JÖNKÖPING UNIVERSITY
School of Engineering

YRKESHÖGSKOLAN JÖNKÖPING

Övertoner inom elnätet

Examensarbete: Elkraftsingenjörprogrammet JU/YJ 25 Yhp

Författare: Jesper Holmberg, Mikael Svensson

Lärare: Cathrine Dånsjö

Jönköping 2021-03-31

Sammanfattning

De senaste decennierna har teknikutvecklingen kring elprodukter ökat på marknaden, dessa elkomponenter bidrar dock till olika störningar på nätet, däribland övertoner. Dessa faktorer har gjort att begrepp som elmiljö och elkvalité blivit alltmer vanligt.

Detta arbete uppkom i samband med regeringens beslut om att nya krav på elmätare skulle införskaffas. I samband med att ett elmätarutbyte utförs, har vissa elnätsbolag valt att installera elmätare som b.la. klarar av att mäta halten övertoner som skickas ut på nätet. Övertoner är ett välkänt begrepp för elnätsägare, men för gemene man så som elinstallatör eller användare kan utrymme för förtydligande finnas. Detta är huvudsyftet med arbetet, att förklara övertoner så gemene man får en bättre uppfattning kring ämnet övertoner.

För att få en bättre uppfattning kring ämnet övertoner har en litteraturstudie utförts. Simuleringar i form av mätningar är även utförda. Detta för att öka förståelsen kring övertonernas påverkan på lågspänningsnätet.

Övertoner uppstår främst av elkomponenter som drivs av likström. Dessa elkomponenter använder bara vissa delar av strömkurvan vilket skapar övertoner. Det finns olika övertoner inom elnätet, några vanliga övertoner är 3:E övertonen och 5:E övertonen. 3:E övertonen adderas i neutralledaren vilket kan göra att neutralledaren överbelastas, med brandrisk som följd. 5:E övertonen kan påverka kondensatorbatterier, vilket gör att det blir överbelastade, samt att livslängden förkortas.

Det finns mycket komponenter som ger upphov till övertoner. Många av dessa komponenter används frekvent i vardagen, så som elbilsladdare, elljus-dimmer, TV-apparater och datorer, vilket gör att övertonsproblem kan uppstå i både privatnät och större lokala nät. Det finns metoder för att motverka övertonernas påverkan på elnätet, så som filter.

Som tidigare nämnt kan övertoner överbelasta neutralledaren. I nyare installationer är detta i regel inget problem, då elanläggningar skall konstrueras för övertoner. Problem kan dock uppstå i äldre elanläggningar där nya krav inte har applicerats, följderna kan vara att neutralledaren går varm vilket gör att kabelanslutningar brinner och risken för brand uppstår. För att minimera riskerna rekommenderas därför alla elanläggningsinnehavare att kontrollera sin elanläggning så risker med övertoner minimeras.

Abstract

In recent decades, technological development around electrical products has increased in the market, but these electrical components contribute to various disturbances on the power grid, including harmonics. These factors have made concepts such as the electrical environment and electricity quality increasingly common.

This work arose in connection with the Government decision that new requirements for electricity meters would be procured. In connection with an electricity meter replacement being carried out, some electricity network companies have chosen to install electricity meters such as able to measure the content of harmonics sent out on the power grid. Harmonics are a well-known concept for electricity network owners, but for ordinary people such as electricians or users, there may be room for clarification. This is the main purpose of the work, to explain harmonics so common one gets a better idea about the subject of harmonics.

To get a better idea of the subject of harmonics, a literature study has been conducted. Simulations in the form of measurements are also performed. This is to increase the understanding of the effect of harmonics on the low-voltage network.

Harmonics are mainly caused by electrical components that are driven by direct current. These electrical components use only certain parts of the current curve, which creates harmonics. There are different harmonics within the mains, some common harmonics are the 3rd harmonic and the 5th harmonic. The 3rd harmonic is added in the neutral conductor, which can cause the neutral conductor to be overloaded, with the risk of fire as a result. The 5th harmonic can affect capacitor batteries, which means that it becomes over-loaded and that the service life is shortened.

Many components give rise to harmonics. Many of these components are frequently used in everyday life, such as electric car chargers, electric light dimmers, televisions, and computers. This means that harmonic problems can arise in both private networks and larger local networks. There are methods to counteract the effects of harmonics on the electricity grid, such as filters.

As previously mentioned, harmonics can overload the neutral conductor. In newer installations, this is usually not a problem, as electrical systems must be designed for harmonics. However, problems can arise in older electrical systems where new requirements have not been applied, the consequences can be that the neutral conductor goes hot, which means that cable connections might burn, and the risk of fire arises. To minimize the risks, it is therefore recommended that all electrical system owners check their electrical system so that risks with harmonics are minimized.

Förord

Under arbetets gång har vi fått fantastiskt bra hjälp från alla inblandade.

Vi vill passa på att rikta ett stort tack till:

- Ingemar Fransson på Elresursen REAL AB
- Johan Rungberg på ELSÄKERT AB
- Ola Viklund på Elhjola Kraftteknik AB

Arbetet med rapporten har i sin helhet genomförts gemensamt av författarna. Varje avsnitt har delats upp och skrivits individuellt för att sedan sammanföras.

Läsaren bör vara medveten om att viss specifik information är framtaget från studier och rapporter som ej är uppdaterade. Information kan ha ändrats.

Det bilder som används i arbetet är framtagna av författarna om inget annat anges.

Innehåll

Sammanfattning i

Abstract ii

Förord iii

Nomenklatur vi

1 Inledning **1**
1.1 Syfte 1
1.2 Problembeskrivning 1
1.3 Mål 1
1.4 Avgränsningar 1

2 Metod **2**
2.1 Litteraturstudie 2
2.2 Intervjuer 2
2.3 Mätningar 2

3 Allmänt om Sveriges elnät **3**
3.1 Sveriges elnät 3
3.2 Frekvensen i nätet 3
3.3 Olika jordningssystem inom det allmänna distributionsnätet 4
3.3.1 TN-system 4
3.3.2 TN-C-system 5
3.3.3 TN-S-system 5

4 Elkvalitet **6**
4.1 Spänningsdippar 6
4.2 Transienter 6
4.3 Ansvaret över elkvalité 6

5 Övertoner **8**
5.1 Olinjära laster 8
5.2 Komponenter som ger upphov till övertoner 8
5.2.1 Elbilar 9
5.2.2 Solceller 9
5.2.3 Frekvensomriktare 9
5.3 Andra producenter av övertoner 9

6 Olika övertoner **10**
6.1 3:e övertonen 11
6.2 5:e övertonen 11
6.3 Ytterligare övertoner 11

7 Mätning övertoner 12
7.1 Rubrik Fourieranalys 12
7.2 Övertonsanalys 12
7.3 Mätning av övertoner i elnäten 13
7.3.1 Jönköpings Energi 13
7.3.2 Tekniska Verken i Linköping 13
7.3.3 Sundsvall elnät 13

8 Problem som skapas av övertoner 14
8.1 Varmgång motorer 14
8.2 Överbelastad neutralledare 15
8.3 Överbelastade transformatorer 16
8.4 Vagabonderande strömmar 16
8.5 Mellanövertoner 16

9 Filter 18
9.1 Aktiva filter 18
9.2 Passiva filter 18
9.3 Elmiljötransformator 18

10 LAGAR OCH REGLER 20

11 Diskussion 21
11.1 Problematik i lågspänningsnäten 21
11.2 Framtida åtgärder vid projektering av elsystem 22
11.3 Framtida krav och standarder 22

12 Slutsatser 23

13 Rekommendationer 24

14 Referenser 25

Nomenklatur

Vokabulär

Märkström	Märkström är den ström som en apparat eller komponent är avsedd att arbeta med under normala förhållanden.
Galvanisk isolering	Det är metoder för att isolera elektriska kretsar från varandra. Information kan fortfarande överföras men elektricitet överförs inte.
Impedans	Impedans är det elektriska motståndet för en växelström.
THD	Total Harmonisk Distorsion är ett mått på den totala övertonshalten med avseende på antingen ström eller spänning.
Utsatt del	För beröring åtkomlig ledande del av elmaterial, som normalt inte är spänningssatt, men som på grund av fel i den grundläggande isoleringen kan anta en farlig spänning.
TN-system	Transformatorn neutralpunkt är kopplad till jord. Från neutralpunkten dras en skyddsledare till utsatta delar i elanläggningen.
TN-C	Ett 4-ledarsystem med tre faser och en PEN-ledare. PEN-ledaren har kombinerad skydds- och neutralledare.
TN-S	Ett 5-ledarsystem med tre faser och separat skydds- och neutralledare.
PE	Protective Earth, jordledare som ansluts till utsatta delar.
N	Neutral, neutralledare som används som återledare för den elektriska kretsen.
PQ	Power Quality, Elkvalitet.
Amplitud	Avståndet mellan ytterläge och nolläge i en svängningsrörelse.

Symboler

L1	Fas 1
L2	Fas 2
L3	Fas 3
Hz	Frekvens
V	Spänning
A	Ström

1 Inledning

År 2018 beslöt Svenska Regeringen att nya funktionskrav på elmätare skall börja gälla. Dessa funktionskrav går att läsa om i Energimarknadsinspektionens rapport Ei 2017;08. Skall man-sammanfatta beslutet gällande de nya funktionskraven så vill Regeringen stärka kundens ställning på elmarknaden och samtidigt utveckla möjligheten till en stabil drift av elnäten.

Vissa elnätsbolag har valt att placera elmätare som har möjlighet att mäta övertoner. Detta möjliggör att dessa nya ”smarta elmätare ” kan mäta halten av övertoner som en specifik kund skickar ut på elnätet. Nätägaren kan sedan välja att debitera kunden för halten övertoner som har skickats ut på elnätet.

Övertoner är något gemene man har bristande kunskaper inom, detta för att det är en term som oftast används inom elnätsbolagen. Detta är anledningen till att varför det här projektet uppkom, för att upplysa gemene man om vad övertoner är och hur man kan motverka det.

1.1 Syfte

Syftet med detta arbete är att öka kunskapen om övertoner hos gemeneman.

1.2 Problembeskrivning

Det senaste decenniet har användningen av olinjära laster ökat markant på marknaden. Elbilsladdare, serverhallar, spänningsaggregat med likriktare är några exempel på detta. I takt med att olinjära laster blir alltmer vanligare på nätet, krävs det en förståelse om vilka problem olinjära laster kan skapa, både inom det interna elnätet och det externa.

1.3 Mål

- Förklara begrepp som elmiljö och elkvalitet
- Öka kunskapen kring hur elnätsbolagen hanterar PQ.
- Förklara hur övertoner analyseras och mäts.
- Redovisa exempel på vad som skapar övertoner och hur det påverkar elnätet
- Redovisa några av det lagar och regler som ställs på halten övertoner i elnätet.

1.4 Avgränsningar

- Övertonsrelaterade problem är avgränsat till inom lågspänningsnätet.
- Inga matematiska beräkningar gällande övertoner omfattas i detta arbete.

2 Metod

I detta avsnitt beskrivs det metoder som har används under projektets gång.

2.1 Litteraturstudie

För att öka förståelsen kring övertoner har en litteraturstudie genomförts. Liknade studier kring övertoner har studerats.

2.2 Intervjuer

Intervjuer har genomförts med tre olika pedagoger, Johan Rungberg, Ola Viklund, Ingmar Fransson i syfte att förklara och bekräfta den information som har förskaffats genom studerandet av olika studier.

2.3 Mätningar

Med syfte att skapa en bättre bild över hur övertoner påverkar elnätet har följande mätningar utförts:

- En dimmers påverkan på ström- och spänningskurva
- Simulering av tredjetonsfenomenet i neutralledaren
- Simulering av vagabonderande strömmar i en elanläggning
- Simulering av magnetiska fält i en elanläggning.

3 Allmänt om Sveriges elnät

Följande kapitel förklarar översiktligt hur svenska elnätet är uppbyggt, vilka frekvenser, spänningsnivåer och vanligt förekommande jordningssystem.

3.1 Sveriges elnät

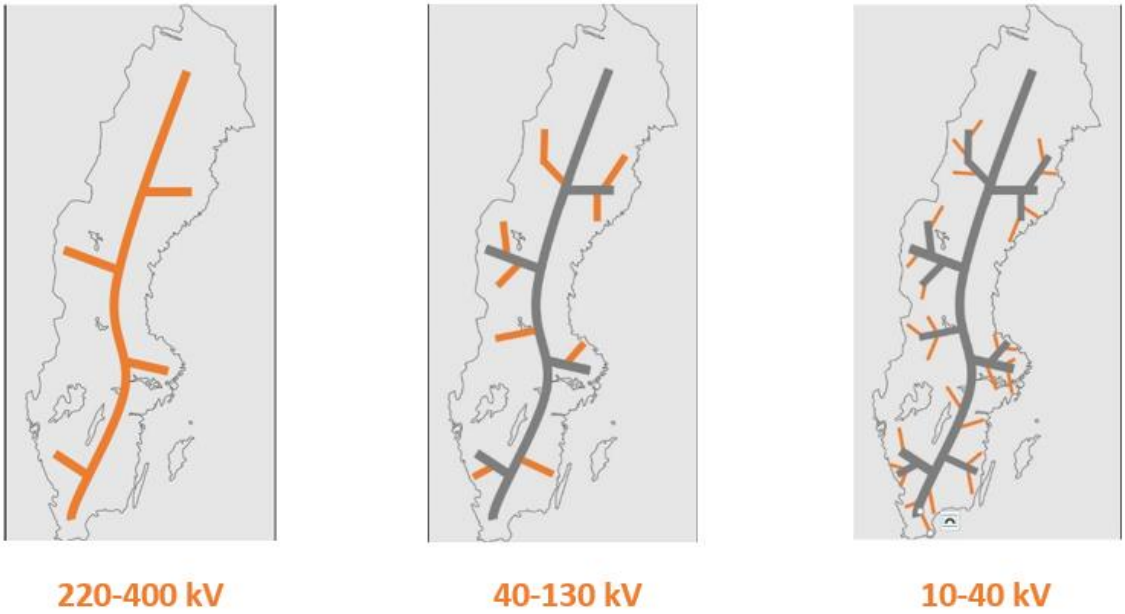
Sveriges elnät är uppbyggt på olika spänningsnivåer, detta för att minimera överförningsförlusterna. Utifrån det olika spänningsnivåerna delas vanligtvis Sveriges elnät upp i tre nivåer.

- Stamnät (220 kV- 400kV)
- Regionnät (40kV-130kV)
- Lokalnät (10-kV- 40kV)

Sveriges stamnät är statligt ägt och sträcker sig från norr till söder, för att sedan ansluta till regionnätet. Sveriges stamnät har även förbindelser med sina grannländer till exempel Norge och Finland.

Regionnäten ägs av de stora energibolagen. Regionnätet agerar som en länk mellan stamnätet och lokalnätet. I vissa fall kan användare med stor elförbrukning vara direkt anslutna till regionnätet.

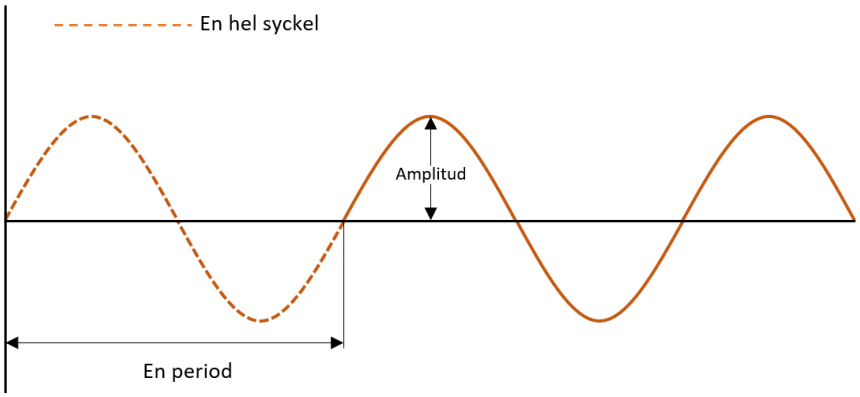
Lokalnätet ägs av små och stora elnätsföretag. I lokalnätet sänker man småningom spänningsnivån till 0,4kV, som sedan bildar lågspänningsnätet. Till lågspänningsnätet ansluts olika verksamheter och hushåll.



Figur 3.1. Stamnät, Regionnät, Lokalnät

3.2 Frekvensen i nätet

I Sveriges lågspänningsnät används 230 V (enfas) och 400 V (tre-fas) växelspänning. Växelspänningen i Sverige har en frekvens på 50 Hz, vilket anger hur många svängningar spänning och ström har per sekund. Dessa svängningar bildar en sinusvåg, tiden det tar för sinusvågen att slutföra en cykel kallas för period, vilket innebär att det sker 50 perioder per sekund i ett nät med 50 Hz. Exempel på en sådan sinusvåg illustreras nedan.



Figur 3.2. Sinuskurva 50 Hz, med period samt amplitud

3.3 Olika jordningssystem inom det allmänna distributionsnätet

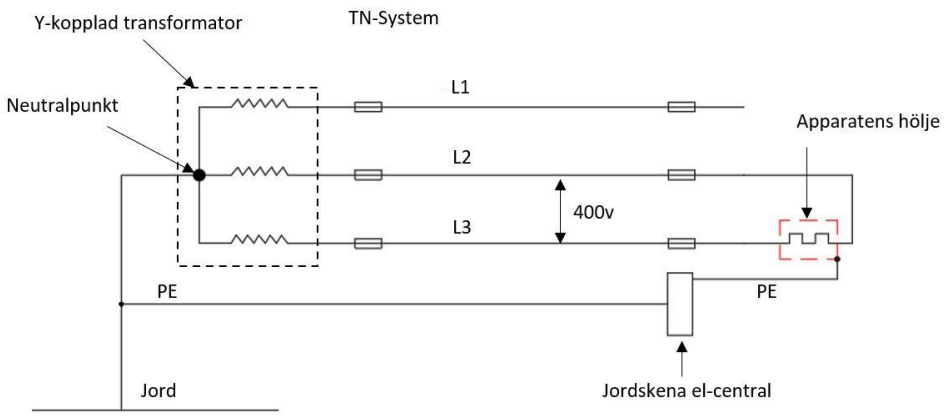
Inom Sveriges lågspänningsnät är TN-systemet det enda tillåtna jordningssystemet [1]. I det här stycket beskrivs det vanligaste TN-system, även om alla jordningssystem inte förkommer i rapporten kan det vara bra att känna till de fundamentala jordsystemen.

3.3.1 TN-system

Elsystemen i Sverige är vanligtvis uppbyggda till så kallade TN-system. Ordet TN kan delas upp i två kategorier där:

- Första bokstaven, i detta fall (**T**) står för Terra och betyder jord. Transformatorns nollpunkt är direkt ansluten till jord.
- Andra bokstaven, i detta fall (**N**) står för Neutral och säger att utsatta delar i installationen är direkt anslutna med transformatorns nollpunkt.

I TN-systemet används transformatorns neutralpunkt, neutralpunkten i transformatorn kopplas till jord. Vidare från neutralpunkten förläggs en skyddsledare som ansluts till utsatta delar. Om ett fel inträffar och en utsatt del blir spänningsförande skall då strömmen gå via skyddsledaren till jord.



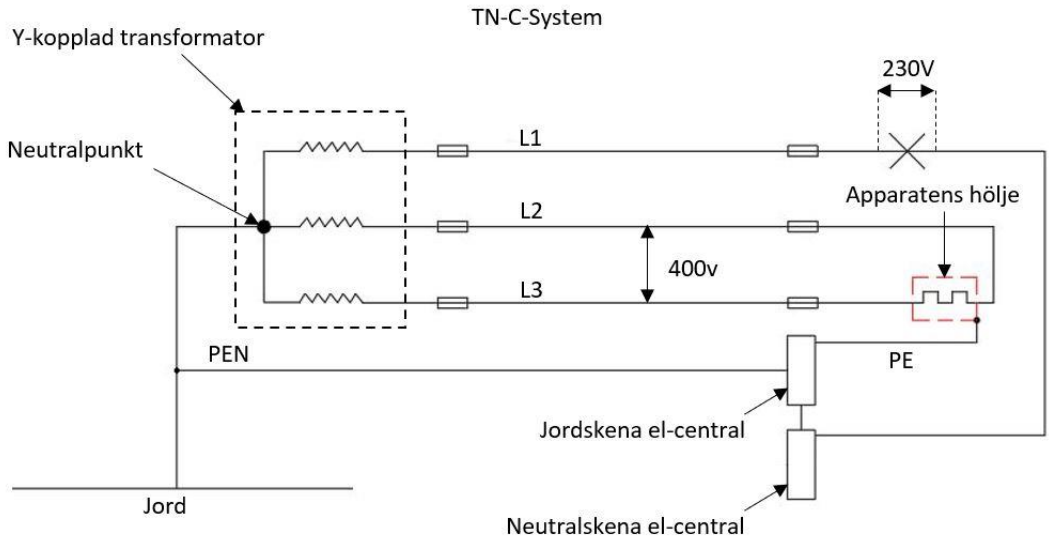
Figur 3.3. Uppbyggnationen av ett TN-system

3.3.2 TN-C-system

För att användandet av enfasiga laster skall fungera krävs det en neutralledare. Jordledningen från transformatorn delas upp i en så kallad PEN-ledare, där:

- PE står för Protective Earth
- N står för Neutral

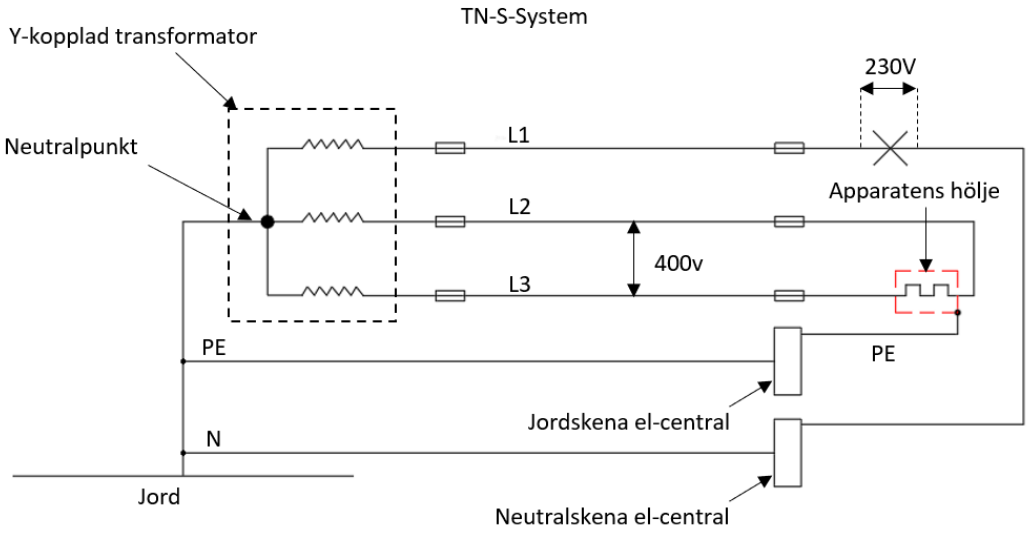
Dessa två funktioner använder sig av samma ledning vilket gör att man kallar det för TN-C där C:et kommer från engelskan och står för combined. Alltså kombinerad skydds- och neutralledare.



Figur 3.4. Uppbyggnationen av TN-C-system

3.3.3 TN-S-system

TN-S där S står för engelskans separated. Vilket innebär att neutral- och skyddsledare ligger separerade ifrån varandra i elsystemet.



Figur 3.5. Uppbyggnationen av ett TN-S-system

4 Elkvalitet

Elkvalitet är ett begrepp som bedöms av olika delar, kontinuitet och spänningsnivå. I huvudsak när god elkvalité råder så innebär det att överföreningen av el sker utan störningar och avbrott. Det vill säga att strömmen skall vara fri från avbrott och spänningsnivån inte skall ändras eller varieras mellan satta gränsvärden [2]. Ämnet har blivit mer aktuellt de senaste åren. Detta som ett resultat av ökningen av el-komponenter på elnätet som skickar ut störningar, dessa störningar bidrar till bristande elkvalité och kan påverka både elnätet och människor.

Några av det vanliga problem som störningar kan orsaka är:

- Förkortad livslängd i apparater
- Prestanda försämring
- Stopp/avbrott
- Skada i apparater

Bristande elkvalitet är även väldigt kostsamt. Bara i USA har bristande elkvalité kostat industrierna 100 miljarder dollar per år. I Europa är förlustkostnaderna beräknade till 156 miljarder dollar [3].

Det finns ett flertal olika störningar som påverkar elnätet negativt. Nedan beskrivas några av dessa.

4.1 Spänningsdippar

Variationer i spänningen uppstår hela tiden på elnätet då inkopplade laster varierar. Om laster som kräver stor ström kopplas in på elnätet kommer spänningsnivån att sjunka. Sjunker spänningen med mer än 10% och varar längre än 10 millisekunder och kortare än 90 sekunder anses det vara en spänningsdipp [4]. Utrustningen som vanligtvis påverkas av spänningsdippar är datorer, reläutrustningar, varvtalstyda drivmaskiner.

4.2 Transienter

En Transient, även kallad spänningsspik är en kort men snabb förändring i spänningsnivån. Transienter kan uppstå vid bland annat vid in- och urkoppling av elektrisk utrustning på elnätet, åsknedslag, in- och urkoppling av kondensatorbatterier. Det finns mycket utrustning som är känslig mot transienter, i största del elektronik. Anläggningar inom industri, sjukvård och handel blir därför extra känsliga mot spänningspikar.

4.3 Ansvaret över elkvalité

Elnätsägaren som bedriver sitt elnät ansvarar oftast över att elkvalitén fram till anslutningspunkt är av god karaktär [2]. Men det kan vara svårt för elnätsägaren att enbart bära detta ansvar. God elkvalité kan uppnås genom ett samarbete mellan flera parter:

- Nätägare
- Elkonsumenter
- Apparat-/anläggningsleverantörer

En annan faktor som påverkar elkvalitén är yttre förhållanden, såsom väder. Att konstruera ett elnät som skall motstå all yttre påverkan är orimligt, sett ur ett kostnadsperspektiv. En

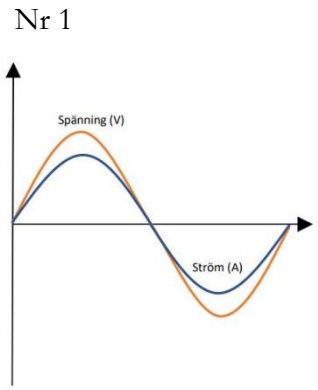
bättre lösning blir då att fokusera på det produkter som placeras på nätet. Produkterna skall klara av vanliga störningar, så som transienter och spänningsdippar.

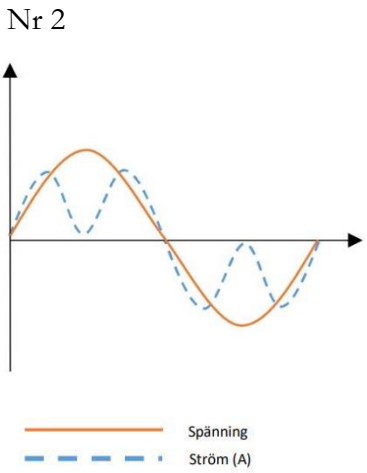
5 Övertoner

I Sverige används som tidigare nämnt 50 Hz i elnätet. Detta utgör elnätets grundfrekvens eller grundton. Övertoner innebär att man får fler underliggande frekvenser i nätet än grundtonen 50Hz. Det som kan skapa det underliggande frekvenserna är apparater och komponenter som ej använder sig av hela sinuskurvans vågform. Dessa apparater brukar kallas för olinjära laster.

5.1 Olinjära laster

Som tidigare nämnt skapas övertoner av olinjära laster, skillnaden mellan en linjär och olinjär last är att en linjär last använder sig av hela kurvformen utan att den påverkas. En olinjär last innebär att lasten inte använder sig av hela kurvformen, utan att den använder vissa delar i olika perioder [5]. Bilderna nedanför visar hur spänning- och strömkurvan kan se ut på en linjär last kontra en olinjär. Figur 5.1 visar hur en linjär last ser ut, spänning och ström följer samma kurvform utan att ändra sin form. Figur 5.2. visar skillnaden som uppstår vid användningen av en olinjär last, kurvformen blir deformerad.





Figur 5.1. Illustration linjär sinuskurva. ***Figur 5.2. Illustration olinjära sinuskurva.***

När de olinjära lasterna kapar delar av grundtonen så resulterar de i att övertoner skapas av den energi som frigörs och inte används av de olinjära lasterna.
Olika övertoner kan uppstå beroende på vad de är för typ av olinjär last.

5.2 Komponenter som ger upphov till övertoner

Likströmskomponenter kan anses som en stor producent av övertoner, samhället blir mer beroende av el-produkter med avancerad teknik som innehåller mycket elektronik som främst drivs av likström. Uppskattningsvis så består ungefär 60% av Sveriges elproducenter av olinjära laster [6]. Större delen av kontoren är utrustade med olinjära laster i from av datorer, skärmar, kopiatorer samt annan elektronik. Även belysning ger upphov till övertoner. Men det finns även mer vanliga elkomponenter som ger upphov till övertoner. Nedan beskrivs några av dessa komponenter

5.2.1 Elbilar

Elbilar blir allt vanligare i samhället och marknadsförs med att de är miljövänliga, billiga och kan enkelt laddas hemma, utan bekymmer. Det problem som inte nämns är att dessa elbilar producerar övertoner ut på nätet. Detta sker under omvandlingen av elnätets växelström till likströmmen, som elbilen drivs av [7]. Ett problem som tillkommer vid användning av många elbilar på samma plats är att elförbrukningen blir väldigt ojämn. Detta vill man lösa genom att installera så kallade energilager. Energilager likt som elbilen laddas upp med likström och är där av också stora producenter av övertoner [8].

5.2.2 Solceller

Solceller är ett miljövänligt och smidigt alternativ till egenproduktion av el, oavsett om de gäller företag eller privatperson [9]. Solcellspanelerna som omvandlar ljuset till elektricitet kan endast göra de i form av likström. Detta resulterar i problem då elnätet är uppbyggt på växelström. Lösningen blir att installera en växelomriktare mellan solcellerna och elnätet [10]. Växelomriktaren omvandlar likströmmen till växelström men på grund av att den gör förändringar på sinuskurvan för att skapa växelströmmen så följer det med övertoner ut på nätet [11].

5.2.3 Frekvensomriktare

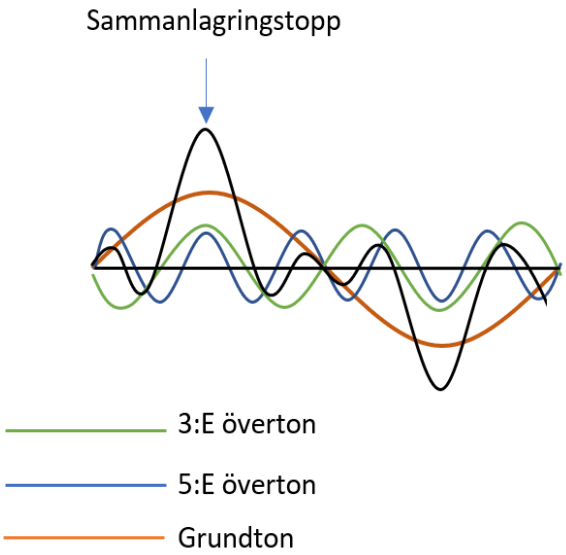
En frekvensomriktare har många namn, frekvensomformare, frekvensomvandlare, strömriktare, växelriktare m.m. Funktionen är mer eller mindre desamma oavsett namn, målet är att förändra frekvensen till ett alternativt förbestämt tillstånd. Frekvensomriktaren installeras av många olika anledningar, vanligaste anledningen är att kunna reglera en motorns varvtal beroende på vad efterfrågan på motorns effekt är. Frekvensomriktare är många konsumenters lösning på en mer energieffektiv elanläggning. Vikten i att se till så frekvensomriktaren med kablar och andra komponenter är dimensionerade utifrån de mängd övertoner som kommer bildas är viktigt då varmgång i kablage och annat lätt kan uppkomma [12].

5.3 Andra producenter av övertoner

Att nämna alla de producenter som skapar övertoner är svårt då de är många till antalet. Ljusbågsugnar, batteriladdare, svetsar, switchade nätaggregat är vanligt inom industrin, även hushållskomponenter är vanliga producenter av övertoner så som elektronisk belysningsdimmer, tvättmaskiner, fläktar och TV-apparater. Sammanlagringen av att alla dessa små producenter används gör att övertonshalten i nätet ökar. Övertoner kan som sagt bildas av många olika komponenter men genom tiden har de flesta blivit allt renare och producerar inte lika mycket övertoner i näten, samtidigt har vi skapat helt nya komponenter som installeras till elnätet och sprider övertoner på nya sätt [13].

6 Olika övertoner

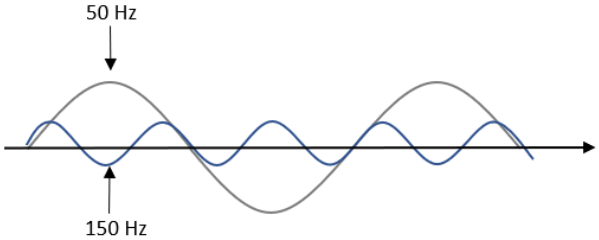
Som tidigare nämnt så används 50 Hz som grundton i det svenska elnätet, övertoner kan ha olika frekvenser beroende på vad de är för överton. En överton som ligger på 100 Hz kallas för 2: a övertonen eftersom den är 2 gånger den ursprungliga grundtonen. Det vill säga att 3:e övertonen ligger på 150 Hz och 4:e på 200 e.tc. Vissa övertoner är vanligare än andra, som 3:e och 5:e övertonen. Skillnaden på en last som matas med enfaslast eller trefas går även att åtskilja eftersom enfaslaster producerar väldigt mycket av 3:e övertonen och trefaslasterna producerar stora mängder av 5:e övertonen. Det utesluter inte att andra övertoner förekommer av dessa laster. Produktionen av övertoner sker aldrig bara i en viss frekvens, utan de förekommer alltid olika övertoner, men inte alla i lika stora halter. En last som både producerar stora halter av 3:e och 5:e övertonen kan summeras till en så kallad sammanlagringstopp, under förutsättningarna att de är helt symmetriska med varandra. Sammanlagringstoppen är där grundfrekvensen och alla övertonerna ligger på sina maxvärden, i sina respektive sinuskurvor. Alla toner multipliceras då ihop under den korta tid de alla ligger i sitt maxvärde, resultatet av detta blir en högre amplitud än grundfrekvensen [14]. Figur 6.1 nedan visar en tidscykel då sammanlagringstoppen förekommer.



Figur 6.1. Illustration av sammanlagringstoppen

6.1 3:e övertonen

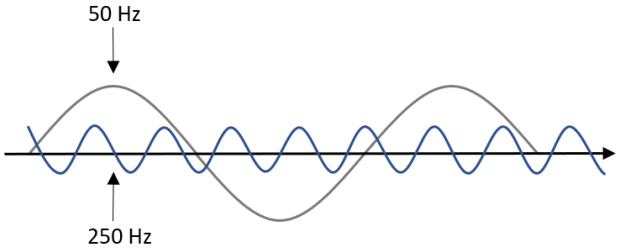
Som tidigare förklarat så är 3:e övertonen 150 Hz när den mäts upp i 50 Hz nätet. Denna överton är vanligast och bildas mestadels av enfasiga olinjära laster, men förekommer även i olinjära trefaslaster [15]. Mer om 3:e övertonen påverkan i elnätet går läsa om i avsnitt 8.2.



Figur 6.1. Grundton samt tredje överton

6.2 5:e övertonen

5:e övertonen bildas främst av olinjära trefaslaster men likt 3:e övertonen så bildas den även från olinjära enfaslaster. 5:e övertonen som ligger på 250 Hz i svenska elnätet har stor inverkan på kondensatorbatterier. 5:e övertonen skapar en resonans i kondensatorbatterierna som medför att de blir överbelastade, vilket resulterar i förluster ökar och att kondensatorbatteriernas livslängd förkortas [16].



Figur 6.2. Grundton same femte överton

6.3 Ytterligare övertoner

Det finns många övertoner att analysera, de vanligaste är 3:e och 5:e men det finns många fler, skillnaden på dessa är att frekvensen inte är desamma eftersom de multipliceras för varje steg. Övertonerna bildas på olika sätt och påverkar elnät olika, de högre övertonerna tex de som ligger över 20:e orsakar ofta missljud i apparater samt vibrationer som kan försämra livslängden på produkter [17].

7 Mätning övertoner

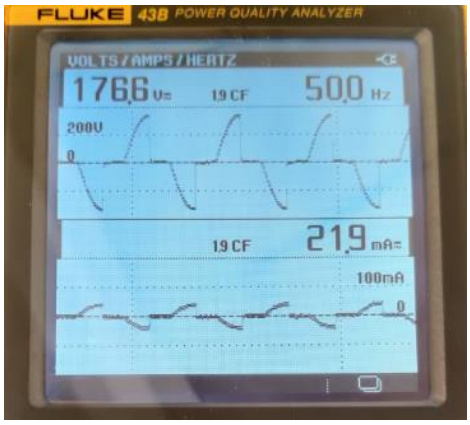
Övertoner inom el är ett mått på hur mycket ström eller spänning avviker från den ideala ursprungliga sinuskurvformen. Den avvikelsen redovisas i total harmonisk distorsion, vilket förkortats THD. Värdet som tas fram genom att övertonernas effektivvärde ställs i förhållande till grundtonens effektivvärde och utrycks normalt i procent [18].

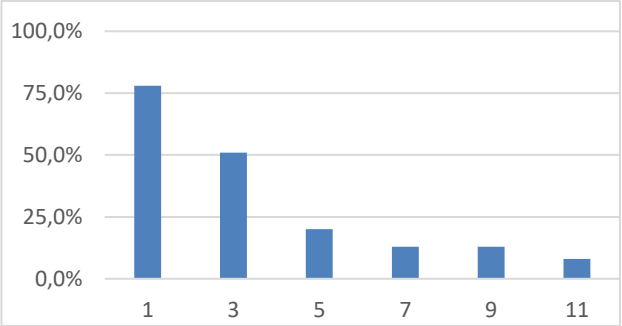
7.1 Rubrik Fourieranalys

En matematiker vid namn Fourier bevisade att alla typer av olika vågformer går att återskapa genom att sammanföra ett antal sinusvågor med en specifik frekvens, amplitud och fasförhållande. Detta innebär att alla deformerade sinusvågor består av ett antal rena sinusvågor. Om en sinusvåg skall undersökas görs en Fourieranalys, Fourieranalysen bygger på matematiska beräkningar, med hjälp av beräkningarna kan vågformen delas upp i dess beståndsdelar. Beståndsdelarna består av ett antal olika sinusvågor med andra frekvenser, även kallat för övertoner. Fourieranalys går vanligtvis under namnet övertonsanalys [18].

7.2 Övertonsanalys

För att analysera en el-anläggning mot övertoner krävs det en övertonsanalysator. Det finns ett flertal olika mätare på marknaden som klarar av att utföra övertonsanalyser, i mätningen nedan används instrumentet FLUKE 43B. Instrumentet består av två mätprober och en strömtång, mätproberna används för att få fram en referensspänning och strömtången används till att få en referensström. Instrumentet klarar bland annat av att illustrera det sinusvågor som uppstår vid mätningen, en annan fördel är att instrumentet klarar av att illustrera nätströmmens olika övertoner i ett stapeldiagram. Nedan visas resultatet av en övertonsanalys som är gjord på en 60W glödlampa med en seriekopplad dimmer. Ljuset är reglerat till ca 50% ljusstyrka.





Figur 7.2. Mätresultat vid övertonsmätningen. *Tabell 7.1. Övertonshalter i övertonsmätning.*

THD för hela strömmen i exemplet ovan var uppmätt till 51%

Studeras exemplet ovan går det att avläsa att både spänning- och strömkurvan är förvrängda. Spänning- och strömkurvans förvrängning uppstår på grund av att dimmern bara släpper igenom delar av sinusvågen. Detta resulterar i att lampan inte kan använda sig av hela energin från sinusvågen och ljuset dämpas.

7.3 Mätning av övertoner i elnäten

En term som är vanligt förekommande inom elbranschen är PQ. PQ kommer från engelskan och betyder Power Quality. PQ innebörd grundar sig på samma principer som svenska ordet elkvalité, där elleveransen av el skall ske utan störningar och avbrott. För att bibehålla god elkvalité är det därför viktigt att PQ-mätningar utförs. Det varierar mellan elnätsbolagen i vilken omfattning dessa PQ-mätningar utförs.

7.3.1 Jönköpings Energi

Jönköpings Energi är ett kommunägt företag med 57 000 anslutna kunder, varav 53 000 är elnätskunder. Jönköpings Energis område sträcker sig från Visingsö och Gränna i norr till Månsarp/Angerdshestra i söder. Totaltsett konsumerar Jönköpings Energi ungefär 1% av Sveriges totala energi [19]

Jönköpings Energi använder sig av 14 PQ-mätare. Mätarna ligger kopplade på 40 kV samt 10 kV nätet [19]. Jönköpings Energis har som mål att förstå PQ-problem hela vägen ner till konsumentnivå. För att uppnå detta kommer Jönköpings Energi installera smarta elmätare som bland annat kan logga historik, samt analysera problem relaterade till PQ.

7.3.2 Tekniska Verken i Linköping

Tekniska Verken ägs av Linköpings Kommun. Tekniska Verken erbjuder b.la. tjänster inom fjärrvärme, elnät, VA och biogas. Tekniska verken har en kundbas på ca 215 000 privat- och företagskunder. Tekniska Verken distributionsnät matas från mottagningsstationer som är ansluta till 130 kV och 40 kV nätet. Totalt har Tekniska verken ett elnät som sträcker sig inom en radie på ungefär 30km.

Totalt använder sig Tekniska verken av 50 PQ-mätare. Det installerade PQ-mätarna ligger främst på 130, 40, 20 och 10 kV nätet. Dock så varierar mätningarna, vissa av det mätningar som utförs är kundanpassande. Detta för att undersöka PQ-frågor i kundernas elanläggning [19].

7.3.3 Sundsvall elnät

Sundsvalls elnät är ett dotterbolag till Sundsvalls Energi och ägs kommunalt. Sundsvalls elnät ansvarar för elnätet inom Sundsvall men även på Alnön. Elnätet är uppbyggt med sex mottagningsstationer, 512 nätstationer och 725 distributionstransformatorer. Sundsvalls elnät har 27 833 kunder och har en årlig förbrukning på cirka 630 GWH.

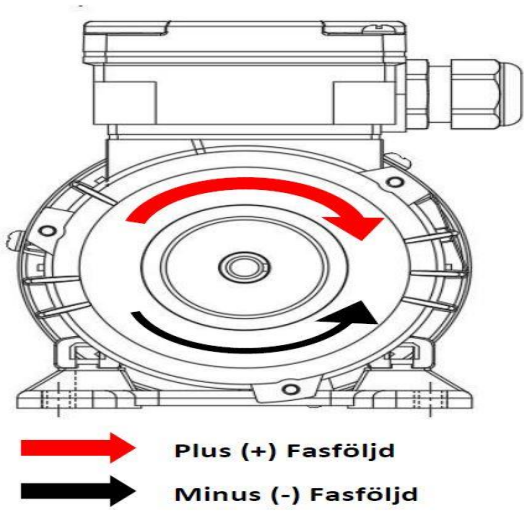
Totalt har Sundsvalls elnät ca 450 PQ-mätare vilket gör att det ligger i framkant sett från deras storlek. Sundsvalls elnät har som ambition att placera en PQ-mätare vid varje distributionstransformator. Brytarställverken är även utrustade med PQ-mätare på 11 kV sidan [19].

8 Problem som skapas av övertoner

Det apparater som använder sig av växelspänning i Sverige är avsedda för grundfrekvensen 50 Hz. Övertoner gör att apparater kommer uppfatta energin från alla övertoner och grundtonen samtidigt. Som tidigare nämnt så är apparaten bara gjord för 50 Hz, vilket innebär att apparaten bara kan ta vara på energin från 50Hz. Detta resulterar i att energin som apparaten ej kan använda omvandlas därför i stället till värme [18]. Apparater som går varma utan överbelastning bör därför undersökas efter eventuella övertoner. Övertoner kan även skapa andra problem. Symptomen vid övertoner kan variera och upplevs ofta som diffusa. Nedan beskrivs några av de vanligaste problemen som kan uppstå vid övertoner.

8.1 Varmgång motorer

Asynkronmotorns rotationsriktning styrs av nätets fasföljd. Övertoner med positiv fasföljd kommer skapa ett magnetfält som arbetar med motorns rotationsriktning. Övertoner med negativ fasföljd kommer skapa ett magnetfält som arbetar i motsatt riktning. Detta resulterar i att övertoner med negativ fasföljd kommer att bidra till extra slitage, mindre momentutveckling, och varmgång i motorn [18]. En illustration av detta visas i figur 8.1.



Figur 8.1. Asynkronmotor med motsatt rotationsriktning.

Varje överton har en specifik fasföljd. Det nio första övertonernas frekvens och fasföljd visas i tabell 8.1. För att lättare få en överblick om vilka övertoner som påverkar el-motorer går det att dela upp övertonerna i tre olika kategorier.

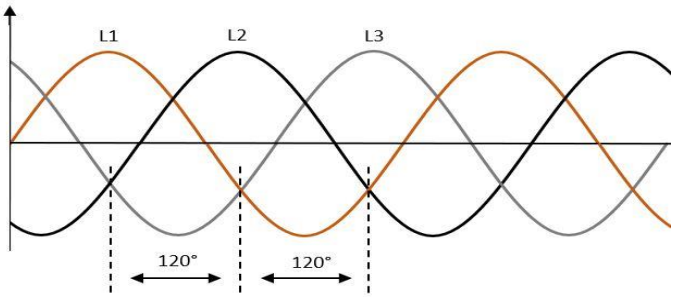
Plusföljdskaraktär: Övertonsströmmen skapar ett magnetfält som roterar i samma riktning som grundtonen 50Hz.
Minusföljdskaraktär: Övertonsströmmen skapar ett magnetfält som roterar i motsatt riktning till grundtonen 50Hz
Nollföljdskaraktär: Dessa övertoner påverkar inte rotationen i el-motorer.

Överton	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Frekvens	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**
Fasföljd	**+**	**-**	**0**	**+**	**-**	**0**	**+**	**-**	**0**

Tabell 8.1. Plus, minus och nollföljdskaraktär i olika frekvenser.

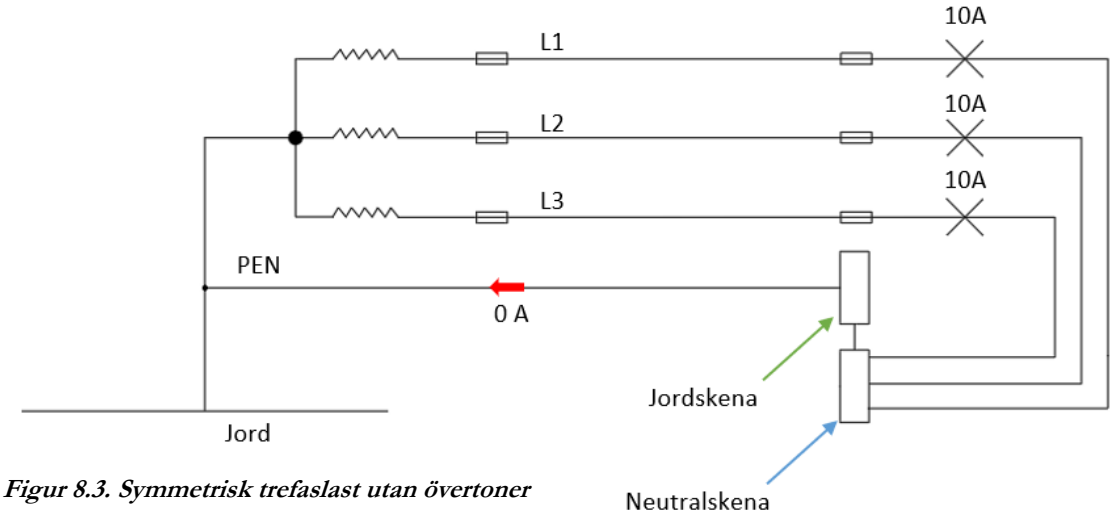
8.2 Överbelastad neutralledare

Sveriges trefassystem är uppbyggt på tre faser, L1, L2 och L3. Varje fas ligger förskjuten med 120 grader ifrån varandra.



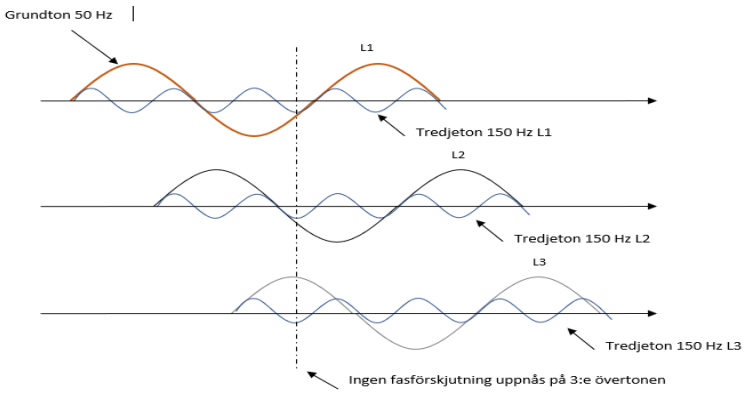
Figur 8.2. Fasförskjutning trefassystemet.

Detta gör att vid en helt symmetrisk 3-fasbelastning utan övertonsfrekvenser tar det tre faserna ut varandra och ingen ström går i matande neutralledare.



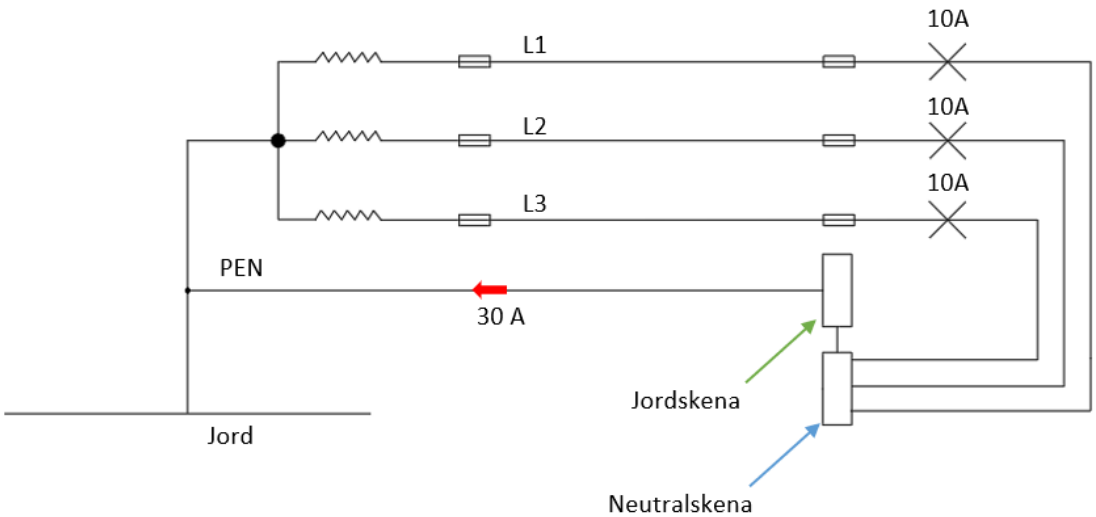
Figur 8.3. Symmetrisk trefaslast utan övertoner

Detta fenomen gäller så länge elsystemet inte innehåller övertoner av nollföljdskaraktär, dvs 3e, 6e 9e övertonen, osv. Som tidigare nämnt är tredje övertonen är den vanligast förekommande övertonen och skapas vid användandet av olinjära enfaslaster. Detta göra övertonen frekvent uppstår i bland annat kontorsfastigheter där mycket olinjära laster finns placerade. Tredje övertonen har en frekvens på 150 Hz och ingen individuell fasförskjutning [14].



Figur 8.4. Trefaslast med tredje överton

Resultatet av den uteblivna fasförskjutningen är att övertonsströmmarna inte tar ut varandra och adderas i stället i neutralledaren. Ett exempel skulle vara att en elanläggning har 10A tredje överton på L1, L2 och L3. Detta skulle resultera i att tredjetonsströmmen för neutralledaren blir 30 A. Strömmen kan alltså bli större i neutralledaren än vad den är i fasledaren [20].



Figur 8.5. Trefaslast med tredjeöverton i neutralledare

Förr så dimensionerades PEN-ledaren utifrån att lasterna skulle vara symmetriska och att frekvensen var 50 Hz Resultatet av detta blev att PEN-ledarens area kunde vara 50% av en fasledare. I äldre elanläggningar finns det därför större risk för varmgång i neutralledare och avbrända anslutningar. [18]

8.3 Överbelastade transformatorer

Övertoner med nollföljdskaraktär som når transformatorn kan skapa varmgång. Detta på grund av att övertonsströmmen cirkulerar i transformatorns primära D-lindning. Förekommer det övertonsfrekvenser i transformatorn induceras järnkärnan med virvelströmmar. Virvelströmmarna bidrar till virvelströmsförluster, förlusterna ökar med frekvensen och leder till förluster i transformatorns järnkärna [21].

8.4 Vagabonderande strömmar

Strömmen väljer alltid den lättaste vägen tillbaka till transformatorn, vilket innebär den väg med minst impedans. Ökar frekvensen i ledningen kommer även impedansen att öka, strömmarna söker då alternativa vägar tillbaka till transformatorn, vilket exempelvis kan vara jordade vattenrör. Vattenrör är inte dimensionerade för att bära el-strömmar vilket kan leda till oönskad uppvärmning med brandrisk som följd. Andra problem som vagabonderande strömmar orsakar är elektromagnetiska fält och störningar i elektronik [22].

8.5 Mellanövertoner

Det övertoner som inte är en heltalsmultipel av grundfrekvensen kallas för mellantoner. Dessa toner tillsammans med jämna övertoner skapar förvrängningar i sinuskurvorna och på så sätt orsakar problem för laster, största märkbara följderna är att ljuskällor kan börja flimra [23]. Som tidigare förklarat så finns det något som heter sammalagringstoppar, dessa toppar gör att grundtonen tillsammans med övertonerna bildar en sinusvåg som ändrar sitt

amplitud-värde då övertonerna har olika frekvens och får sina toppar vid olika tillfällen, på samma sätt kan topparna försvinna om övertonerna inte är i fas och tar då ut varandra vilket bildar en kort stund då amplituden är för låg för ljuskällorna att lysa, detta kan då visas i form av att lampor flimrar [14].

9 Filter

Elanläggningar som använder större icke-linjära laster kan få problem med störningar. Beslut bör tas om de icke-linjära lasterna skall konstrueras om för att minska störningarna eller om ett filter skall installeras. Det kan variera mellan olika elanläggningar om vilken lösning som är mest optimal. I regel är den bästa lösningen att hitta övertonskällan och åtgärda den. Men det finns även möjlighet att använda ett övertonsfilter. Det finns ett antal olika övertonsfilter på marknaden. I följande stycke beskrivs några av dessa.

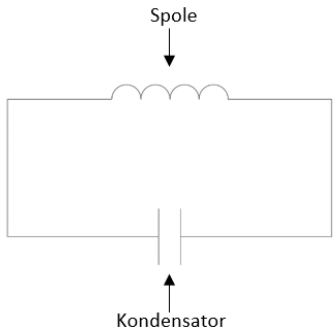
9.1 Aktiva filter

Aktiva filter mäter upp de störningar som bildas från den olinjära lasten. Med hjälp av en övertonsanalys kan filtret analysera vilka specifika övertoner som finns i lastströmmens strömkurva. Filtret kommer sedan att skicka ut en filterström som har samma övertoner som den olinjära lasten. Skillnaden är att de övertonströmmar som filtret skickar ut är fasvridna med 180 grader. Resultatet blir att den olinjära lastens övertoner kommer att tas ut med hjälp av filterströmmen [24].

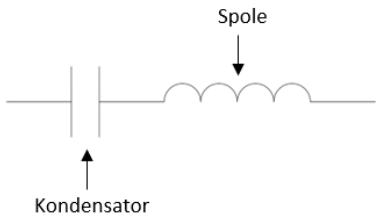
9.2 Passiva filter

Ett passivt filter är utformat för att filtrera bort vissa övertonsfrekvenser. Det passiva filtret är uppbyggt med antingen ett serieresonansfilter eller ett parallellresonansfilter. Ett parallell-resonansfilter är uppbyggt av en spole som är parallellkopplad med en kondensator. Även serieresonansfiltret använder sig av en spole och en kondensator skillnaden är att i serieresonansfiltret ligger spolen och kondensatorn seriekopplade [25]. Detta redovisas i figur 9.2 och 9.3.

Figur 9.2 Parallellresonansfilter



Figur 9.3 Serieresonansfilter

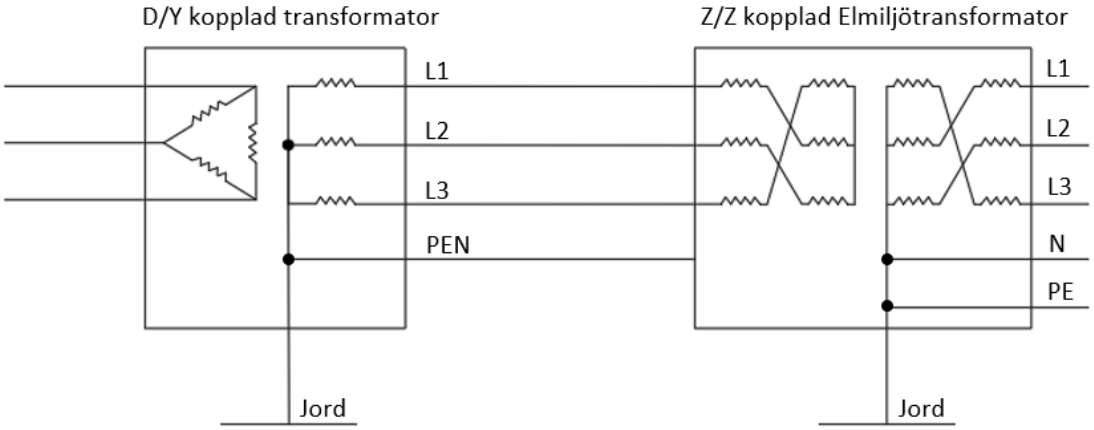


De övertonsfrekvenser som filtreras bort är olika beroende på hur filtret installeras i nätet.

9.3 Elmiljötransformator

Elmiljötransformatorer har visat sig vara väldigt effektiva mot övertoner. Tillskillnad från en vanlig transformator så skapar Elmiljötransformator lägre förluster, är i princip helt tyst och ger upphov till mycket låga magnetfält. Dessa egenskaper har gjort det möjligt att placera Elmiljötransformatorn i anläggningar med känsliga miljöer såsom sjukhus och laboratorier. Elimiljötransformatorn är inte konstruerad för att transformera upp eller ner spänningen. Huvudsyftet är i stället att skapa en galvanisk isolering mot nätet. Elmiljötransformatorn är

uppbyggd med ringkärnor. Ringkärnorna ligger Z-kopplade på sekundärsidan, även primärsidan kan byggas som Z-koppling. Med hjälp av tekniken kan man motverka det övertoner som finns på matande sida genom att övertonerna kortsluts i Elmiljötransformatorn. En annan fördel med Elmiljötransformatorn är att man kan skapa ett TN-S-system från ett befintligt TN-C, utan att gå till matande transformator [26]. Nedan i figur 9.4 illustreras konceptet med en Elmiljötransformator.



Figur 9.4. D/Y transformator med Z/Z kopplad Elmiljötransformator

10 LAGAR OCH REGLER

I den svenska ellagen (1997:857) ges föreskriver om elektriska anläggningar, elsäkerhet och elhandel.

Följande stycke är citerat från 3 kap. 9§ ellagen.

”Den som har nätkoncession är skyldig att på skäliga villkor överföra el för annans räkning. Överföringen av el skall vara av god kvalitet. En nätkoncessionshavare är skyldig att avhjälpa brister hos överföringen i den utsträckning kostnaderna för att avhjälpa bristerna är rimliga i förhållande till de olägenheter för elanvändarna som är förknippade med bristerna. Regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får meddela föreskrifter om vilka krav som skall vara uppfyllda för att överföringen av el skall vara av god kvalitet.”

I ellagen nämns det att överföringen av el skall vara av god kvalité. För att säkerhetsställa elkvalitén har bland annat Energimarknadsinspektionen har tagit fram allmänna råd och föreskrifter som beskrivs i energimarknadensinspektionens rapport *EIFIS 2013:*1. Standarden berör flera områden, däribland övertoner.

Beroende på hur hög nätspänningen är ställs olika krav på hur höga halter övertoner som får finnas i näten. Elnät med referensspänning upp till 36 kV ska den totala övertonshalten vara mindre eller lika med åtta procent. Enskilda övertoner skall vara mindre eller lika med värdena i tabell 10.1. [27].

Udda övertoner				Jämna övertoner	
Ej multiplar av 3		Multiplar av 3			
Övertoner (n)	Relativ övertonshalt (%)	Övertoner (n)	Relativ övertonshalt (%)	Övertoner (n)	Relativ övertonshalt (%)
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6 … 24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Tabell 10.1. Tabell för maximala övertonshalter i nätet upp till 36 kV.

11 Diskussion

I detta avsnitt diskuteras nutida problem samt lösningar gällande övertoner på elnätet men även framtida möjligheter och utmaningar. Viktigt att notera är att detta enbart är författarnas reflektion.

11.1 Privata elanläggningar och övertoner

Det senaste decenniet har användningen av el-komponenter ökat markant på marknaden. Elbilsladdare, serverhallar, industrier är några exempel på detta. Den snabba utvecklingen av användandet av strömkrävande el-komponenter på nätet har bidragit till att elnätets infrastruktur ej har möjlighet att anpassa sig. I vissa delar av Sverige räcker ej nätkapaciteten till för den expansiva användningen av el-komponenter. Göteborgs Energi har publicerat en artikel ”*Elnätskapaciteten i Göteborgsregionen måste framtidssäkras [28]*” Göteborgs Energi menar att om företag vill kunna fortsätta expandera i framtiden måste elnätet byggas ut för att klara av det nya framtida krav som ställs. Övertoner är i regel inte ett problem i starka elnät. Övertonernas inverkan kan dock bli mer noterbar i elnät som redan ligger under påfrestning. I samband med det nya funktionskrav som ställs på elmätare, krävs det att elnätsbolagen byter ut sina elmätare för att uppfylla det nya krav som ställs. Många av de elmätarna som elnätsbolagen installerar klarar av att mäta THD. Detta möjliggör att elnätsbolagen får en bättre översikt av sitt elnät. Elområden som ligger under påfrestning kan därför i ett tidigt skede undersökas, samt åtgärdas vid eventuella övertoner. I och med att det nya elmätarna klarar av att mäta THD finns den även andra aspekter att filosofera kring, så som debitering av halten övertoner. Övertoner som ej hanteras kan vara kostsamt, sett från faktorer som förluster, produktionsstörningar och oplanerade avbrott. Även filtreringsutrustningen är kostsam och är underhållskrävande. Dessa faktorer skulle kunna vara en anledning till att elnätbolagen börjar debitera sina kunder för halten övertoner som skickas ut på elnätet. I vilken grad detta skulle ske i får lämnas i spekulationer. Men när vi är i en tid med stora förändringar på elnätet så är detta inte en omöjlighet i framtiden.

11.2 Problematik i lågspänningsnäten

I dagens lågspänningsnät används inget skydd för att neutralledaren inte skall överbelastas. Detta bygger på installationspraxis som har används i årtionden, förr i tiden var nästan alla laster linjära och för att undvika strömmar i neutralledaren fördelades lasterna jämt på faserna. Vid händelsen att en säkring löste ut kunde strömmen öka i neutralledaren men aldrig blir mer än vad den maximala strömmen var i fasledaren. I dagens elnät ser förutsättningarna annorlunda ut, nästan alla laster som används är olinjära och ger upphov till övertoner. För att undvika att neutralledaren överbelastas i elinstallationer ställs det krav i svensk standard. Svensk standard beskriver att i anläggningar med höga övertonshalter skall neutralledarens ledande del vara av högre kvadrat för att hantera de övertonsströmmar som uppstår, men frågan som måste ställas är om man vill ha en ledare i elanläggning som bär höga strömmar helt oövervakad. Som tidigare nämnt finns det filter på marknaden för att motverka övertoner. Dock så är filtrena stora, tunga och förhållandevis dyra, en Elmiljötransformator med märkström 25A väger ca 200 kg, vilket försvårar installationen. Att placera en säkring som skyddar neutralledaren skulle vara effektivt, i syfte att begränsa strömmarna i neutralledaren. Dock så är det en lösning som ej fungerar i praktiken, vid en händelse att säkringen till neutralledaren löser ut på grund av överström kommer elanläggningen få en så kallad ”flytande nolla”. Följderna av en flytande nolla är att apparater kan få en förhöjd spänningsnivå och gå sönder. En lösning skulle kunna vara att placera en övervakningsenhet, likt en

jordfelsövervakning. Enheten kan då mäta hur hög ström som passerar i neutralledaren, överskrider strömmen inställt värde kan enheten larma lokalt, alternativt till ett övergripande system.

11.3 Framtida åtgärder vid projektering av elsystem

Som tidigare nämnt kan övertoner skapa problem i elnätet. Parallellt med att vi försöker undersöka och minimera övertonerna i det befintliga nätet så bygger vi nya delar i nätet med nya komponenter som bidrar till ännu större ökningen av övertoner.

En el-projektör har i ansvar att konstruera en elanläggning efter det standarder och krav som ställs. Arbetsuppgifterna kan variera för en el-projektör, men något som frekvent uppstår är kabeldimensionering. Syftet med kabeldimensionering är att beräkna fram att den kabeln som förläggs i elanläggningen klarar av det påfrestningar som kabeln utsätts för. Det finns många faktorer som är av betydelse vid kabeldimensionering, exempelvis kabellängd, ström i kabeln och förläggningsätt av kabeln. Men i takt med att olinjära laster ökar inom elnätet måste andra parametrar tas i beaktande, så som THD. Att beräkna THD vid kabeldimensionering på lågspänningsnäten är ett relativt nytt tillvägagångsätt. Detta för laster som installerades förr inte var av olinjär karaktär. Det finns olika kabeldimensioneringsprogram på marknaden, ett välkänt är EL-VIS. Det är bara under det senaste året EL-VIS har introducerat THD vid kabeldimensionering. Men av god anledning, höga THD-värden i elkretsen påverkar valet av kabeltyp. Därför krävs det kunskap om vad övertoner och hur det påverkar en elanläggning. Sett ur ett framtidsperspektiv så tror vi att övertoner kommer bli ett mer välkänt begrepp, både bland beställare, installatörer och hos projektörer. Men även i andra sammanhang så som i skola och utbildning.

11.4 Framtida krav och standarder

I dagens standarder så finns de relativt få krav och standarder kring övertoner. Detta beror på att övertoner har blivit ett alltmer vanligare problem i elnätet det senaste åren. Stora producenter av övertoner har ökat markant på marknaden, då försäljningen av solcellsanläggningar och elbilsladdare blivit att mer vanligt. Krav och standarder för dessa producenter har funnits under längre tid. Men det som kan diskuteras är om dagens regelverk är anpasssat för en stor expansion av olinjära laster på elnätet. För att ta ett exempel, problemet med överbelastade neutralledare är som störst i äldre elanläggningar där storleken på neutralledaren kan vara betydligt mindre än fasledaren. Ett framtida krav skulle kunna vara att äldre elanläggningar från ett visst årtal måste genomgå en kontroll. Visar det sig att elanläggningen ligger överbelastad måste åtgärder tas. Vilket skulle kunna vara uppdatering av kablage alternativt installera ett övertonsfilter.

12 Slutsatser

Övertoner har blivit alltmer vanligt de senaste åren då ökningen av olinjära laster har ökat på elnätet så som elbilsladdare och likriktare till solcellsanläggningar. För elnätsbolagen är övertoner ett välkänt begrepp och ett aktivt arbete pågår för att identifiera samt motverka halten övertoner på nätet, med exempelvis PQ-mätningar. Övertoner kan ha en stor inverkan på en elanläggning. Med problem som energiförluster, slitage och störningar. Men även allvarligare problem kan orsakas av övertoner så som överbelastade elektriska ledare, med brandfara som följd. Det finns filter på marknaden som kan motverka övertoner, det kan dock anses som stora, tunga och dyra enheter, vilket kan omöjliggöra installationen. Det finns regelverk inom svensk standard som talar om hur en elanläggning skall konstrueras vid eventuella övertoner. Dock så är regelverket framtaget i syfte att motverka direkta faror med övertoner så som överhettade ledningar. Sett ur ett framtidsperspektiv så finns möjligheter att både regelverk samt mätmetoder ändras för att begränsa övertoner. Men även andra faktorer så som installationspraxis gällande nybyggnationen av elanläggningar.

13 Rekommendationer

- För att minimera risken för övertonsproblem rekommenderas alla elanläggningsinnehavare att kontrollera sin elanläggning så att den klarar av eventuella övertonsströmar.
- Övertonsrelaterade problem kan vara diffusa. Problem som överhettning utan överbelastning kan vara ett tecken på övertoner och det kan då vara idé att undersöka elanläggningen för eventuella övertoner.
- Vid projektering av elsystem rekommenderas kabeldimensioneringsprogram som tar hänsyn till THD vid beräkningar av elkretsar.

14 Referenser

[1] Elinstallationsreglerna SS 436 40 00, utgåva 3. p 52.

[2] S-E. Berglund. J. Åkerlund. Elkvalitetsguide, Stockholm, 2007. p 12.

[3] S. Shaoo. M. Bollen. Energiforsk Elkvalitetsarbete i Sverige, Stockholm 2019, p 11.

[4] S-E. Berglund. J. Åkerlund. Elkvalitetsguide, Stockholm, 2007. p 15.

[5] L. Westlund. Elmiljö i Praktiken Övningsbok EUU, Malmö, 2018. p 37.

[6] CA Mätsystem, Effekt och mätning av effekten, 2017. p 4.

[7] C. Wildner, Mätning av högrekventa övertoner vid laddning av elbilar, Uppsala universitet, 2020. p 2.

[8] A. Wolf, Lokal energilagring eller traditionella nätförstärkningar av Power Circle AB, 2018.

[9] L. Ejeklint, Egenproduktion Solceller av Vattenfall AB, Finspång, 2017. p 2–4

[10] Bixia AB, Solceller och solpaneler - allt du behöver veta, 2021. Underliggande källor: Energimyndigheten, Solcellskollen, Skatteverket, Boverket.

[11] H. Landenstad, Martin Rokka, Solcellsanläggningar – Optimering och lönsamhet, Högskolan i Borås, 2020. P 1

[12] ABB Motorer och Drivsystem, Frekvensomriktare – som både höjer energieffektiviteten och minskar övertonerna, 2021. p 3-4 6-7.

[13] CA Mätsystem, Effekt och mätning av effekten, 2017. p 4–6.

[14] D. Eriksson. Utredning om förekomsten och inverkan av övertoner i Umeås centrala elnät, Umeå, 2013. p 6–8. [13].

[15] S-E. Berglund. J. Åkerlund. Elkvalitetsguide, Stockholm, 2007. p 17.

[16] D. Eriksson, Utredning om förekomsten och inverkan av övertoner i Umeås centrala elnät, Umeå, 2013. p 28.

[17] S-E. Berglund. J. Åkerlund. Elkvalitetsguide, Stockholm, 2007. p 17

[18] L. Westlund. Elmiljö i Praktiken Övningsbok EUU, Malmö, 2018. p 37–42.

[19] S. Shaoo. M. Bollen. Energiforsk Elkvalitetsarbete i Sverige, Stockholm 2019, p 23–25.

[20] INSU Anläggningar för produktion och överföring av el samt industriella anläggningar, Nyköping, 2019. p 14.

[21] V. Norgren. Utredning av störningar i en trefastransformator, Umeå, 2016. p 7 [17].

[22] Elinstallationsreglerna SS 436 40 00, utgåva 3. p 175.

[23] S. Rönnberg. ”Flimmer”, Skellefteå, 2006. p 16.

[24] Sinexcel Power Quality. ”Active Harmonic Filter (AHF)”. p 3.

[25] D. Eriksson, Utredning om förekomsten och inverkan av övertoner i Umeås centrala elnät, Umeå, 2013. p 30.

[26] Svensk Elmiljöutveckling. ”Elmiljötransformator informationsblad”.

[27] E. författarsamling. ”EIFS 2013:1,” Göran Morén, 2013.

[28] ”Göteborg Energi,” [Online]. Available: https://www.goteborgenergi.se/om-oss/press. [Använd 2021-04-05]