arbetar mot motorer inom effektspannet 0,12 kW – 1000 kW.
- Teknisk information ska innehålla data på effektförluster vid ett antal driftsfall för frekvensomriktare och information om förbrukningen under standbyläge.

EU-kraven har gjort det möjligt att använda 135 TWh mindre el på årsbasis, och utifrån den beräknade elanvändningen inom industrin där elmotordrivna system står för 65% bidrar detta till mindre elförbrukning och en ökad energieffektivitet [17].

### 2.5.2 EMC - förordningen

Enligt EMC (Electromagnetic Compatibility) – förordningen skall god branschpraxis efterföljas samt de anvisningar som tillhandahålls från tillverkaren. Vidare säger förordningen att utrustning endast får användas så ingen risk för oacceptabla störningar finns. Utrustningen skall fungera tillfredsställande i sin elektromagnetiska omgivning. Tillsynsmyndigheten för den här typen av produkter är elsäkerhetsverket [18].

### **2.5.3 EMC - standard för frekvensomriktare**

Denna standard avser varvtalstyrda elektriska drivsystem, där bland annat frekvensomriktare ingår. Framför allt avsedd för tillverkare men ger även en del information för installationer. Enligt denna standard skall frekvensomriktare installeras och driftsättas av fackkunniga med särskild fackkunskap som också inkluderar EMC-kunskaper. En egen bedömning från standarden är att djupare kunskaper avseende zonindelning, skärmning och filtrering är ett rimligt krav med tanke på potentialen för EMC-problem.

De erforderliga nivåerna av ledande och utstrålade störningar som anges i standarderna anses vara typiska för elektrisk utrustning, som i allmänhet fungerar bra i allmänna miljöer och inte stör annan utrustning. Detta förutsätter dock att installationen har utförts i enlighet med tillverkarens instruktioner och sedvanlig god praxis avseende EMC [19].

### **2.5.4 EMC - lagen**

Lagen avser beträdande för tillsyn men avser ej bostäder. Det finns möjligheter att kräva åtgärder ifall störningar uppstår. Konsekvenser för den som bryter lagen kan dömas till böter alternativt fängelse i högst ett år [20].

### **2.5.5 EMC - direktivet**

EMC-direktivet är en fördjupning som är heltäckande avseende elektromagnetisk kompatibilitet. Den som installerar har ingen större anledning att fördjupa sig i direktivet förutom en översyn av direktivets bilaga I, där det framkommer att en fast installation ska utföras enligt god branschpraxis och i enlighet med informationen om hur ingående komponenter är avsedda att användas [21]. Det finns även en guide "Guide for the EMC Directive 2014/30/EU" som ger bra förklarande texter, analyser och slutsatser till direktivet [22].

## 2.6 Fördelar

Asynkronmaskinen är ett exempel på en elmotor som inte har kunnat varvtalregleras vidare enkelt utan frekvensomriktare. I flertal tidigare tillämpningar har principen ”gasa och bromsa” använts samtidigt. För att sätta det i perspektiv menas, att om luftflödet från en fläkt skulle behöva regleras användes spjäll för att styra mängden flöde, medan elmotorn ständigt går på maxvarv. Detta förhållande gäller även för flertal pumpdrifter där det i stället för spjäll används strypventiler för att kontrollera flödet, där även här elmotorn går på maxvarv [23]. Sveriges fläktdrifter förbrukade ca 10 TWh år 2002, till en kostnad av 6 miljarder kronor. För att sätta det i perspektiv motsvarar den energiförbrukningen en femtedel av den totala elproduktionen från kärnkraftverk idag [24]. Genom att använda sig av varvtalsreglering med en frekvensomriktare i stället för stryp och spjällreglering i tidigare nämnt exempel finns det möjlighet till energibesparingar [23].

I dagens teknologi ställs större krav på våra elmotorer där olika hastigheter efterfrågas. Den äldre traditionella metoden som använts tidigare har huvudsakligen två tillstånd, start med full effekt och stanna. Vid installation är motorer dimensionerade för att ge den effekt som krävs. Om el-motorn ständigt jobbar på sitt maxvärde för att kunna leverera den maximala belastningen, förblir effekten till motorn konstant vid maxvärdet. Detta medför onödigt slitage på el-motorns delar samt bidrar till hög energiförbrukning. Om en frekvensomriktare i stället skulle reglera motorns rotationshastighet vid minskad belastning skulle det bidra till betydande energibesparingar, produktionseffektiviseringar och minskat slitage [25].

Skulle det exempelvis göras en sänkning av rotationshastigheten på en fläkt med 20% minskar energiåtgången med 50%. Installation av frekvensomriktare på fläktemotorn gör att fläkten automatiskt möter den reducerade kapaciteten och saktar ner som svar på den minskade efterfrågan och på så sätt sparar både energi och slitage på motor [26].

Tekniken bidrar till förbättrad prestanda, förlängd livslängd och minskad energiförbrukning för de system och enheter som är installerade på. Denna teknik justerar frekvensen och RMS-värdet för utspänning kontinuerligt som ger upphov till att motorn kan arbeta med hög verkningsgrad och effektfaktor  $\cos(\varphi)$ . En expertuppskattning har tytt på att användningen av el-motorer med varierbar frekvens är ekonomiskt försvarbar i 50% av dagens tekniska anläggningar, trots det återfinns tekniken endast i 10% av dem idag. Enligt uppskattningarna kan en frekvensomriktare täcka upp hela 60 % av den årliga ökningen av elförbrukning inom industrin vilket skulle motsvara 16 TWh. Sett till koldioxidutsläppen för denna mängd energi skulle detta innebära en besparing på 5,27 miljoner ton CO<sub>2</sub> per år [27].

Frekvensomriktare som produkt är inte bara en kostnadseffektiv och energibesparande teknik, den bidrar också till en ökad tillförlitlighet och spänningsstabilitet i systemet. Vilket leder till längre livslängd för maskinen [7].

En korrekt installerad frekvensomriktare med en korrekt dimensionerad motorkonstruktion är en mycket hållbar teknik i många avseenden. Tekniken bidrar till bättre processkontroll, mindre slitage på mekaniska delar, lägre bullernivåer som bidrar till bättre arbetsmiljö, och framför allt stora energibesparingar. En modern frekvensomriktare med den senaste tekniken inom hårdvara och mjukvara har stöd för säkerhet mot strömstörningar, vilket är väldigt värdefullt i kontinuerliga processsystem som till exempel metallgjutmaskiner, pappersmaskiner och rullmaskiner. Med denna säkerhet undviks kostsamma och onödiga stilleståndstider [28].

## 2.7 Nackdelar

Frekvensomriktare är en väldigt effektiv teknik men det finns nackdelar. Enligt en studie från 2014 [29] har tillverkare problem att hantera värmen som uppstår i frekvensomriktare då det inte kan produceras en idealisk uppsättning komponenter för att motverka detta. Normalt sätt ligger effektklassningen mellan 95% och 98% vilket innebär att mängden luft som måste flyttas kommer att producera värme. Denna värme medför att kostnader för kylösningar läggs till i designen. Beroende på installationsplats och om det finns till exempel ett klassificeringskrav måste luftflödet som går till frekvensomriktare rensas och trycksättas vilket ytterligare medför extra kostnader. Det andra betydande problemet är systemövertoner, även kallat elektromagnetisk störning, vilket medför problem för de elektriska komponenterna i frekvensomriktare samt övrig teknisk utrustning i närområdet. Det finns dock ett antal sätt att hindra denna störning på, en lösning är att placera ett EMC-filter på vardera sida om frekvensomriktare. Det sista problemet är att tekniken kan skapa belastningsproblem som leder till effektförluster. Detta beror på karaktären hos sinusformade vågor som kommer från okontrollerade övertoner.

En guide från 2016 [23] fortsätter att beskriva tidigare nämnda problem där många frekvensomriktare idag är förorsaken till störningar för närliggande utrustning som till exempel givare, styrsystem och datorkommunikationer.

Trots att frekvensomriktare i sig genererar en del nackdelar i form av värme, effektförluster och övertoner är det en väldigt populär produkt idag tack vare betydande ekonomiska fördelar [29].

### 3 Metod

*I detta kapitel redogörs val av metod följt av en motivering till varför dessa val har gjorts. Perspektiv utifrån vilka faktorer som kan påverka resultatets trovärdighet kommer att tas i beaktning. Därefter kommer forskningsprocessen att beskrivas i sin helhet, vilket kommer innefatta teoretiskt- och empiriskt material samt en analys. Arbetets process kommer att redovisas och aspekter för hur de forskningsetiska principerna har efterföljts.*

Studiens undersökning kommer utgå från en kvalitativ metodansats. Insamling av empirin kommer baseras på respondenter som verkar inom detta område från företag som bland annat LKAB, ABB och Siemens i form av semistrukturerade intervjuer.

Studiens genomförs på ett kvalitativt arbetsätt för att synliggöra och analysera erfarna individers upplevelser kring frekvensomriktare inom industrier som använder sig av komponenten. Studien avser att kartlägga frekvensomriktarens för- och nackdelar i dagens industri. Vidare ämnar studien belysa vad komponenten bidrar med i förhållande till hållbarhet, produktionseffektivitet och i vilken utsträckning samhället samt industrier efterfrågar frekvensomriktarprodukter idag.

För att uppnå syftet kommer intervjuer med kontakter inom relevant industri i kombination med litteraturöversikter och teorier att presenteras. Studien utgår från kvalitativ forskningsmetod för att kunna tolka och analysera respondenternas upplevelser av frekvensomriktare. Detta kapitel beskriver studiens tillvägagångsätt och premisser.

#### 3.1 Val av forskningsmetod

I det inledande kapitlet förklaras att perspektiv som kommer att studeras är frekvensomriktarens för- och nackdelar samt komponentens funktion utifrån hållbarhet, produktionseffektivitet samt efterfrågan. För att kunna studera detta behövdes en ökad förståelse för hur frekvensomriktare används i dagens industri, och hur dess tillverkare samt nyttjare ser på produkten. Därmed ansågs en kvalitativ forskningsmetod vara mest lämpad för att uppnå studiens mål.

Ahrne och Svensson [30] menar på att kvalitativ metod är att föredra som metodansats där intervjuer som i detta fall är avsedda för att förstå och analysera ett fenomen. Med vald metodansats har möjlighet getts att studera enskilda individers upplevelser av frekvensomriktare som produkt utifrån studiens mål och syfte. Detta är även något som stärks i Bryman [31] som en lämpad metod för att öka förståelsen för den verklighet som i föreliggande studie, frekvensomriktare verkar inom. Enligt Bryman [31] är en kvalitativ forskningsmetod även lämplig där det induktiva och tolkande är centralt i studien. En induktiv metod syftar till det subjektiva resultatet som intervjupersonerna kommer bidra med till studien. Där det avses att dra slutsatser utifrån individuella och enskilda svar som kommer att vara av erfarenhetsmässig karaktär. Föreliggande studie grundar sig på ett begränsat urval av litteraturstudier och teoretiska utgångspunkter inom ämnet, samt empiri i form av de resultat som framkommit genom intervjustudien.

### 3.2 Forskningsprocess

Nedan följer en illustration för hur studiens forskningsprocess har sett ut under arbetets gång. Den ordningsföljd som beskrivs i Fig. 5 utgör en illustration som är inspirerad av Alan Bryman [31] upplägg för en kvalitativ forskningsprocess.

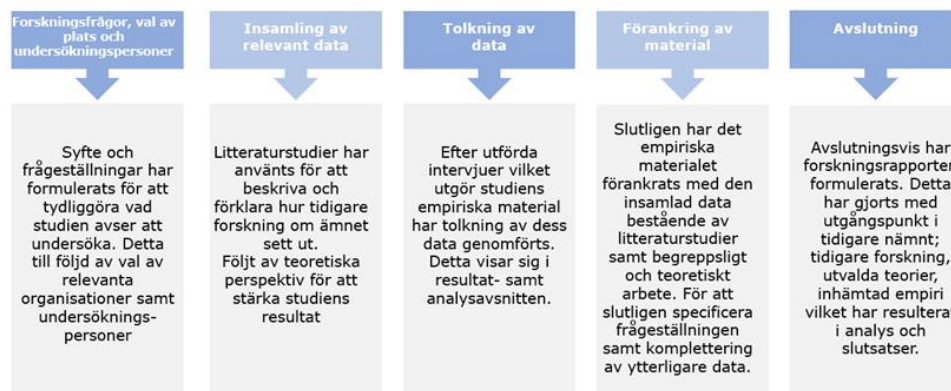


Fig. 5. Forskningsprocessen. Egen illustration

### 3.3 Avgränsningar och urval

Inför studiens utförande har avgränsning skett utifrån val av intervjupersoner samt vilka organisationer som har ansetts kunna tillföra information. Detta för att stärka studiens syfte. Studiens syfte att studera frekvensomriktare, förutsatte att samtliga intervjupersoner (1) har arbetat eller arbetar med frekvensomriktare, och (2) arbetar inom en organisation som använder sig av frekvensomriktare.

Studien har främst baserats på ett målstyrt urval, vilket möjliggör för att använda fler än en urvalsmetod. Ett målstyrt urval innebär att intervjupersoner inte har valts ut på en slumpmässig basis, utan på ett strategiskt sätt så att de som väljs ut ska vara relevanta för studiens forskningsfrågor [31]. Till att börja med har jag valt att utgå från ett *kriteriestyrt urval*. Samtliga respondenter har valts med studiens forskningsmål i åtanke. Urvalet har baserats på följande kriterier, (1) inneha en yrkesroll som arbetar med frekvensomriktare, samt (2) tillhöra en organisation som antingen använder sig av frekvensomriktare, alternativt tillverkar frekvensomriktare. För att möjliggöra en optimal svarsfrekvens, och med hänsyn till den tidsram som studien ska förhålla sig till inom har val av organisation för att hitta lämpliga respondenter baserats tills viss del på ett bekvämlighetsurval. Ett bekvämlighetsurval beskriver Bryman [31] som ett tillvägagångssätt där respondenter väljs ut utifrån forskarens tillgänglighet. Inför detta urval så har en kontakt upprättats med organisationer som mig veterligen använder sig av frekvensomriktare, samt där det redan har funnits ett etablerat kontaktnät. Detta har i sin tur förmedlat kontaktuppgifter till personer som matchar urvalets kriterier, vilket innebär att urvalsprocessen slutligen har utgått från ett *snöbollsurval*. Bryman [31] beskriver snöbollsurval som en urvalsmetod där forskaren initialt valt ut en grupp, i mitt fall, en organisation, vilket har genererat andra respondenter som har erfarenheter eller egenskaper som är relevanta för undersökningen.

Det är viktigt att ha med i åtanke att den data som blir resultatet, inte är avsett för att utgöra några slutgiltiga resultat, eller för att generalisera en hel population. Det väsentliga i intervjustudien är att belysa, tolka och analysera intervjupersonernas egna upplevelser och erfarenheter av i detta fall, frekvensomriktare.

### 3.4 Genomförande och material

Studien genomförs, som tidigare nämnt, utifrån en kvalitativ forskningsmetod för att få en fördjupad kunskap av intervjupersonernas egna erfarenheter och upplevelser av frekvensomriktare som produkt och vad komponenten bidrar med till dagens industri.



Genomförandet av intervjuer har utgått från semistrukturerade intervjuer för att samla in den data som behövs för att täcka studien. Enligt Bryman [31] finns det ett flertal intervjutekniker att tillhandahålla vid kvalitativa intervjuer, men i de fall där individers egna preferenser beträffande ett visst fenomen är en huvudsaklig intervjuform *semistrukturerade intervjuer*. Det som kännetecknar semistrukturerade intervjuer är friheten för intervjupersonen att utforma sina egna svar, samt möjligheten för intervjuaren att komplettera intervjun med följdfrågor. Intervjuprocessen beskrivs som flexibel.

Inför respektive intervjutillfälle har en upprättad intervjuguide använts, se bilaga A3. De fasta frågeformuleringarna som intervjumallen innehållit har kompletterats med öppna frågor, samt en flexibilitet att ställa följdfrågor utifrån intervjupersons svar. Detta utesluter inte att intervjumallen inte har standardiserade frågor, utan vissa frågor kommer vara systematiskt ställda för att optimera möjligheten att kartlägga respondents erfarenheter av just frekvensomriktare.

### **3.4.1 Insamling av studiens data**

Studien baseras på två typer av insamlade data. Inledningsvis har en litteraturstudie genomförts där en sökning har gjorts efter vetenskapliga artiklar vilka avser redogöra för vad tidigare forskning har sagt om frekvensomriktare. De artiklar som har ansetts vara relevanta har omfattat frekvensomriktarens fördelar samt nackdelar med perspektiv utifrån hållbarhet samt produktionseffektivitet. Insamling av vetenskapliga artiklar har utgått från Discovery, IEEE Explore, Academic Search Premier och Google Scholar. De sökord som har använts är följande: Variable frequency drive, frequency converter industry, frequency converter energy, frequency converter sustainability.

Utöver den litteraturstudie som har gjorts, har även en intervjustudie genomförts. Detta för att studera hur frekvensomriktare upplevs utifrån studiens frågeställning. Intervjustudien har bestått av sex intervjupersoner som verkar inom industrier vilka antingen använder sig av frekvensomriktare alternativt tillverkar frekvensomriktare. Dessa intervjupersoner har bidragit till studien med sina upplevelser och erfarenheter. En presentation av samtliga intervjupersoner finns att läsa i avsnitt 3.9.

### 3.4.2 Tillvägångssätt samt kontakt med deltagare

Inför val av plats och undersökningspersoner som har använts till insamling av studiens data har en inledande kontakt förts med verksamma personer inom LKAB, ABB och Siemens. Val av organisationer har delvis avgjorts utifrån, som tidigare nämnt, kriteriestyrt urval men även ett bekvämlighetsurval vilket har resulterat i ett snöbollsurval. För att uppfylla studiens syfte har aktuella organisationer som ska ingå i studien behövt uppfylla kriteriet att de är en industri som använder sig av alternativt tillverkar frekvensomriktare. Detta för att kunna få fram användbar information från de som avser att delta som intervjupersoner i studien. Vidare har en dialog förts med respektive organisation där LKAB har kunnat bidra med respondenter som på daglig basis jobbar med ett styrsystem som omfattar frekvensomriktare. Hos ABB har det handplockats två nyckelpersoner som ansetts kunniga inom ämnet och produkten. Tack vare en tidigare alumna från högskolan gavs också möjligheten att få kontakt med en person från Siemens som härledde till en potentiell respondent som ansågs kunnig inom ämnet och produkten.

Kontakten med berörda organisationer samt tänkta intervjupersoner har skett via mailkontakt. Samtliga respondenter har fått ta del av en projektbeskrivning av den tilltänkta studien, ett informationsbrev samt samtyckesformulär, se bilaga A1. Slutligen har samtliga intervjuer genomförts via Teams utifrån en tidigare upprättad intervjuguide. Intervjuerna har tagit omkring 30 minuter vardera, och dessa har även spelats in efter ett godkännande från samtliga intervjupersoner. Genom att spela in intervjuerna har jag kunnat koncentrera mig på att lyssna, ställa följdfrågor och slutligen underlätta transkriberingen. För att få med hela intervjun i skriftlig form har Words dikteringsfunktion använts, vilket har underlättat för kommande transkribering samt inför analys av resultatet.

### 3.5 Databearbetning och analysmetod

Under analysprocessen har studiens datamaterial systematiskt undersökts, vilket är intervjutranskriptionerna, för att slutligen landa i ett resultat. Fejes och Thornberg [32] beskriver att en kvalitativ analys kan ha flera syften, varav ett syfte är att beskriva ett fenomen, och ett annat subjektiva erfarenheter. I denna studie har en analys gjorts utifrån båda nämnda syftena. Materialet har analyserats för att identifiera ett fenomen, frekvensomriktare, och dess egenskaper. För att stärka den teori som har använts i studien så har empiri insamlats från sex intervjupersoners erfarenheter gällande komponenten.

Inför databearbetningen och slutligen analysmetoden har en metod för kvalitativ ansats, som Fejes och Thornberg [32] refererar till använts. Till att börja med har textmassan som utgörs av insamlade data bearbetats samt *koncentrerats*. Detta har gjorts genom att samtliga inspelade intervjuer har transkriberats till skriftspråk. Syftet med detta är att generera samt identifiera användbar information att stärka studien med. Materialet har därefter *kategoriserats*, i olika kategorier för att reducera och strukturera upp textmassan, samt analysera skillnader och likheter.

Nästa steg är det som Thornberg och Fejes [32] kallar för *berättelse*. Här har materialet organiserats upp tidsenligt, där fokuset har varit att ta fasta på samt vidareutveckla det som framkommit under intervjuerna för att skapa en sammanhängande röd tråd genom arbetet. När textmassan har strukturerats upp har ett arbete upprättats för att *tolka* materialet. Detta har gjorts genom att förstå datamaterialet, jämföra, hitta stöd i och sortera in texten i andra kontexter, som de övriga intervjuerna samt de begrepp som har presenterats i studien. Nästa steg kallas för, *modellering*, vilket är det steget i processen där materialet har analyserats utifrån studiens presenterade teori och tidigare forskning. Detta för att beskriva och förklara hur sammanhang och samband, samt varför det som framkommer i datamaterialet sker på det sätt som redogörs för. Slutligen, och det sista steget kallas för, *Ad hoc*, vilket går ut på att kombinera analysmetoden för att skapa mening i datamaterialet. Den analys-teknik som använts har varit att hitta mönster, och göra sammanställningar av det som presenteras för att slutligen bygga upp en kedja av bevis eller stärkande argument för komponenten, frekvensomriktare.

Studiens analys har arbetats utifrån det Fejes och Thornberg [32] kallar för en deduktiv ansats, vilket har betydelse för analysarbetet. Slutsatser har dragits utifrån tidigare forskning, teoretiska perspektiv samt det insamlade empiriska materialet. Fejes och Thornberg [32] menar att det ofta förekommer inslag som både är induktiva samt deduktiva under forskningsprocessen. De förklarar att det i analysarbetet går att skilja mellan två grundläggande ansatser, vilka är induktion samt deduktion. I och med att arbetet har krävt att studiens insamlade material har behövts revideras i syfte att skapa en röd tråd genom arbetet, innehåller studien även induktiva inslag. Det skulle kunna ses mer korrekt att påstå att studien har utgått från en abduktiv ansats, vilket innebär att reflektionen består av en växling mellan teori och empiri. I och med att materialet har reviderats under arbetets gång, har det medfört att teorin utvecklats och anpassats för att på nytt ställas gentemot det empiriska materialet.

### **3.6 Studiens kvalitet och generaliserbarhet**

Bedömning av studiens kvalitet brukar ske utifrån begreppen validitet samt reliabilitet. Enligt Thornberg och Fejes [32] är dessa begrepp mer synonymt i samband med kvantitativ forskning, men förekommer även inom kvalitativ forskning. För att en studies validitet ska vara hög, bör studien klassas som giltig. Giltigheten bedöms utifrån att det som studien varit avsedd för att undersöka faktiskt undersökts. För att upprätthålla studiens trovärdighet, är en viktig del att studiens empiriska material är tillförlitligt. En hög validitet förutsätter att insamlad empiri kan besvara studiens frågeställning. Inom kvalitativ forskning brukar dessa begrepp, menar Thornberg och Fejes [32], benämnas som trovärdighet samt tillförlitlighet.

För att stärka föreliggande studiens validitet valdes en semistrukturerad intervjuteknik. Detta för att det skulle finnas möjligheter att ställa följdfrågor och kunna reda ut eventuella oklarheter. Samtidigt innehöll vald intervjuteknik flertalet systematiskt ställda frågor. Detta för att säkerställa att intervjun omfattar det som studien är avsedd för att undersöka. På ovanstående sätt har arbetet under processens gång avsetts stärka studiens validitet.

En studies reliabilitet handlar om studiens tillförlitlighet, det vill säga förmågan att återge samma resultat vid en upprepning [32]. I detta avseende handlar det om hur representativ studiens resultat skulle vara i en annan kontext eller miljö, alternativt andra respondenter. Denna studie kan tänkas ha en låg tillförlitlighet. Den information som utgör studiens empiriska material speglar respondenternas egna tankar och erfarenheter. I det avseendet skulle det kunna framkomma ett annat resultat i en annan miljö, med andra respondenter. Detta utesluter inte att en stor del av den information som respondenterna bidragit med till studien är baserad på fakta och deras gedigna kunskap om ämnet, och således kan det spekuleras i att liknande information skulle ges med andra respondenter. Detta är däremot ingenting som med säkerhet går att påstå.

### **3.7 Kritisk reflektion av metod**

Bryman [31] tar upp subjektivitet och partiskhet som kritiska aspekter mot den kvalitativa forskningsansatsen. I och med att resultaten till stor del bygger på forskarens uppfattning utifrån insamlat empiriskt material, finns det således en risk att innehållet kan vara vinklat eller ha blivit påverkat av forskarens åsikter alternativt uppfattning. För att i stor utsträckning undvika detta har valet landat på semistrukturerade intervjuer vid insamling av empiriskt material. De frågor som upprättades i intervju-mallen övervägdes med handledare, samt valdes ut noggrant för att besvara studiens frågeställning. Vidare så formulerades även eventuella följdfrågor som skulle kunna dyka upp under intervjutillfället. Detta för att minimera risken att egna åsikter och uppfattning skulle påverka intervjuens resultat.

Generaliserbarheten samt överförbarheten inom de kvalitativa forskningsresultaten kan också ses som en kritisk aspekt mot vald metod. Enligt Bryman [31] kan resultaten vara svåra att generalisera då en semistrukturerad intervju görs med specifika personer samt i specifika miljöer.

Intervjuresultatet är en individuell persons uppfattning om ämnet, vilket gör att resultatet kan vara svårt att generalisera för en population, eller en hel bransch. Detta kan även innebära en låg överförbarhet i och med att resultatet inte kan föras över och representera andra miljöer eller en annan organisation. Föreliggande studie skulle därmed kunna påstå sakna en hög överförbarhet. Intervjuresultatet är baserat på individuella personers erfarenheter av frekvensomriktare, inom tre specifikt valda organisationer. Detta gör det svårt att föra över resultatet till en annan miljö, i en annan organisation eller påstå att det är representativt för en annan individ som sitter inom liknande bransch alternativ yrkesroll och påstå att samma resultat skulle framkomma.

### **3.8 Etiska aspekter**

Både i Ahrne och Svensson [30] och Bryman [31] beskrivs de forskningsetiska principerna under forskningsprocessen, och att ansvarige för studien förhåller sig till dessa som en viktig del under arbetets gång. De grundläggande etiska frågorna inom etiska principer rör; frivillighet, integritet, konfidentialitet samt anonymitet för de personer som är direkt inblandade i studien, i detta fall, studiens respondenter.

Inför denna studie, och längs studiens gång har hänsyn tagits till Vetenskapsrådets riktlinjer [33], vilka är principer som utgör riktlinjer för etikkommitténs granskning av forskningsprojekt. Vetenskapsrådet har fyra grundläggande individskyddkrav vilka kategoriseras i fyra huvudkrav, *informationskravet*, *samtyckeskravet*, *nyttjandekravet* och *konfidentialitetskravet*.

För att fullfölja *informationskravet* har samtliga respondenter informerats inför intervjun genom ett informationsbrev gällande studiens syfte, deras roll i projektet samt vilka villkor som gäller för deras medverkande. Här har samtliga informerats om att medverkandet är frivilligt och rätten till att avbryta sin medverkan. I informationsbrevet som skickades ut har inslag som kan tänkas påverka respondenternas villighet att delta i studien inkluderats.

Med hänsyn till *samtyckeskravet*, har i samband med informationsbrevet, även ett samtyckesformulär skickats med till samtliga respondenter. Här framgick återigen medverkandets frivillighet och rätten att avbryta sitt medverkande.

Rätten till att avbryta sitt medverkande medför inga som helst följdfrågor, och har kunnat göras när som helst under arbetets gång. Ett godkänt samtycke har inhämtats från samtliga respondenter. Redan under urvalsprocessen togs beslutet att inga under 18 år har blivit tillfrågade att delta i studien, vilket också är ur ett etiskt perspektiv. För att studien ska ske i enlighet med *konfidentialitetskravet* nämns inga namn på respondenterna, och samtliga är aidentifierade. Det framgår i informationsbrevet att de enda som omfattas av användningen gällande deras personliga uppgifter är ansvariga för studien. Slutligen, med hänsyn till, *nyttjandekravet*, har den insamlade datan endast använts för studiens ändamål. Samtliga respondenter har informerats om hur materialet kommer att användas, på vilket sätt studien kommer att publiceras och presenteras, och att materialet från intervjuerna kommer att raderas efter att rapporten är skriven. Samtliga respondenter har informerats om vart studien kommer att finnas tillgänglig för läsning, när studien är genomförd.

Genom att informera samtliga respondenter om detta, samt om de forskningsetiska frågorna inför sitt medverkande, har de forskningsetiska principerna försökt tillgodoses. Detta är även någonting som har tagits på stort allvar längs hela processens gång, och all information har behandlats med försiktighet och respekt. Nu när studien är genomförd, har samtliga data hanterats på det sätt som framgick i informationsbrevet.

### 3.9 Presentation av deltagare

**Deltagare 1** har lång akademisk bakgrund och studerat både en civilekonomutbildning och en fastighetsmäklarutbildning. Deltagaren har arbetat med både eget företag och andra positioner i olika branscher. Resan på ABB inleddes 2022 som säljare på avdelningen motion. Motionsavdelningen innebär försäljning av motorer, frekvensomriktare och service. Deltagaren har sen augusti 2022 varit i kontakt med frekvensomriktare och hunnit delta i stora internationella utbildningar.

**Deltagare 2** är utbildad elektronikingenjör och har jobbat på ABB i 15 år med frekvensomriktare. Titeln är serviceingenjör och utför allt från akuta reparationer, driftsättningar och planerat underhåll. Deltagaren har stor erfarenhet av frekvensomriktare från landets norra industrier och utfört arbeten i både vindkraftverk samt långt nere i gruvor. Parallellt med arbetet har deltagaren även fungerat som teamledare för en grupp serviceingenjörer.

**Deltagare 3** är automationsingenjör och jobbar idag på LKAB med styrsystem. Deltagaren har 30 årig erfarenhet av frekvensomriktare i olika branscher som berört byggnadsautomation, fastighetsautomation och gruvindustri. Deltagaren har elektrikerbehörighet och har även studerat elkraft från universitetet i Sundsvall. Tidigare yrkeserfarenheter är från ABB som konstruktör för vattenkraft och styrutrustning och serviceledare på byggnadsautomation för Siemens.

**Deltagare 4** är automationsingenjör och jobbar idag på LKAB med styrsystem. Deltagaren har totalt 9 års erfarenhet av frekvensomriktare från tidigare roll som processingenjör samt i sin nuvarande roll idag. Hen är utbildad civilingenjör inom industriell ekonomi från LTU och började sin yrkeskarriär 2014 på LKAB och har arbetat där sen dess.

**Deltagare 5** är supporttekniker på Siemens och arbetar mot kunder och svarar på supportfrågor kring frekvensomriktare. Deltagaren har lång erfarenhet av frekvensomriktare som sträcker sig ända tillbaka till 90-talet. Deltagaren har tidigare arbetat som servicetekniker och ingenjör i olika sammanhang med frekvensomriktare, både i företag som säljer samt använder frekvensomriktare.

**Deltagare 6** är automationsingenjör och jobbar med styrsystem på LKAB. Exempel på arbetsuppgifter är mindre programmeringsjobb, konfigureringar och underhåll av systemet. Individens har 10 års erfarenhet av frekvensomriktare och har tidigare läst till vattenkraftingenjör via LTU. I tidigare yrkesroller har individen arbetat på både Siemens i 4 år och ABB i 9 år med styrsystem innan nuvarande roll på LKAB.

## 4 Resultat och analys

*Detta kapitel är avsett för att redovisa studiens empiriska material i form av det som framkommit i intervjustudien, samt presentera studiens resultat. Empiri och analys kommer att presenteras utifrån studiens syfte och med utgångspunkt i studiens frågeställning.*

Resultatet kommer att presenteras utifrån studiens frågeställningar samt syfte. Kapitlet är indelat i fyra teman som presenteras nedan. Intervjuerna inleddes med ett antal standardiserade frågor, som ”vad har du för yrkesroll?”, ”antal års erfarenhet av frekvensomriktare” samt ”yrkesmässig- och akademisk bakgrund”. Detta gjordes för att få en bild av deltagaren framför mig. Under avsnitt 3.9 finns en mer detaljerad presentation över studiens respondenter. Där framkommer det bland annat att respondenternas erfarenhet kring användningen av frekvensomriktare varierar mellan 1–30 år. Respondenterna talar således utifrån skilda utgångslägen när det gäller både erfarenhet och yrkesroll såväl som bakgrund.

### 4.1 Vilken påverkan har frekvensomriktare tillskillnad från kontaktordrift?

#### 4.1.1 Empiriskt material

I resultatet åskådliggörs skillnader mellan frekvensomriktare och kontaktordrift. Ett par av respondenterna poängterar att elmotorn drar mindre ström med frekvensomriktare i jämförelse med kontaktordrift. I följande avsnitt behandlas studiens första frågeställning, ”Vilken påverkan har frekvensomriktare tillskillnad från kontaktordrift?”. För att besvara frågeställningen mynnades den ut i ytterligare två frågor enligt: ”Skulle du säga att det är bättre med en installerad frekvensomriktare i stället för kontaktordrift?” som följdes upp med nästkommande fråga, ”finns det tillfällen då kontaktordrift är bättre än frekvensomriktare?” Två av respondenterna uppger följande:

”En frekvensomriktare utnyttjar energin på ett bättre sätt. Du kan reglera vad det då handlar om, vattenflöde eller inomhus luftmängd till exempel. Man kan reglera så att den mängd man behöver används i stället för att man får den mängd som motorns varvtal har bestämt.”

- Deltagare 2



”Den stora fördelen är att man kan få upp varvtalet helt och hållet i din applikation. Det blir mjukare start på motorn vilket innebär att den drar mindre ström. Har man lite mer frekvent start och stopp, då blir det ju stora skillnader.”

- Deltagare 5

Dessa svar överensstämmer med flera av respondenternas uttalanden. En frekvensomriktare tycks nyttja energin på ett mer energibesparande sätt än vad kontaktordriften gör. Deltagare 2 och 5 kan även se att det finns tillfällen då en kontaktordrift har varit att föredra framför frekvensomriktare, och menar på att:

”Vid kontinuerliga drifter där du ska utnyttja motorn vid ett bestämt varvtal, säg 1500 varv. Då är det ju bättre att ha det på det sättet. Men det förekommer några enstaka tillfällen då just det här med komplexiteten ställer till det. Som till exempel en nöddrift någonstans där man måste ha kylvattnen, Ja men då kanske det kan finnas en fördel att ha det så enkelt som möjligt. Det ska bara vara att vrida på en knapp och då ska det komma vatten ur pumpen, punkt slut. Vi skiter i om det tar mycket energi det måste komma vatten för att kyla något. Men det är undantagsfall.”

- Deltagare 2

”När man till exempel kör på samma hastighet och mönster hela tiden, och inte stannar så ofta. Då får man inga förlusteffekter med kontaktordrift.”

- Deltagare 5

Den varierande processhastigheten som skiljer frekvensomriktare och kontaktordrift åt nämns likt deltagare 5, även i intervjun med deltagare 6. Deltagare 3 och 6 fortsätter på liknande spår sen tidigare kommentarer och nämner vidare i ett kombinerat svar enligt följande:

”Ja, det skulle jag säga. Det beror lite på vad det är för någonting. Om vi tar som exempel, processindustrin, och du är inne på viktigare linjer, då är det ju frekvensomriktare man föredrar. Men när det är mindre viktigt, då kan frekvensomriktare vara lite ”overkill”, så att säga. Kontaktordrift kan vara enklare i sin lösning, och den innebär mindre teknik, så den kan i vissa kritiska lägen vara mer driftsäker.”

- Deltagare 3

”Det är en varierande processhastighet med frekvensomriktare, så det är ju bra mycket bättre, och du får ett mer jämnt flöde. Med en kontaktordrift så har du bara on och off. Med frekvensomriktare så kan du smidigare köra ett varierat flöde. Det kan du nog göra med kontaktordrifter också, men då krävs det någon form av strypning i processen. Så energimässigt är det bättre att ha en frekvensomriktare.”

- Deltagare 6

#### 4.1.2 Analys

Att det finns många fördelar med frekvensomriktare är samtliga respondenter eniga om, och variationen samt energibesparingen är två faktorer som ses genomgående bland intervjupersonernas svar. I takt med att tekniken utvecklats har frekvensomriktare bland annat bidragit till stora energibesparingar. Mjukstarter är något som nämns bland respondenterna som också är en besparande konsekvens som leder till minskat slitage för både maskin och övriga anslutna rörliga delar. Detta är också något som stärks av de Almeida, Ferreira och Both [28]. Vid en process med frekventa start och stopp alternativt en mer varierande processhastighet är frekvensomriktare att föredra då det resulterar i att kunna reglera processflödet jämt, detta är något som nämns bland flera respondenter.

Men utifrån ett kritiskt perspektiv så finns det även tillfällen då en kontaktordrift kan vara att föredra framför en frekvensomriktare. Det pratas om tillfällen då kontaktordrift passar bättre men det börjar bli alltmer ovanligt då det idag konstrueras drifter för att kunna fungera mer hållbart och energimässigt effektivare. De drifter som respondenterna uttalar sig om som skulle vara mer effektiv med kontaktordrift är de drifter som körs mer kontinuerligt och följer ett oförändrat mönster. Vidare nämns också kritiska drifter där kontaktordrift anses aningen säkrare då det konstruktionsmässigt är en enklare lösning.

## 4.2 På vilka sätt har frekvensomriktare påverkat processflödet?

### 4.2.1 Empiriskt material

Frekvensomriktare verkar onekligen påverka processflödet. Något som återkommande nämns i samband med frekvensomriktare är den utveckling som automatiseringen medför. På frågan, ”*på vilka sätt har frekvensomriktare påverkat processflödet?*” framkommer följande svar. Deltagare 1 kommenterar frågan enligt:

”Om du har programmerat dem eller använder styrsystem för att sköta allting så kan man ju få en otroligt smidig produktionsapparat, allting bara flyter på. Det finns ingen begränsning i hur mycket du kan programmera och styra dem. Desto mer automatiserad en industri är ju större nytta har man att ha en frekvensomriktare. Man vill ha allting uppkopplat så att man enklare kan styra, programmera, justera och så vidare.”

- Deltagare 1

Enkelheten som frekvensomriktare medför i arbetet verkar deltagarna vara eniga om. Deltagare 2 har svarat på föreliggande fråga:

”Jag skulle säga att frekvensomriktare har bidragit till att göra det enklare att hålla en jämn kvalitet samtidigt som man också gör energibesparingar. Det är också väldigt mycket enklare när olika system ska jobba med varandra, till exempel när man pratar om lastdelning.”

- Deltagare 2

”Det har möjliggjort det här med att kunna styra flödena bättre. Och i början när man hade tunga starter kanske för ca 20 år sedan då byggde man in mjukstartare. Mjukstart ”rampar” upp som en frekvensomriktare och sen när den kommer upp till fulla varv då kopplar den över och går på direkt-drift. Men nuförtiden så fixar ju frekvensomriktare det där direkt.”

- Deltagare 3

Det märks att den röda tråden genom intervjuerna är att frekvensomriktare gör stora skillnader för processen/produktionen. Deltagare 4 kommenterar vidare enligt följande:

”I stället för att ha en massa start och stopp utav objekt, så får vi en mycket mer kontinuerlig styrning. Vi får jämnhet i processerna och precision i det vi gör.”

- Deltagare 4

Det förutsätter dock inte att komponenten ej medför några nackdelar. En nackdel som blir belyst av deltagare 2 är:

”Om det krånglar kan komplexiteten göra det värre. Felsökningen för en elektriker var något enklare tidigare, idag kan det ta längre tid till att komma fram till vad som var fel. Idag behöver personalen vara bättre utbildade än tidigare.”

Följt av:

”Men det blir ju också mer och mer vanligt att man kör med exempelvis Profibus eller Profinet och det är ju en krångligare felsökning om det är någonting i styrningen.”

- Deltagare 2

Ovanstående kommentar av deltagare 2 är något som bekräftas av fler respondenter. Deltagare 4 nämner till exempel på samma sätt enligt följande:

”Det har ju hänt att till exempel vid felsökning så har det varit svårt att hitta felet trots erfarna elektriker. Just i och med att det blir lite av en flerstegsraket där fler komponenter är inblandade så blir det svårare att upptäcka fel jämfört med om det bara hade varit kontakter.”

- Deltagare 4

#### 4.2.2 Analys

Det som framgår bland respondenterna är att frekvensomriktare påverkar processflödet till det bättre. Bland respondenternas utsagor nämns ”smidig produktionsapparat”, ”lättare att hålla en jämn kvalitet” och ”det har möjliggjort att kunna styra flödena bättre”. Det som samtidigt uppnås av en smidig produktionslösning är hållbarheten i industrin då energiförbrukningen sänks till följd av en effektiv process. Det som nämns åt andra hållet är att vid händelse av fel kan komplexiteten ställa till det som gör att felsökningen kan bli något svårare. Ett fel kan leda till längre stillståndstider vilket har lett till att det ställs högre krav på personalen som behöver vara mer utbildade för detta ändamål. I den vetenskapliga artikeln av de Almeida [28] beskrivs det att en frekvensomriktare är en mycket hållbar teknik i många avseenden. Det beskrivs att tekniken bidrar till bättre processkontroll, minskat slitage på mekaniska delar och framför allt stora energibesparingar. Detta är något som ligger i linje med vad respondenterna nämnt ovan.

### 4.3 Hur ser efterfrågan ut idag bland våra industrier?

#### 4.3.1 Empiriskt material

För att besvara huvudfrågan ”*hur ser efterfrågan ut idag bland våra industrier*” bröts den ned i tre delfrågor för att få ett bredare omfång enligt följande, ”*är det stor efterfrågan på frekvensomriktare?*”, ”*går det att säga vad industrier efterfrågar mest idag?*” och ”*vilka modeller sticker ut?*”.

Deltagare 1 som har stor insikt i vad som säljs och efterfrågas idag svarar enligt följande:

”Det är absolut stor efterfrågan, Sen vilka modeller som sticker ut hänger ihop med vilken kund det är. Här uppe i norr där vi ändå har ganska stora papp, massa, skog och stålindustrier så är det nästan uteslutande vår premiummodell ACS880, som är den bästa varianten vi har som vi kan anpassa på alla sätt och vis.”

Följt av:

”Om man pratar om våra länder runt om i Europa så kör de väldigt mycket mer våra standardomriktare 580, 480 som är lite enklare och fortfarande väldigt bra men har lite mindre anpassningsmöjligheter.”

- Deltagare 1

Vidare svarar deltagare 2 på frågan ”*Är det stor efterfrågan på frekvensomriktare?*” enligt följande:

”Att det är stor efterfrågan på frekvensomriktare kan jag svara rakt av ja på. Det talas väldigt mycket om energibesparingar och där är frekvensomriktare med väldigt, väldigt mycket.”

- Deltagare 2

Här fanns utrymme för fler följdfrågor som syftar till att ytterligare undersöka efterfrågan samt ta reda på mer tekniska skillnader och detaljer. För detta ställdes följande frågor: ”*går det att säga vad som efterfrågas i framtiden?*”, ”*Går det att säga något mer om vad som skiljer dem åt?*”, ”*är det samma typ av produkter men att dem bara är olika kraftfulla, dvs skillnaden rör sig om motoreffekt?*” Och slutligen ”*finns det olika typer av komponenter/funktioner i dem?*”.

Deltagare 2 kommenterar på frågan ”*går det att säga vad som efterfrågas i framtiden?*” enligt följande:

”Det som pratas väldigt mycket om nu är hur man någonstans kan koppla upp det mot olika typer av remote och molntjänster. Man pratar ganska mycket om de här underhållsbitarna, att gå från periodiskt underhåll till behovsstyrt underhåll och så vidare. Så framtidsspaningen är att mycket handlar om remote och olika typer av molntjänster och hur man ska använda det.”

- Deltagare 2

På frågan ”*Går det att säga något mer om vad som skiljer dem åt?*” svarar deltagare 1 enligt följande:

”Lite kort sammanfattat så är ACS880 vår premiummodell. Den kan allt, även riktigt stora effekter. Men, är inte anpassad för en viss applikation från början som ex ASQ580 som har ”färdiga program” för vatten och avlopp. ACS880 klarar även styra servomotorer. Det kan de andra ej göra. Förutom E180 och E190 men de erbjuds bara på asiatiska marknaden. ACS800 är en gammal version av 880 och finns kvar och servas. Men 880 är den nya och förbättrade versionen. 480, 380 och 180 kan passa maskinbyggare bättre. Alltså OEM (Original Equipment Manufacturing) och liknande som behöver något mindre som sitter i exempelvis en kran. Sen kan vissa modeller göras regenerativa eller låg harmoniska. Bland annat ACS880.”

- Deltagare 1

För nästa följdfråga ”är det samma typ av produkter men att dem bara är olika kraftfulla, dvs skillnaden rör sig om motoreffekt?” kommenterar deltagare 2 enligt följande:

”I grundteorin är det samma typ av produkt. Likriktare, Kondensatorer och växelriktare är komponenter som finns i en uppsjö av olika varianter, större och mindre beroende på effekt, större och mindre beroende på vilken fysisk byggstorlek som efterfrågas, mer eller mindre avancerade beroende på hur avancerat den skall fungera. I de minsta frekvensomriktarna rymms allt på ett kretskort, i de större varianterna måste man separera de olika delarna i olika skåp osv.”

- Deltagare 2

Och på sista följdfrågan ”finns det olika typer av komponenter/funktioner i dem?” fortsätter deltagare 2 kommentera enligt följande:

”Ja de finns olika typer komponenter/funktioner. Dels är det ju en fråga om vem som tillverkat de olika komponenterna, dels är det också en fråga om hur frekvensomriktare skall användas. En del lättare frekvensomriktare har en passiv styrning av likriktaren, medan mer avancerade (ex. regenerativa) har en ”super-aktiv” styrning av likriktaren. Utöver detta specialiserar man en del frekvensomriktare beroende på användningsområde. Vissa applikationer kräver mer avancerade styrningar (ex en travers eller en skidlift). Då använder man en mer avancerad styrning vilket i sin tur kräver anpassningar i vilket/vilka kretskort som fungerar.”

- Deltagare 2

### 4.3.2 Analys

Samtliga respondenter konstaterar att det idag finns en stor efterfrågan av frekvensomriktare. Detta är någonting som nämns i samband med den energibesparing som frekvensomriktare bidrar med. Framtidsfrågan handlar om hur systemen kan bli smartare och mer uppkopplade i jämförelse med dagens konstruktioner. Fokus ligger på uppkoppling mot olika remote och molntjänster, samt hur dessa kan anpassas för att underlätta framtida underhåll. Respondenternas antydan till att det finns en stor efterfrågan av frekvensomriktare, och att det i framtiden kommer att fortsätta efterfrågas konstateras även i teorin, se 2.1 Allmänt om frekvensomriktare och funktion. Där påstås frekvensomriktare ha utvecklats i snabb takt från senare 1900-tal till idag.

## 4.4 För- och nackdelar

### 4.4.1 Empiriskt material

Vid samtliga intervju tillfällen inleddes intervjuerna med en kort presentation gällande intervju personens bakgrund för att övergå till frågan ”Vad skulle du säga är den främsta fördelen med frekvensomriktare?” Detta ansågs vara en viktig övergång då en frekvensomriktare har flertal funktioner, och för att ge en nyanserad bild av hur intervju personen upplever frekvensomriktare som produkt kan deras bakgrund vara viktig att ha med i presentationen av intervju personens svar.

Deltagare 1 som har mer hand om försäljningsbiten av frekvensomriktare och motorer på ABB kommenterar fördelar enligt:

”Ja, men det är väl att energieffektivisera egentligen samt att det är också en säkerhetssynpunkt. Den är väldigt anpassningsbar och kan kopplas till så många olika applikationer och är ju nödvändig i allt utom dem tillfällen man ska ha en motor som snurrar på maxhastighet hela tiden.”

-Deltagare 1

Deltagaren nämner vidare rörande frekvensomriktarens nackdelar enligt följande:

”Det kostar ju en del att köpa in så klart och en annan nackdel är att om en motor går på maxvarv och med kontinuerlig drift hela tiden, så då är den ju ineffektiv för då förlorar du några procent jämfört med om du kör den mot direktdrift.”

- Deltagare 1

Deltagare 2 med en yrkesbefattning som serviceingenjör, där arbetsuppgifter kopplade till frekvensomriktare är reparation, driftsättning, underhållsarbete och planering samt mätning för underhållet av frekvensomriktare. Deltagare 2 har erfarenhet av frekvensomriktare både från LKAB samt ABB, vilket innebär att deltagaren har erfarenhet av produkten både utifrån en organisation som tillverkar frekvensomriktare, samt en organisation som förbrukar och köper in produkten. Även här beskriver deltagaren att en av de främsta fördelarna med frekvensomriktare är energibesparingen:

”Den främsta fördelen är enkelheten att styra motorn. Jag skulle också säga att energieffektiviseringen och energibesparingen är två av de stora fördelarna som jag ser med frekvensomriktare, det är ofta väldigt stor energibesparing”.

- Deltagare 2

Frekvensomriktarens nackdelar kommenteras av deltagare 2 enligt följande:

”Då skulle jag säga komplexiteten. Man kan till viss del kompensera för det men en annan nackdel är att man kan få störningar på nätet med övertoner och sådana saker.”

- Deltagare 2

Deltagare 3 har titeln som automationsingenjör, och jobbar med styrsystem. Deltagaren besitter en gedigen erfarenhet gällande frekvensomriktare. En av de främsta fördelarna, och som framkommer i flera av intervjuerna är energibesparingen som nyttjandet av frekvensomriktare bidrar med. På frågan ”Vad skulle du säga är den främsta fördelen med frekvensomriktare? Svarar deltagare 3 följande:

”Det är att du kan varvtals styra efter behov och att den bidrar till energibesparingar.”

- Deltagare 3

Följt av:

”Flexibiliteten är en bra fördel för frekvensomriktare, och att det finns en inbyggd mjukstart. Direktstartaren rycker i gång grejerna medan en mjukstart är mer skonsam för maskinen.”

Deltagaren nämner också frekvensomriktarens nackdel enligt:

”Du har längre stillestånds tider om du får problem med kommunikationer och om du har en bussansluten frekvensomriktare.”

- Deltagare 3



#### 4.4.2 Analys

Att frekvensomriktare bidrar till energibesparingar är något som bekräftas av majoriteten av respondenterna. Att det även ses som en av de främsta fördelarna råder det inte någon tvekan kring. Respondenterna är eniga om att en installerad frekvensomriktare på en motor gör den flexibel, och att det skapar förutsättningar att på ett enkelt sätt styra objektet. I den vetenskapliga artikeln av Ankush Dharkar [7] beskrivs frekvensomriktare som en produkt som inte bara är kostnadseffektiv, utan även en energibesparande teknik. Det beskrivs också att frekvensomriktare bidrar till ökad tillförlitlighet samt spänningsstabilitet, vilket innebär längre livslängd för systemet. Detta är synonymt med vad flertal av respondenterna svarade. Kostnadseffektiviteten stärks även i teorin, se 2.4 *Regenerativ energi*, där nämns en variant av frekvensomriktare som utnyttjar och tar vara på bromsenergin likt en elbil. Detta i sig bidrar med kostnadsbesparingar för användaren av frekvensomriktare med den regenerativa teknologin. Vidare under 2.6 *Fördelar*, nämns likt respondenterna svar, att fördelarna med frekvensomriktare är kostnadseffektivitet, energibesparande teknik och en ökad tillförlitlighet som leder till längre livslängd för maskinen.

När nackdelar diskuteras nämner respondenterna kostnader i inköp, komplexitet, elektromagnetisk störning och längre stilleståndstider vid fel. Elektromagnetisk störning diskuteras även i teorin som en av komponentens nackdelar, se 2.7 *Nackdelar*. En av frekvensomriktarens nackdelar som nämns i teorin är *systemövertoner*, även kallat elektromagnetisk störning. Detta påstås medföra problem för de elektriska komponenterna i frekvensomriktare samt närliggande objekt och utrustning. Det går även att identifiera nackdelar som belyser ökade kostnader. Ett exempel där det kan uppstå är när det blir problem med värmehantering. Värmehantering hanteras av kylösningar, vilket medför ökade kostnader. Detta går i linje med respondenternas svar som belyser liknande påståenden som frekvensomriktarens nackdelar.

## 5 Diskussion

*I följande kapitel framförs en diskussion gällande de resultat och den analys som gjorts av studiens empiriska material. Resultatet kommer att jämföras med tidigare forskning och inslag av de teoretiska perspektiv som presenterats i studien. Kapitlet baseras på studiens frågeställningar vilket utgör diskussionens tematiska områden. Resultatet kommer att diskuteras i förhållande till hållbarhet, frekvensomriktarens efterfrågan, energibesparingar samt framtida forskning,*

Som nämnt i 4.1.2 *analys*, bidrar frekvensomriktare till stora energibesparingar. I takt med att tekniken utvecklas, utvecklas även möjligheten till energibesparingar. I resultatet går det att utläsa att samtliga respondenter är eniga om att frekvensomriktare är en energibesparande produkt. Enligt respondenterna går det att utläsa en trend där de drifter som konstrueras idag, är avsedda att vara mer hållbara och energimässigt mer effektiva. Detta utgör ett av de största fynden i studiens empiri. Respondenterna förklarar hur frekvensomriktare påverkar processflödet till det bättre, samt att det är en hållbar teknik utifrån flera aspekter. Detta går i linje med tidigare forskning, där en artikel av Almeida, Ferreira och Both [28] nämner frekvensomriktarens konstruktion som en hållbar teknik i många avseenden. Frekvensomriktare medför både en bättre arbetsmiljö i form av lägre bullernivåer, men framför allt energibesparingar.

Hållbarhet, och i detta avseende en hållbar industri går i linje med ett av Agenda 2030s 17 mål för hållbar utveckling. Agenda 2030 är en handlingsplan med 17 mål, samt ytterligare delmål för en omställning till ett hållbart samhälle. Mål nummer 9, *hållbar industri, innovationer och infrastruktur* verkar för en hållbar industrialisering [34]. Industrin påstås vara i behov av uppgradering, och anpassas för att vara mer hållbara, effektivare och att det finns ett behov att tillverka fler miljövänliga tekniker och industriprocesser.

Enligt en artikel av Saidur, Mekhilef, Ali, Safari, Mohammed [25] ställs det högre krav på el-motorerna i dagens teknologi. Vidare argumenteras det för hur användandet av frekvensomriktare till att reglera rotationshastigheten skulle medföra mindre slitage på el-motorn, vilket även minskar dess energiförbrukning. Användningen av frekvensomriktare innebär således betydande energibesparingar, produktionseffektiveringar samt minskat slitage.

En slutsats som går att utläsa från resultatet vilket även har koppling till delsyftet hållbarhet samt energibesparingar är frekvensomriktarens påverkan på processflödet. Respondenterna beskriver frekvensomriktaren som en smidig produktionslösning, där flödena kan styras samt hålla en jämn kvalitet på produktionsflödet. Till skillnad från både kontaktordrift och mjukstartare så reglerar frekvensomriktare processflödet mer jämt, vilket även argumenteras som ett sätt att energibespara.

Detta går ytterligare i linje med Agenda 2030, mål nummer 12, *hållbar konsumtion och produktion* [35]. En hållbar utveckling ställer även krav på vår produktion och konsumtion av varor och resurser. Ett av delmålen, 12.6 handlar om att uppmuntra företag att införa hållbara metoder, vilket energieffektivisering med hjälp av frekvensomriktare kan göras. Respondenterna påstår att det finns en stor efterfrågan för frekvensomriktare, och vilken modell som efterfrågas beror på vilken kund det handlar om. Vidare nämner de att de tror att komponentens efterfrågan i framtiden kommer handla om hur systemen kan bli smartare och mer uppkopplade. Detta påvisar att en hållbar konsumtion och produktion eftersträvas. Det framkommer i studiens resultat att runt om i Europa används idag en enklare variant av frekvensomriktare, *standardomriktaren*. Respondenten som uttalar sig om detta påstår att den komponenten har mindre anpassningsmöjligheter. Det tåls därmed att diskutera att det i takt med att tekniken utvecklas, även kan komma att öka i efterfrågan i övriga länder.

Frekvensomriktarens för- och nackdelar visar ytterligare en slutsats som går att utläsa i resultatet. En av de främsta fördelarna, är inte helt oväntat, energibesparingen som frekvensomriktare medför. Detta är någonting som bekräftas av de flesta av studiens respondenter. Respondenterna är även eniga om att frekvensomriktare installerad på en motor medför att på ett enkelt sätt styra objektet.

Vidare nämner de kostnadseffektiviteten i samband med den långa livslängd som ytterligare en fördel med komponenten. Utifrån studiens teoretiska perspektiv så tar en artikel av Dharkar [7] upp frekvensomriktare som en teknik som utöver att vara energibesparande, även är kostnadseffektiv. Detta kan diskuteras i det avseende att maskinen har en lång livslängd, vilket flertalet av respondenterna svarade i intervjuerna. Kostnaden för en frekvensomriktare är däremot någonting som respondenterna nämner som en av komponentens nackdelar. Det är en dyr produkt, och komplexiteten i produkten medför ökade krav på personalen, vilket i sin tur kan innebära ökade resurskostnader.

Sammanfattningsvis, och för att besvara studiens syfte, bidrar frekvensomriktare främst med energibesparing i dagens industri. Dess för- och nackdelar har identifierats samt analyserats, och likaså komponentens funktion till hållbarhet, produktions-effektivitet samt efterfrågan.

Studien avsåg att studera om frekvensomriktare är en bra produkt, vilket resultatet bekräftar. Likaså att den verkar produktionseffektivt globalt sett inom industrier. Det framgår att frekvensomriktare i olika varianter verkar inom olika länder. Så inför framtiden kan det tänkas att efterfrågan kommer att skilja sig åt beroende på vilken industri som studeras.

## 5.1 Förslag på vidare forskning

Inom ramen för föreliggande studie, skulle det vara intressant att studera fler företag samt intervjua fler yrkesgrupper som har erfarenhet av frekvensomriktare. Detta skulle vara intressant och kunna ge ett bredare perspektiv, och lämnas därmed som förslag på vidare forskning. Siemens och ABB representerar två stora leverantörer och tillverkare av frekvensomriktare, är i detta avseende, tillräckliga enligt min utsago och inom ramen för föreliggande studie. LKAB representerar en industri som nyttjar produkten. För en mer djupgående studie för att fortsätta studera produktens påverkan skulle fler industrier som nyttjar produkten kunna bidra med fler perspektiv och synpunkter.

Idag går frekvensomriktare att identifiera i de flesta industrier, både nationellt som internationellt. Därmed skulle det vara intressant att intervjua fler kompetenta och erfarna respondenter som dagligen arbetar med komponenten. Respondenterna i denna studie består av mestadels ingenjörer. För vidare forskning skulle intervjuer med fler yrkesgrupper kunna tas med, som exempelvis elektriker, vilket också är en yrkesgrupp som dagligen handskas med frekvensomriktare. Detta för att förslagsvis skildra yrkesgruppernas synvinklar och jämföra deras utsagor.

## 6 Referenser

- [1] ‘Svängande energipriser påverkar KPI’. [https://www.scb.se/hitta-statistik/temaomraden/sveriges-ekonomi/fordjupningsartiklar\\_Sveriges\\_ekonomi/svängande-energi-priser-paverkar-kpi/](https://www.scb.se/hitta-statistik/temaomraden/sveriges-ekonomi/fordjupningsartiklar_Sveriges_ekonomi/svängande-energi-priser-paverkar-kpi/) (accessed Mar. 11, 2023).
- [2] ‘Elproduktion (nettoproduktion) per kraftslag fr.o.m. 1970, TWh. PxWeb’. [https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/%c3%85rlig%20energibalans/%c3%85rlig%20energibalans\\_\\_El-%20och%20fj%c3%a4rrv%c3%a4rmeproduktion/EN0202\\_25.px/table/tableViewLayout2/](https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/%c3%85rlig%20energibalans/%c3%85rlig%20energibalans__El-%20och%20fj%c3%a4rrv%c3%a4rmeproduktion/EN0202_25.px/table/tableViewLayout2/) (accessed May 25, 2023).
- [3] ‘Energieffektivisering i industrin’. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-energin/energieffektivisering/energieffektivisering-i-industrin/> (accessed Feb. 15, 2023).
- [4] ‘Frekvensomriktare | ABB’. <https://new.abb.com/se/om-abb/teknik/sa-funkardet/frekvensomriktare> (accessed Feb. 15, 2023).
- [5] ‘Facts Worth Knowing about AC Drives’.
- [6] A. Alfredsson, *Elkraft*. Stockholm: Liber, 2012.
- [7] A. Dharkar and P. M. Daigavane, ‘Daigavane Control of Variable Frequency Drives with PLC: A Review’, *International Journal of Electrical Engineering & Technology (IJEET)*, vol. 8, no. 1, pp. 45–51, [Online]. Available: <http://www.iaeme.com/IJEET/index.asp45http://www.iaeme.com/IJEET/issues.asp?JType=IJEET&VType=8&IType=1www.jifactor.comhttp://www.iaeme.com/IJEET/issues.asp?JType=IJEET&VType=8&IType=1>
- [8] B. Johnsson, B. Lindell, and G. Johansson, *Elektronik 2000 : grundkurs. Industri- och kraftelektronikkretsar*. Stockholm: Liber utbildning, 1998.
- [9] ‘8.11 Varvtalsreglering av pumpar - PumpPortalen | PumpPortalen’. <https://www.pumpportalen.se/pumphandboken/8-11-varvtalsreglering-av-pumpar/> (accessed May 14, 2023).
- [10] ‘Pumpar, teknik och funktion — Jernkontorets energihandbok’. <https://www.energi-handbok.se/pumpar-teknik-och-funktion> (accessed May 14, 2023).
- [11] ‘8.9 Strypreglering av pumpar - PumpPortalen | PumpPortalen’. <https://www.pumpportalen.se/pumphandboken/8-9-strypreglering-av-pumpar/> (accessed May 24, 2023).
- [12] ‘8.12 Ekonomiska aspekter vid varvtalsreglering av pumpar - PumpPortalen | PumpPortalen’. <https://www.pumpportalen.se/pumphandboken/8-12-ekonomiska-aspekter-vid-varvtalsreglering-av-pumpar/> (accessed May 14, 2023).

- [13] ‘ABB Ability- Predictive Maintenance for drives’.  
<https://new.abb.com/drives/sv/Drivsystemservice/avancerade-tjanster/predictive-maintenance> (accessed May 25, 2023).
- [14] ‘SINAMICS G120X: ny frekvensomriktare för pump- och fläktapplikationer | 2019 | Siemens Sweden’. <https://new.siemens.com/se/sv/produkter/industri/automationsnytt/aktuellt/2019/sinamics-g120x.html> (accessed May 15, 2023).
- [15] ‘Harmonics | ABB’. <https://new.abb.com/drives/harmonics> (accessed May 10, 2023).
- [16] ‘ACS880-11 | ABB - ACS880 singeldrifter (Frekvensomriktare för industri)’.  
<https://new.abb.com/drives/sv/frekvensomriktare-for-lagspanning/frekvensomriktare-for-industri/acs880-singeldrifter/acs880-11> (accessed May 10, 2023).
- [17] ‘Elektriska motorer och varvtalsreglerare’. <https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/jag-ar-saljare-eller-tillverkare-av-produkter/produktgrupper-a-o/produkter/elmotorer/> (accessed Apr. 05, 2023).
- [18] ‘Regeringskansliets rättsdatabaser’. <https://rkrattsbaser.gov.se/sfst?bet=2016:363> (accessed Apr. 05, 2023).
- [19] ‘Elsäkerhetsverkets författningssamling’, 2007.
- [20] ‘Regeringskansliets rättsdatabaser’. <https://rkrattsbaser.gov.se/sfst?bet=1992:1512> (accessed Apr. 05, 2023).
- [21] ‘Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/30/EU av den 26 februari 2014 om harmonisering av medlemsstaternas lagstiftning om elektromagnetisk kompatibilitet (omarbetning)Text av betydelse för EES’, 2014.
- [22] ‘9 December 2018 Guide for the EMCD (Directive 2014/30/EU)’.
- [23] S.-E. Berglund, R. Gustavsson, G. Englund, and J. Åkerlund, ‘Frekvensomriktare guide för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet’.
- [24] ‘Minskad elanvändning under 2022’. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/minskad-elanvandning-under-2022-i-sverige/> (accessed Apr. 16, 2023).
- [25] R. Saidur, S. Mekhilef, M. B. Ali, A. Safari, and H. A. Mohammed, ‘Applications of variable speed drive (VSD) in electrical motors energy savings’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 1. Elsevier Ltd, pp. 543–550, 2012. doi: 10.1016/j.rser.2011.08.020.
- [26] I. Al-Bahadly, ‘Energy Saving with Variable Speed Drives in Industry Applications Pain sensor View project Design of Wireless Capsule Robot for Medical Applications View project Energy Saving with Variable Speed Drives in Industry Applications’, 2007. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/242356388>

- [27] Y. Lozanov, S. Tzvetkova, and A. Petleshkov, 'Study of the effectiveness of a variable frequency drive of an induction motor', in *2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference, BuIEF 2019*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Sep. 2019. doi: 10.1109/BuIEF48056.2019.9030775.
- [28] A. T. de Almeida, F. J. T. E. Ferreira, and D. Both, 'Technical and economical considerations in the application of variable-speed drives with electric motor systems', *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 41, no. 1, pp. 188–199, Jan. 2005, doi: 10.1109/TIA.2004.841022.
- [29] N. Khalid, 'Efficient Energy Management: Is Variable Frequency Drives the Solution', *Procedia Soc Behav Sci*, vol. 145, pp. 371–376, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.06.046.
- [30] G. Ahrne and P. Svensson, *Handbok i kvalitativa metoder*. Stockholm: Liber, 2015.
- [31] A. Bryman and B. Nilsson, *Samhällsvetenskapliga metoder*. Stockholm: Liber, 2018.
- [32] A. Fejes and R. Thornberg, 'Kvalitativ forskning och kvalitativ analys', in *Handbok i kvalitativ analys*, Handbok i kvalitativ analys 2015, 2015.
- [33] Vetenskapsrådet., *Forskningsetiska principer inom humanistisk-samhällsvetenskaplig forskning*. Vetenskapsrådet, 2002.
- [34] R. och Regeringskansliet, 'Agenda 2030 | Mål 9 | Hållbar industri, innovationer och infrastruktur', 2020, Accessed: Feb. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/globala-malen-och-agenda-2030/agenda-2030-mal-9-hallbar-industri-innovationer-och-infrastruktur/>
- [35] 'Agenda 2030 | Mål 12 | Hållbar konsumtion och produktion - Regeringen.se'. <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/globala-malen-och-agenda-2030/agenda-2030-mal-12-hallbar-konsumtion-och-produktion/> (accessed May 14, 2023).

## 7 Bilagor

### 7.1 Informationsbrev och samtyckesformulär

Jag heter Andreas Tränstad och studerar sista terminen på automationsingenjörns programmet vid högskolan i Gävle. Jag är just nu i startgroparna för att påbörja mitt examensarbete **”Frekvensomriktarens påverkan i dagens industri”**

Detta examensarbete är tänkt som en kvalitativ studie om frekvensomriktarens effekt och funktion i dagens industri. Syftet med studien är att kartlägga komponentens för- och nackdelar, samt var den bidrar med utifrån följande perspektiv; hållbarhet, produktionseffektivitet samt efterfrågan. Jag kommer att intervjua personer från organisationer som använder sig av frekvensomriktare, samt har erfarenheter av komponentens funktioner, samt för- och nackdelar.

Min fråga till dig är om du kan tänka dig att ställa upp på ett intervjutillfälle inom ramen för forskningsstudien. Intervjuar dig gärna på zoom eller teams, utifrån vad du föredrar. Intervjun beräknas ta 20 – 30 minuter. Intervjun kommer att spelas in och transkriberas i text och därefter raderas. Medverkande i studien är helt frivilligt och kan avbrytas när som helst utan motivering, även efter att datainsamlingen är genomförd.

Alla personuppgifter kommer att vara avidentifierade i samtliga typer av redovisningar för studien, exempelvis opponering samt publikationer. Inga enskilda personer kommer att kunna identifieras i examensarbetet. Det insamlade materialet kommer inte att användas för annat än analys och presentation av studiens resultat. Resultatet kommer presenteras i form av en muntlig presentation till andra studerande inom programmet samt i form av en examensrapport. Vid färdigt och godkänt resultat kommer studien publiceras i databasen Digitala Vetenskapliga Arkivet (DiVA) och där finnas tillgänglig för läsning.

Vid ytterligare frågor om undersökningen eller kring medverkandet av studien är du välkommen att kontakta mig eller min handledare. Kontaktuppgifter presenteras nedan.

Med vänliga hälsningar,

Andreas Tränstad



### 7.1.1 Samtycke till att delta i studie

Bekräfta ditt samtycke till att delta i studien genom att kopiera nedanstående text, klistra in

det i ett mail och skicka det till:

[andreas.transtad@hotmail.se](mailto:andreas.transtad@hotmail.se)

Jag har fått information om studien *Frekvensomriktarens påverkan i dagens industri*

- *En kvalitativ studie om frekvensomriktarens bidrag till hållbarhet och produktionseffektivitet.*  
och har haft möjlighet att ställa frågor.

Jag får behålla den skriftliga informationen.

Jag samtycker till att delta i studien.

Ort:

Datum:

Namn:

### 7.1.2 Kontaktuppgifter samt studiens ansvariga

Student

Andreas Tränstad

E-post [andreas.transtad@hotmail.se](mailto:andreas.transtad@hotmail.se)

Telefon 073-058 98 78

Handledare

Niklas Rothpfeffer

Universitetsadjunkt, utbildningsledare och ordförande

E-post [niklas.rothpfeffer@hig.se](mailto:niklas.rothpfeffer@hig.se)

Telefon 026-64 88 29

## 7.2 Intervjuguide

*[Starta intervjun med en presentation]*

Mitt namn är Andreas Tränstad, och jag läser just nu sista terminen på automationsingenjörers programmet på Gävle Högskola. Just nu arbetar jag med mitt examensarbete, vilket är en studie om frekvensomriktare. Studiens projektbeskrivning har du fått mailat till dig inför denna intervju. Har du några frågor eller funderingar kring gällande arbetet som du vill ställa?

*[Berätta om hur insamlad material kommer att hanteras, finnas tillgängligt och användas]*

Dina personuppgifter kommer inte att användas eller publiceras i arbetet, utan kommer att avidentifieras. Intervjun kommer att spelas in, men all insamlad material kommer endast att användas för analys och i presentation av studiens resultat. Allt material kommer att hanteras med försiktighet, det är endast ansvariga för studien som kommer att ha tillgång till materialet. I detta fall är det jag och min handledare. Därefter kommer all insamlad material att raderas. Känns det okej? När arbetet är färdigställt och godkänt, kommer den att publiceras och finnas tillgänglig för läsning i databasen DiVA, Digitala Vetenskapliga Arkivet.

Ditt medverkande är helt frivilligt, och jag vill informera dig om att du har all rätt att avbryta ditt medverkande om du vill. Ifall du känner att du inte vill eller kan svara på någon fråga, så säg bara till så hoppar vi vidare till nästa fråga i stället.

Innan vi sätter i gång, är det någonting som känns otydligt? Har du några andra frågor?

### 7.2.1 Intervjufrågor

#### **Inledning**

Vad har du för roll på din arbetsplats?

Hur lång erfarenhet har du av frekvensomriktare?

Yrkesmässig bakgrund?

Akademisk bakgrund?

#### **Punkt 1**

Vad skulle du säga är den främsta fördelen med frekvensomriktare?

Kan du nämna fler fördelar?

Vad skulle du säga är den främsta nackdelen med frekvensomriktare?

Kan du nämna fler nackdelar?

Skulle du säga att det är bättre med en installerad frekvensomriktare i stället för

kontaktordrift? Kan du motivera varför?

Finns det tillfällen då kontaktordrift är bättre än frekvensomriktare?

Kan du motivera varför?

### **Punkt 2**

Kan du redogöra frekvensomriktarens påverkan på produktionen/processflödet, positivt som negativt?

Är frekvensomriktare en bidragande faktor till ökad produktionseffektivitet?

kan du utveckla på vilket sätt?

finns det möjlighet för frekvensomriktare att mäta parametrar i syfte att larma, diagnosticera och logga?

Frekvensomriktare kan bidra till en ökad komplexitet, har detta påverkat produktionen på något sätt?

### **Punkt 3**

#### **ABB/Siemens**

Går det att säga vad industrier efterfrågar mest idag? Är det stor efterfrågan på frekvensomriktare? Vilka modeller sticker ut?

Går det att säga vad som efterfrågas i framtiden? Släpps nya frekvensomriktare med fler funktioner?

Går det säga något mer om vad som skiljer dem åt?

Finns det olika typer av komponenter/funktioner i dem?

#### **LKAB**

Kan du avgöra LKAB:s efterfrågan på frekvensomriktare?

Har ni några riktlinjer för nya drifter eller uppgradering av befintliga?

Vilka modeller sticker ut på LKAB?

#### **Övriga följdfrågor**

Hur har elmiljön påverkats?

Har några åtgärder behövt vidtas?

Vilken typ av applikation ser man den största besparingen i?

Är det samma typ av produkter men att dem bara är olika kraftfulla, dvs skillnaden rör sig om motoreffekt?