



Investerings- och byggnationsanalys av integrerade och fristående strömtransformatorer i Ellevios regionnät

Ida Nilsen

ELLEVIO

Förord

Examensarbetet är utfört på uppdrag av Ellevio AB i Karlstad. Ellevio AB tidigare Fortum Distribution har sedan de köptes 2016 av ett konsortium, bestående av Tredje AP-fonden, Folksam, Första AP-fonden samt OMERS Infrastructure (f.d. Borealis Infrastructure Management Inc.) -investerat kraftigt i elnätet. Detta har medfört flera investeringar med nya innovativa lösningar och däribland den integrerade strömtransformatorn.

Examensarbetet sträcker sig över tio veckor, vilket motsvarar 15 högskolepoäng och är den avslutande delen på en högskoleteknisk högskoleexamen, med inriktning mot elkraft på Högskolan Väst i Trollhättan.

Jag vill passa på att tacka mina handledare på Ellevio som stöttat och motiverat mig under hela processen samt att ni stått ut med alla mina frågor och fundering. Jag vill dessutom tacka min examinerare Lars Holmblad och min handledare Evert Agneholm som väglett och kommit med goda råd längs vägen. Jag vill även passa på att tacka alla som ställt upp på intervjuer och sist men inte minst min sambo som fått läsa och lyssnat på alla mina funderingar och diskussioner.

Samtliga Figurer och Tabeller i rapporten är framtagna av författaren om inget annat anges. Figuren på titelsidan används med tillstånd av Ellevio AB.

Ida Nilsen

Visby 2018

Investerings- och byggnationsanalys av integrerade och fristående strömtransformatorer i Ellevios regionnät

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete är att genomföra en teknisk- och ekonomisk undersökning av två byggnationssätt av strömtransformatorer i ställverk: fristående strömtransformatorer och strömtransformatorer inbyggda i krafttransformator.

I krafttransformatorn, mättransformatorn, ström-, och spänningstransformatorn. Krafttransformatorn är en av de viktigaste komponenterna i elnätet, vars huvuduppgift är att transformera elektricitet från en spänningsnivå till en annan. Mättransformatorer används till att galvaniskt åtskilja högspänningskretsar från mätinstrument och anpassa spänningar och strömmar till lämpliga nivåer. Spänningstransformatorns uppgift är att transformera de primära spänningarna till sekundära mätspänningar medan strömtransformatorn huvuduppgift är att omvandla primära strömmar, till mindre, standardiserade, sekundära strömmar för att få mindre och mer hanterbara strömmar som är enklare att mäta.

I examensarbetet jämförs för- och nackdelar med fristående och integrerade strömtransformatorer i Ellevios regionnät. Två kostnadskalkyler tas fram och en kravstudie om Ellevios gällande krav för mätning med mättransformatorer i regionnätet presenteras. Detta har skett genom omfattande kartläggning och intervjuer med sakkunniga intressenter inom området.

Den teoretiska och ekonomiska undersökningen visar att investeringskostnaden för den integrerade strömtransformatorn är avsevärt lägre och att den är utrymmesbesparande samt att det är mer komplicerat att åtgärda eventuella fel på denna typ av strömtransformator.

Datum:	2018-03-15
Författare:	Ida Nilsen
Examinator:	Lars Holmblad
Handledare:	Evert Agneholm (DNV GL Sweden AB), Kristian Flinth (Ellevio AB), Anders Ekberg (Ellevio AB)
Program:	Högskoletekniker, elkraft, 120 hp
Huvudområde:	Elektroteknik
Kurspoäng:	15 högskolepoäng
Utgivare:	Högskolan Väst, Institutionen för ingenjörsvetenskap, 461 86 Trollhättan

Investment- and construction analysis of integrated and independent current transformers in Ellevio's regional network

Summary

The purpose of this diploma thesis is to conduct a technical and economic investigation of two construction methods of current transformers in substations.

In the report the power transformer, the instrument transformer, the current and voltage transformers are presented. The power transformer is one of the most important components in the power grid, whose main task is to transform electricity from one voltage level to another. The instrument transformers are used to separate high voltage circuits from the measuring instruments. The voltage transformers task is to transform the primary voltages into secondary measurement voltages, and the current transformer main task is to convert primary currents to smaller, standardized secondary currents to get less and more manageable currents that are easier to measure.

In the thesis, pros and cons with the independent and integrated current transformers are compared in Ellevio's regional network. Two financial calculations are presented and a requirement study about Ellevio's current requirements for measurement with instrument transformers in the regional network is submitted. This has been through extensive surveying and interviews with expert stakeholders in the area.

The theoretical and economic investigation shows that the investment cost of the integrated current transformer is considerably lower and that it is space saving and that it's more complicated to correct possible errors on this type of current transformer.

Date:	March 15, 2018
Author(s):	Ida Nilsen
Examiner:	Lars Holmblad
Advisor(s):	Evert Agneholm (DNV GL Sweden AB), Kristian Flinth (Ellevio AB), Anders Ekberg (Ellevio AB)
Programme name:	Higher Education Technician, Electric Power Technology, 120 HE credits
Main field of study:	Electrical engineering
Course credits:	15 HE credits
Publisher:	University West, Department of Engineering Science, S-461 86 Trollhättan, SWEDEN

Innehåll

Förord	i
Sammanfattning	ii
Summary	iii
Nomenklatur	v
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål.....	1
1.3 Problembeskrivning och avgränsningar	1
1.4 Metod.....	2
2 Övergripande teori om kraft- och mättransformatorer	3
2.1 Krafttransformator.....	3
2.2 Mättransformator	5
2.2.1 Spänningstransformator	6
2.2.2 Strömtransformator	7
2.3 Strömtransformatorers placering.....	8
2.3.1 Fristående strömtransformatorer.....	8
2.3.2 Integrerade strömtransformatorer	10
2.3.3 Fördelar och nackdelar med olika placeringar	12
3 Krav på mättransformatorer i Ellevios elnät	14
3.1 Inköp.....	14
3.2 Verifiering.....	14
3.3 Utbyttestid.....	15
4 Ekonomisk undersökning av strömtransformatorer	16
4.1 Investeringsalternativ 1 - fristående strömtransformator	16
4.2 Investeringsalternativ 2 - integrerad strömtransformator	18
5 Resultat	19
5.1 Resultatet av investeringsalternativ 1 – fristående strömtransformator	19
5.2 Resultatet av investeringsalternativ 2 – integrerad strömtransformator.....	20
6 Diskussion	22
6.1 Teoretisk studie	22
6.2 Sammanställning	23
7 Slutsatser	24
7.1 Rekommendation om framtida byggnationssätt	24
7.2 Framtida arbete	24
Referenser	25
Bilaga A: Fullständigt utdrag från EBR katalogen	26
Bilaga B: Intervjuformulär	27

Nomenklatur

Vokabulär

AMD	Asset Management and Design
EBR	Elbyggnadsrationalisering
HVDC	High voltage direct current

Symboler

a	Årliga inbetalningar [kr]
G	Grundinvestering [kr]
I_{sn}	Sekundär märkström [A]
n	Ekonomisk livslängd [år]
NUS	Nusnummerfaktor
R	Restvärde [kr]
r	Kalkylränta [%]
S	Skenbareffekt [VA]
U_s	Sekundärspänningen [V]
U_{sn}	Spänningstransformatorns sekundära märkspänning [V]
Z	Impedansen för den anslutna bördan [Ω]

1 Inledning

Examensarbetet avser att ta fram en rekommendation om framtida byggnationsalternativ med fristående och integrerade strömtransformatorer i regionnätet.

1.1 Bakgrund

Då dagens samhälle växer och utvecklas allt snabbare krävs att elnätet hänger med i utvecklingen och ligger ett steg före hela tiden. För att tillgodose detta krävs det att de förebyggande och avhjälpande underhållen vidmakthåller en god standard. Det förebyggande underhållet ska minska risken för fel och störningar genom att det utförs i förutbestämda intervaller eller enligt gällande lagar och förordningar, medan det avhjälpande underhållet genomförs när felet redan har inträffat [1]. Oavsett vilket så krävs ett fungerande underhåll för att undvika onödiga kostnader och för att få en fungerande drift av elnätet. Idag investerar distributionsföretagen mer än någonsin i elnäten och i dessa investeringar ingår även nya innovativa lösningar [2].

Ellevio, Regionnät Landsbygd, bygger idag i regel med integrerade strömtransformatorer på uppsidan av krafttransformatorerna i spänningsnivåerna 30–130 kV. Strömtransformatorn sitter i anslutning till krafttransformatorn för att säkerställa en så noggrann avläsning som möjligt. Då Ellevio anser det mer kostnadseffektivt då de bland annat kan spara in den plats strömtransformatorn hade tagit i ställverket. Men är det verkligen det bästa byggnationsalternativet om man även ser till reparation och underhåll av elanläggningen? De två avdelningarna Mätning och AMD (Asset Management and Design) är i dagsläget oeniga om Ellevio som företag ska fortsätta investera i integrerade strömtransformatorer, eller om de ska återgå till det ursprungliga byggnationsalternativet med fristående strömtransformatorer i regionnätet. AMD är den avdelningen inom Ellevio som äger elnätet, sköter alla investeringar och underhållet.

1.2 Syfte och mål

Examensarbetets syfte är att för Ellevio AB göra en teknisk- och ekonomisk undersökning av huruvida rätt byggnationssätt av strömtransformatorer används.

Målet är att ta fram två kostnads kalkyler; en för fristående- och en för integrerade strömtransformatorer samt att genomföra en studie av Ellevios krav gällande mätning med mättransformatorer i regionnätet. Dessutom skall en rekommendation om framtida byggnationssätt av ställverk med integrerade eller fristående strömtransformatorer tas fram.

1.3 Problembeskrivning och avgränsningar

I dagsläget finns det en viss osäkerhet inom Ellevio, angående vilka krav Ellevio som företag har beträffande strömtransformatorer. Vissa oklarheter finns även när det kommer till reparation och underhåll av integrerade strömtransformatorer då de ännu inte har inträffat

några kända problem med de installationer som tagits i drift¹. På uppdrag av Ellevio skall därför deras krav på utbytestider, kostnadsaspekter och byggnationsalternativ undersökas. Går strömtransformatorerna att byta ut eller repareras inom den stipulerade tiden? Vad skulle den alternativa kostnaden bli om Ellevio väljer att bygga med fristående istället för integrerade strömtransformatorer?

Arbetet begränsas till att studera två byggnationslösningar, fristående och integrerade strömtransformatorer. Dessa två lösningar kommer att analyseras och jämföras för att slutligen resultera i en rekommendation om framtida byggnationer. Projektet är också begränsat till strömtransformatorer i utomhusställverk i regionnätet 145/10kV.

1.4 Metod

Examensarbetet grundar sig på kartläggning av de olika byggnationsalternativen som Ellevio använder sig av idag samt deras funktion och tillgänglighet. Information och data samlas in via litteraturstudier och intervjuer med interna och externa intressenter. Anvisningen IBH14 [3] som är en rapport från Svensk Energi (numera Energiföretagen) är en viktig del av examensarbetet då den berör mätningar och utföranden av strömtransformatorer i elnätet samt även ställer krav på anslutning av kundanläggningar.

Data från Ellevios egna beräkningsverktyg tillhandahålls av AMD för att genomföra ekonomiska beräkningar av de olika byggnationsalternativen, då det skulle ta för lång tid att i detta examensarbete sätta sig in i Ellevios beräkningsverktyg. Kostnadsberäkningar genomförs även med hjälp av EBR-katalogen [4].

¹ Flinth, Kristian, Ellevio AB, E-post 2017-11-07

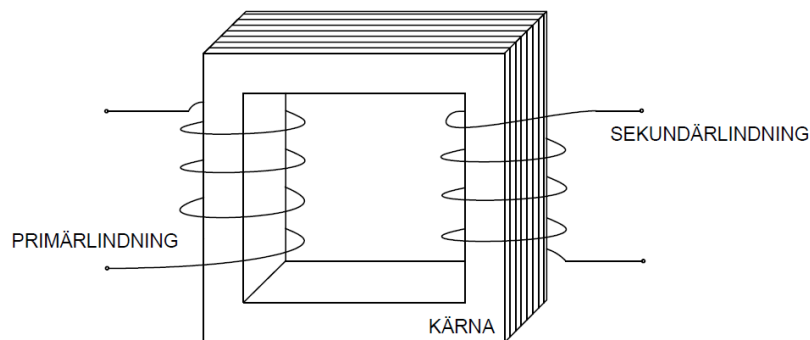
2 Övergripande teori om kraft- och mättransformatorer

I följande avsnitt presenteras grundläggande teori om krafttransformatorn, mättransformatorn, ström- och spänningstransformatorn samt två byggnationsalternativ med fristående och integrerade strömtransformatorer.

2.1 Krafttransformator

Krafttransformatorn är en av de viktigaste komponenterna i elnätet vars huvuduppgift är att omvandla elektricitet från en spänningsnivå till en annan. Transformatorn har en beräknad ekonomisk livslängd på ca 40 år och ska under sin livstid tåla mycket stora påfrestningar av väder och vind då de ofta står oskyddade utomhus. Det i sin tur ställer höga tekniska krav på säkerhet, konstruktion och funktion [5]. Med hjälp av krafttransformatorn kan spänningen i varje knutpunkt i elnätet omvandlas mellan olika spänningsnivåer efter behov, någon som är väldigt eftertraktat i länder med långa transportsträckor mellan produktion och konsumtion. För att minimera överföringsförlusterna i transmissionsnätet överförs nämligen elen med hög spänning. Sverige är ett typiskt exempel på detta där den största produktionen sker i norr medan huvuddelen av förbrukningen finns i söder.

Funktionaliteten hos alla transformatorer på marknaden är näst intill desamma oberoende av vilken tillverkaren är. Alla transformatorer har minst två lindningar som sitter på en kärna av elektroplåt. Elektroplåt är en plåt tillverkad av en speciell kiselplåt som har mycket goda magnetiska egenskaper. Att använda elektroplåt medför små hysteresförluster. Kärnan är tillverkad av laminerade plåtar. Lamineringen mellan plåtskivorna fungerar som en isolering som verkar för att minska virvelströmmarna som induceras i järnet. Lindningarna pressas samman för att få en god magnetisk förbindelse mellan lindningarna och för att minska läckreaktansen [6]. De förekommer alltid minst två lindningar i transformatorn men det finns även exempel på transformatorer med både tre och fyra lindningar. För att förstå lindningarnas olika funktioner så är det lämpligt att beakta en transformator med två lindningar. Sekundär- och primärlindning, se Figur 2.1. Sekundär- och primärlindning kan även, beroende på spänningen, definieras som nedsida och uppsida. Varav det förstnämnda är lågspänningssidan och den senare högspänningssidan.



Figur 2.1, Transformatorns kärna och lindningar

Till skillnad mot transformatorns funktionalitet så kan dess konstruktion variera beroende på tillverkare, modell, spänning, frekvens och vilken miljö transformatorn ska vistas i. Transformatorns kärna och elektromagnetiska struktur är inbyggt i ett hölje för skydd mot yttre påfrestningar och för att skapa en säkrare omgivning runt dem. I många typer av krafttransformatorer är utrymmet som omger den elektromagnetiska strukturen fyllt med ett elektriskt isolerande material till exempel olja eller luft. Detta för att undvika skador på lindningarna och kärnan samt avleda värme [6].

I de flesta oljefyllda transformatorer cirkulerar oljan genom flänsar eller tuber på utsidan av höljet för att förbättra kylningen. Flänsarna och tuberna kyls i sin tur ofta med luft. Den oljeisolerade transformatorn är i särklass vanligast på marknaden idag på grund av att den har högre permittivitet än luft [7], [8]. Det vill säga att den har bättre isolations- och kylförmåga jämfört med den luftisolerade transformatorn. Men där det råder särskilda anvisningar avseende miljö och säkerhet till exempel inom brandkänsliga områden och i underjordsstationer används så kallade torrisolerade transformatorer [9]. De torrisolerade transformatorerna är vakuumimpregnerade med ofta helt synliga lindningar som kyls av luften kring dem [9].

2.2 Mättransformator

Mättransformatorn är en vital del av distributionsnätet då systemet för både felbortkoppling och debiteringsmätning är beroende av tillförlitliga mätvärden vars mätvärden hämtas från mättransformatorn. Främst används mättransformatorn till att åtskilja högspänningskretsar galvaniskt från mätinstrumenten och transformera ner höga spänningar och strömmar till längre standardiserade värden som är avsedda för mätning [5]. Mättransformatorer benämns vanligen efter den storhet som ska mätas: spännings- respektive strömtransformator. Mättransformatorn kan nyttjas för mätning vid normala och onormala driftförhållanden. Vid normala driftförhållanden är det debiteringsmätning som är det primära användningsområdet medan vid onormala driftförhållanden så är det mätning för reläskydd, som har till uppgift att skydda elkraftsystemet från skadliga felströmmar. Utifrån vilket användningsområde mättransformatorn har givits, mätning eller skydd, ställs det olika krav på den. För de båda användningssätten förutsätts en god mätnoggrannhet. [10]

Något som inte får förbises vid användning och undersökning av mättransformatorer är att ta hänsyn till den totala belastningen, inklusive ledningar, som ansluts till sekundärsidan. Den totalt anslutna impedansen (Z) för mättransformatorn kallas för börda och anges i Ω . Storleken på bördan påverkar mätnoggrannheten lite olika beroende på om det är en ström- eller spänningstransformator. Impedansen hos bördan för spänningstransformatorn skall vara så stor som möjligt för att få en så liten ström som möjligt, vilket ger ett litet spänningsfall. Medan strömtransformatorn skall ha en så liten impedans som möjligt för att på så sätt få en liten magnetiseringsström. [10]

Bördan bör traditionellt även kunna uttryckas som en skenbar effekt i VA . Genom att uttrycka bördan som en skenbar effekt fås samma uttryckssätt i ord vid användning av både ström- och spänningstransformatorer [10]. Hade istället bördan uttryckts i Ω kommer en ökning av impedansen innebära en ökad börda och avvikelser för strömtransformatorn från idealtillståndet. Om spänningstransformatorn istället skulle få en ökad impedans skulle det innebära ett närmande till idealtillståndet.

Uttrycks bördan istället som en skenbareffekt (S) innebär det en ökning respektive minskning av ett avlägsnande respektive närmande till idealtillståndet för de båda modellerna av mättransformatorer.

Den skenbara effektförbrukningen vid sekundär märkström (I_{sn}) och den sekundära märkspänningen (U_{sn}) beror alltså på den aktuella bördan enligt följande ekvationer för strömtransformatorn och spänningstransformatorn.

För strömtransformator gäller:

$$S = U_s \cdot I_{sn} \Rightarrow Z \cdot I_{sn}^2 \quad (2.1)$$

För spänningstransformator gäller:

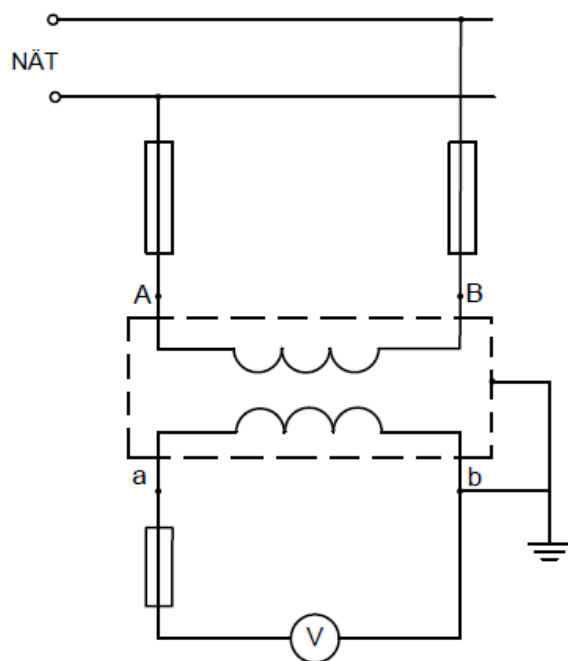
$$S = U_{sn} \cdot I_{sn} \Rightarrow \frac{U_{sn}^2}{Z} \quad (2.2)$$

Ström-, och spänningstransformatorerna kan delas in i olika klasser beroende på vilken noggrannhet de uppnår vid angiven märkbörda. Klasserna anges av ett nummer och en siffra som beskriver det maximalt tillåtna omsättningsfelet i procent då transformatorn är belastad med märkbördan och är ansluten till märkspänningen. Vilken noggrannhet som behövs beror på vad som skall mätas. För mätändamål är noggrannhetsklasserna från 0,1–3 procent vanligast och 3 - 6 procent för reläskyddsändamål. [5]

Vid användning av mättransformatorer bör vissa skyddsåtgärder med hänsyn till utrustning och skydd vidtas. Anläggningen skall vara utförd så att skadlig spänning begränsas och om möjligt förebyggs. Varje metallisk ihopkopplat system innehållande sekundärsidor skall systemjordas. Viktigt att påpeka är att endast en punkt i varje system får jordas. Om flera punkter av misstag jordas kan viss känslig utrustning och skydd utsättas för utjämningsströmmar. Därför är det viktigt att alltid följa konstruktörers och fabrikanterets kretsschemor med anvisningar om vilka lämpliga punkter för jordning som finns [10].

2.2.1 Spänningstransformator

Spänningstransformatorns uppgift är att transformera de primära spänningarna till sekundära mätspänningar. Inkoppling av en spänningstransformator görs parallellt över det objekt den ska mäta över. Primärsidan ansluts mot mätobjektet. Transformatorns sekundärsida kopplas därefter in mot apparater med hög resistans, se Figur 2.2 [5].



Figur 2.2 Spänningstransformator

Viktigt att nämna är att spänningstransformatoren alltid skall skyddas sekundärt med en dvärgbrytare (momentanutlösande) eller en säkring i nära anslutning av sekundäruttagen på grund

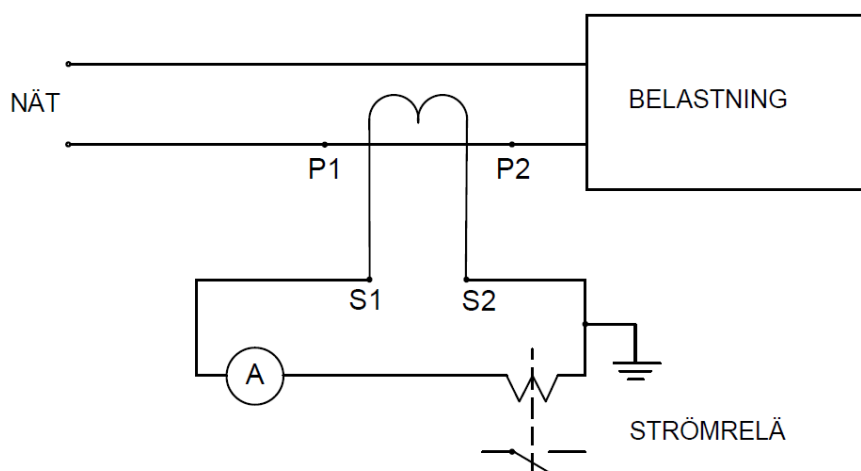
av risken för kortslutningsströmmen på sekundärsidan. En kortslutning kan ge hög ström på grund av att spänningstransformatoren konstrueras med en liten läckreaktans och låg lindningsresistans för att få en så god mätnoggrannhet som möjligt.

Kortslutningsströmmen på spänningstransformatorns primärsida blir emellertid liten och då det inte tillverkas så små högspänningssäkringar som klarar dessa låga strömmar, finns inte heller behovet av säkringarna. Oavsett detta så förekommer det att primära säkringar används för att kunna genomföra en selektiv felbortkoppling vid kortslutning på spänningstransformatorns primärsida [10].

Om spänningstransformatoren belastas kommer ett spänningsfall uppstå i transformatorn som medför att dels sekundärspänningen blir något mindre och dels att en liten fasförskjutning uppstår i primärspänningen. Detta innebär att transformatorn får ett vinkelfel och ett omsättningsfel [5]. Spänningstransformatoren närmar sig en idealisk transformator vid låg belastning där spänningsfallet endast beror på magnetiseringsströmmen som ofta är relativt låg [12].

2.2.2 Strömtransformator

Strömtransformatorn kan indelas i två grupper. Den ena utgörs av strömtransformatorer för mätändamål och den andra är strömtransformatorer som är avsedda för olika sorters reläskydd [11]. Strömtransformatorns huvuduppgift är att omvandla primärlindningens strömmar (P1, P2) till mindre, standardiserade, sekundära mätströmmar (S1, S2), se Figur 2.3. Detta för att få mer hanterbara strömmar som är enklare att mäta.



Figur 2.3, Strömtransformator

Strömtransformatorn kopplas alltid in seriellt i kretsen vilket är i enlighet med vanlig strömmätning med hjälp av en amperemeter, vilket framgår i Figur 2.3. Det sekundära instrumentet som läser mätströmmen måste även det kopplas in seriellt. Eftersom det är strömmen som är av intresse vid omvandling från primär till sekundär ström ska instrument anslutas med så låg impedans som möjligt. Vid anslutning av instrument med liten impedans uppfylls även

kraven för omsättningsfel och vinkelfel, vilket bör beaktas för att få en så korrekt och noggrann mätning som möjligt [11].

Om ett avbrott skulle inträffa på strömtransformatorns sekundärsida eller att anslutningen av bördan uteblir kan det resultera i att hela strömkärnan blir magnetiserad av primärströmmen. Detta kan leda till att transformatorn havererar av för hög temperatur och/eller att personskador uppstår på grund av livsfarliga spänningar som uppstår mellan de sekundära anslutningspolerna på strömtransformatorn. Därav får det på inga villkor finnas apparater eller annan utrustning för brytning av sekundärkretsen. Sekundärsidan får aldrig installeras med säkringar eller mätinstrument som innehåller säkringar vid avsaknaden av börda på sekundärsidan [10].

Vissa apparater i elnätet varken kan eller får kopplas ihop med mätutrustning som innehåller säkringar eller andra resistanser på grund av att det kan leda till kortslutning och eventuell ljusbåge. Strömtransformatorn är exempelvis en av de apparater som inte får förses med säkringar eftersom en utlösning av säkringen kan leda till en mycket kraftig uppvärmning av järnkärnan och även en livsfarlig spänning kan uppstå. [5]

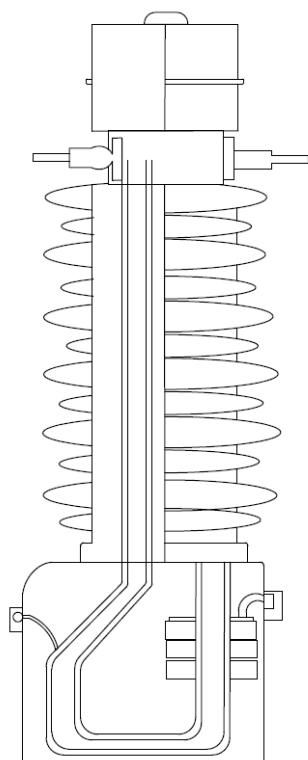
För strömtransformatorn gäller på samma sätt som med spänningstransformatorn att en av de sekundära polerna ansluts till jord tillsammans med transformatorns kapsling.

2.3 Strömtransformatorers placering

2.3.1 Fristående strömtransformatorer

Den fristående strömtransformatorn har funnits på marknaden så länge man kan minnas och används än idag om än mest på låg och mellanspänning. Den förekommer även på högspänning men ersätts allt eftersom i takt med de ökade antalet investeringar med den integrerade strömtransformatorn.² Den fristående strömtransformatorn består av en isolator, själva strömtransformatorn, olja, papper, expansionskärl och kontrollutrustning, se Figur 2.4.

² Engström, Johan, ÅF, intervju 2017-12-21



Figur 2.4, Fristående strömtransformator i genomskärning

I Figur 2.4 kan expansionskärlet ses i toppen och lite längre ned sitter in- och uttag för mätningen. Från uttagen i toppen på transformatorn går det ledare av koppar eller aluminium ner genom hela transformatorn och upp till uttaget igen på motsvarande sida. Runt ledarna i den nedre delen av transformatorn sitter själva strömtransformatorn med sin kärna och lindningar till höger. På kärnan i sin tur sitter det en kopplingsbox som ansluts i ett högspänningsskåp under strömtransformatorn, som därifrån går vidare in i ställverkets kontrollrum där kontroll- eller mätutrustning finns. Runt halsen mellan expansionskärlet och strömtransformatorn sitter det isolatorer av porslin eller kompositmaterial.² I Figur 2.5 visas en 50 kV station i profil med fristående strömtransformator.



Figur 2.5, Visar en strömtransformator till höger i bild där den sitter på ett stativ i direkt anslutning till ett högspänningsskåp placerat under strömtransformatorn. Kablarna från skåpet går ned i marken och in till kontrollutrustningen

Fotografiet i Figur 2.5 är ifrån ett äldre ställverk vilket till exempel går att urskilja på utformningen av krafttransformatorn som är ifrån 50-talet.³

2.3.2 Integrerade strömtransformatorer

Den integrerade strömtransformatorn har även den funnits tillgänglig på marknaden under en längre tid men är sedan drygt fem år tillbaka ny för Ellevio, då Regionnät Landsbygd började använda den i ombyggnads- och nyinvesteringsprojekt. Sedan dess har alla investeringsprojekt och nyinvesteringar som berör ställverk inom regionnätet försetts med integrerade strömtransformatorer istället för fristående strömtransformatorer såvida det inte funnits andra skäl som gör det mer lämpligt med en fristående strömtransformator.⁴

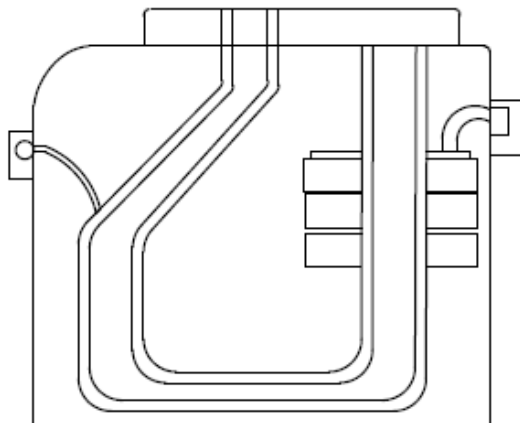
Den integrerade strömtransformatorn sitter i regel på krafttransformatorer i spänningsnivåerna från 30 kV och uppåt infällda på ovansidan av krafttransformatorn. För högre spänningar och i HVDC anläggningar förekommer det att strömtransformatorn sitter i uttag på sidan av krafttransformatorn⁵. Den integrerade strömtransformatorns uppbyggnad ser ungefär likadan ut som den fristående strömtransformatorn. Skillnaden är att den integrerade

³ Flinth, Kristian, Ellevio AB, E-post 2017-11-14

⁴ Flinth, Kristian, Ellevio AB, intervju 2017-12-15

⁵ Engström, Johan, ÅF, intervju 2017-12-21

sitter nedfälld i transformatorn, i oljan. Detta medför att isolatorn på den integrerade strömtransformatorn inte är nödvändig då olja är ett bättre isoleringsmaterial än luft. Precis som för den fristående strömtransformatorn består den integrerade strömtransformatorn av ledare i koppar eller aluminium, som går ned i transformatorn, vänder och går upp igen, se Figur 2.6. Nere i strömtransformatorn sitter kärnorna runt ledarna som i sin tur är kopplade till en kopplingsbox. Kopplingsboxen ansluts sedan med en kabel som går till kontrollpanelen i ett skåp intill krafttransformatorn likt den fristående strömtransformatorn.⁵



Figur 2.6, Integrerad strömtransformator i genomskärning

I Figur 2.7 kan en 50 kV station i profil med integrerade strömtransformatorer beskådas, här kan tydligt ses var den fristående strömtransformatorn tidigare har suttit innan krafttransformatorn bytts ut.



Figur 2.7, Integrerad strömtransformator på ovsidan av krafttransformatorn i ett 50 kV nät.

2.3.3 Fördelar och nackdelar med olika placeringar

En av de största fördelarna med fristående strömtransformatorer jämfört med de integrerade strömtransformatorerna är att de är lätt att reparera och byta ut, då dem är enkla att komma åt och arbeta runt samt att man inte kommer i direkt kontakt med själva krafttransformatorn. Den fristående strömtransformatorn finns ofta på lager hos elnätsägarna då de har blivit över och sparats från ombyggnationer i andra projekt. Detta medför en stor fördel då de snabbt kan bytas ut mot en motsvarande strömtransformator om den ordinarie strömtransformatorn gått sönder eller blivit utdömd.

Nackdelar med den fristående strömtransformatorn är att den tar upp dyrbar mark i ställverken och att den kräver fler komponenter än den integrerade strömtransformatorn. Förutom själva strömtransformatorn så behöver hänsyn tas till markförhållanden, inköp av betongfundament, stativ, slackar m.m. [4]. Installationen av strömtransformatorn är mer tidskrävande och kostsam jämfört med den integrerade strömtransformatorn.

Fördelarna med den integrerade strömtransformatorn är att den inte tar någon plats i ställverket och kommer monterad och klar i krafttransformatorn. Som nämnts i tidigare avsnitt behöver endast en kabel dras från kopplingsboxen till kontrollpanelen för att ta den integrerade strömtransformatorn i drift. Detta medför att endast en komponent behöver läggas till i beställningen jämfört med den fristående strömtransformatorn, som kräver mycket mer komponenter och förarbete innan den kan ställas på plats och tas i drift, se kapitel fyra.

Största nackdelen med den integrerade strömtransformatorn är att det är väldigt omständligt att byta ut den. Det rekommenderas till och med att inte byta ut strömtransformatorn om den går sönder då det skulle kontaminera oljan i krafttransformatorn⁶. Krafttransformatorn har vid fabrikstillverkningen genomgått en speciell behandling som rengjort den från dammpartiklar och luft. Skulle krafttransformatorn öppnas upp för att byta strömtransformatorn skulle den rengöringen ha varit förjävles och livslängden på krafttransformatorn kan komma att påverkas negativt. Därför rekommenderas istället att den integrerade strömtransformatorn kortsluts och förbikopplas. Det finns fler olika lösningar på hur förbikopplingen kan genomföras och ersätta den integrerade strömtransformatorn. Ett alternativ är att ansluta en delbar strömtransformator direkt på kabeln eller på skenan. Detta är dock inte ett alternativ om det är ett friledningsnät⁶. Ett annat alternativ är att ansluta en fristående strömtransformator men då gäller det att AMD eller projektgruppen har tänkt ett steg längre när stationen byggdes och lämnat plats för att kunna bygga upp med fristående strömtransformatorer om det i framtiden skulle behövas. I värsta fall så måste det investeras i en ny krafttransformator med integrerad strömtransformator men förhoppningsvis så ska det inte behöva gå så långt.

Ett annat problem Ellevio upplever är att leverantörer saknar teknisk kompetens gällande utbyte och underhåll av integrerade strömtransformatorer och att underhållsavtalen mot entreprenörerna inte innehåller det som krävs för att arbeta med integrerade strömtransformatorer⁷.

⁶ Engström, Johan, ÅF, intervju 2017-12-21

⁷ Cavallin, Robert, Ellevio AB, E-post 2017-12-22

3 Krav på mättransformatorer i Ellevios elnät

I följande avsnitt presenteras en djupare kravstudie om Ellevios gällande krav på mätning med mättransformatorer. Ellevio utgår idag ifrån katalogen ”Anslutning av kundanläggningar 1 - 36 kV till elnätet IBH 14” som är framtagen av Svensk Energi. Handlingen grundar sig på ett flertal standarder och är framtagen med representanter från Sveriges största elnätsägare [3].

Handlingen används inom Ellevio för alla spänningsnivåer vid anslutning av nya anläggningar samt vid ändring av befintliga anläggningar⁸. Eftersom Ellevio har börjar bygga med integrerade mättransformatorer i allt större utsträckning vill AMD Regionnät Landsbygd att en kravstudie om Ellevios gällande krav för mättransformatorer undersöks på nytt.

3.1 Inköp

De mättransformatorer som köps in idag skall om inget annat anges tillhandahållas av nätägaren, vara trefasiga och levereras med utrustningen enligt nedanstående kravspecifikation:

- Tre strömtransformatorer
- Tre enpoliga spänningstransformatorer
- Mätare för aktiv och reaktiv energi
- Mätterminal/mätarsats
- Mätarskåp med tillhörande utrustning
- Kommunikationsutrustning

I enlighet med Ellevios gällande krav och IBH14 skall de äga mättransformatorn, mätarplint, mätare i mätarskåp för debiteringsmätning samt ritningsunderlag såvida det inte råder särskilda omständigheter som fransäger sig detta [3].

Om någon annan typ av mätning utöver debiteringsmätning och reläskyddsmätning skall utföras, till exempel kontrollmätning eller annan specificerad mätning, skall hänsyn tas till utförandet och platsbehovet i samråd med elnätsföretaget. Det är elnätsföretaget som ansvarar för att säkerställa en god kvalitet genom periodiska kontroller i fält för att säkerställa energimätningens funktion. Det i sin tur ställer krav på att mättransformatorernas sekundär- och primäranslutning är enkelt åtkomliga.

3.2 Verifiering

Mättransformatorerna skall var sjätte år genomgå en verifiering, en form av provning av transformatorn för att säkerställa apparatens funktion och måtnoggrannhet. Skulle det ske en förändring i mätsystemet måste en ny verifiering genomföras. En förändring i mätsystemet kan uppstå på grund av mätarbyte, byte av transformator, byte av kablar mellan

⁸ Blixt, Annica, Ellevio AB, E-post 2017-11-21

transformatorn och mätaren, brutna plomberingar också vidare. De är med hjälp av verifieringarna avvikelser i mätningen kan upptäckas i tid och åtgärdas för att få ett så noggrant och korrekt mätvärde som möjligt. Under 2016 och 2017 genomförde Ellevio ca: 200st mätningar, på 40 kV och uppåt, varav hela 13% av mätningarna visade sig var underkända. Alla fel som upptäcks under en verifiering behöver dock inte generera en underkänd verifiering. Det kan till exempel handla om mindre avvikelser i mätningen som kan åtgärdas direkt.⁹

Avdelningen för mätning inom Ellevio anser också att mättransformatorer över 24 kV har samma livslängd som den station de är installerad i och byts endast då de går sönder eller när det så krävs. Det kan vara för att få stationen godkänd, ombyggnation av stationen på uppdrag av AMD eller för att en storkund kräver en ökad kapacitet.¹⁰

Viktigt att nämna är även att mättransformatorer inte utan elnätsägarens tillåtelse skall användas för andra ändamål än de är avsedda för.

3.3 Utbytestid

Enligt de krav som ställs i IBH14 så skall mättransformatorerna kunna bytas med en rimlig arbetsinsats. Med rimlig arbetsinsats menas högst några timmars driftavbrott för kopplingar och utbyte av mättransformatorer [3]. Ellevio försöker eftersträva att alla enklare planerade avbrott ska vara inom tre timmar såvida det inte finns skäl till att avbrottet behöver ta längre tid.

Utbytestiden för en fristående strömtransformator beräknas vara cirka tre timmar, medan utbytestiden för den integrerade strömtransformatorn beräknas ta en hel arbetsdag. Detta på grund av att hela krafttransformatorn behöver bytas om inget av de alternativa lösningarna kan tillämpas istället.¹⁰

⁹ Cavallin, Robert, Ellevio AB, E-post 2017-12-06

¹⁰ Lundgren, Clas, Ellevio AB, intervju 2018-01-08

4 Ekonomisk undersökning av strömtransformatorer

För att avgöra vilket av de två byggnationsalternativen som ger bäst avkastning behöver en kostnadskalkyl för de båda alternativen tas fram. Under följande avsnitt presenteras en investeringskalkyl och en nuvärdeskalkyl för de båda byggnationsalternativen. På grund av sekretess kommer inte de verkliga kostnaderna ur Ellevios egna beräkningsverktyg att presenteras utan kostnaderna i kalkylerna nedan är hämtade från EBR-katalogen.

4.1 Investeringsalternativ 1 - fristående strömtransformator

Investeringskalkylen är en viktig del av investeringsbedömningen, i den analyseras effekter som slutligen kan översättas till kronor och ören. Kalkylen berör investeringens påverkan på betalningsströmmarna över företaget, det vill säga hur pengarna förflyttar sig in respektive ut från företaget. [13]

Investeringskostnaden för den fristående strömtransformatorn har tagits fram med hjälp av EBR-katalogens P2-kalkyl, se bilaga A. En förenklad tabell av bilaga A har tagits fram med de konstruktionsdelar och arbetsresurserna för den fristående strömtransformatorn för att efterlikna ett verkligt fall vid en nyinvestering, se Tabell 4.1.

Tabell 4.1, *Investeringskalkyl - fristående strömtransformator*

Konstruktion	Enhet	Antal	Pris
Förberedande markarbeten station	m2	1	43 kr
Markarbeten station	m2	1	350 kr
Stativ, transf, mättrafo, frånsk.	st.	1	40 690 kr
Strömtransformator 145 kV	sats	1	274 783 kr
Apparatfundament 145 kV, dubbel	ST	1	57 665 kr

I tabell 4.1 kan avläsas att ett förberedande markarbete skall genomföras, i den delen räknas röjning och avverkning av träd, buskar och annat över 10cm och eventuellt sprängning in. Arbetskostnaden för det förberedande markarbeten ingår inte i EBR-katalogens kalkyl, utan tillkommer i efterhand. Detta beroende på att EBR-katalogen inte kan förutse hur mycket arbete som krävs i det förberedande markarbetet. Arbetskostnaden för det förberedande markarbetet kommer därav inte att tas hänsyn till i kalkyleringarna.

När det förberedande markarbetet är slutfört kan det riktiga markarbetet påbörjas. I kategorin markarbeten ingår schaktning och utplaning av markyta, transport av schaktmassor, dränering med tillhörande material så som dräneringsrör, avloppsrör, vägtrummor m.m., utrustning och arbetskostnader. Under markarbeten räknas även markinköp, bygglov och utsättning av tomt in. Därefter kan apparatfundament av betong, vanligtvis prefabricerade, ställas på plats. När fundamentet är på plats kan stativet för strömtransformatorn installeras. För stativet till strömtransformatorn ingår montering, placering

och inriktning av stativet, jordning och kallgalv. Slutligen så sätts strömtransformatorn på plats som i regel beställs i ett set om tre strömtransformatorer. [4]

Nuvärdemetoden, kallas även kapitalvärdemetoden, är en ränteräkningsmetod som används för att beräkna de olika investeringsalternativens samtliga betalningar till en och samma tidpunkt, det vill säga till början av det år då grundinvesteringen genomförs [13]. Det kan uttryckas som om att framtida betalningarna ”diskonteras till nutid” med hjälp av kalkylräntan [13].

För att kunna genomföra en nuvärdeskalkyl för den fristående strömtransformatorn måste först följande värden identifieras och beräknas. Kalkylräntan, den ekonomiska livslängden, restvärdet, grundinvesteringen, nusnummerfaktorn och den årliga inbetalningen. Nusnummerfaktorn (*NUS*) är den faktor som beror på återbetalningstiden och kalkylräntan.

Kalkylräntan (*r*) tillhandahålls av AMD och beräknas vara cirka 6%, den ekonomiska livslängden (*n*) är satt till fyrtio år¹¹. Den ekonomiska livslängden grundar sig på riksdagsbeslut, en anläggning som är äldre än fyrtio år får elnätsföretagen inte ta betalt för och därav utgår man från det beslutet oavkortat om anläggningen eller apparaten i självverket fungerar felfritt även efter fyrtio år i drift [14]. Restvärdet (*R*) kan därav sättas till noll då apparaten eller anläggningen efter fyrtio år inte är av något värde. Visst värde kan finnas kvar i form av skrotningsvärde men det är försumbart. Grundinvesteringen (*G*) beräknas med hjälp av P2-kalkylen i bilaga A.

Nuvärdet (*NV*) beräknas enligt [13]:

$$NV = a \cdot NUS + R - G \quad (4.1)$$

där

$$a = \text{Årliga inbetalningar [kr]}$$

Då nuvärdet enligt lagkraven innebär att en anläggning är värt noll kronor efter fyrtio år i drift antas i beräkningen (*a*) att nuvärdet (*NV*) kan sättas till noll kronor. Restvärdet (*R*) kan som nämnts tidigare försummas och antas också vara noll kronor.

Med dessa förutsättningar kan Ekvation 4.1 förenklas och årliga inbetalningar fås enligt:

$$a = \frac{G}{NUS} \quad (4.2)$$

Nusnummerfaktorn (*NUS*) kan beräknas enligt [13]:

$$NUS = \frac{1-(1+r)^{-n}}{r} \quad (4.3)$$

¹¹ Flinth, Kristian, Ellevio AB, intervju 2017-12-18

4.2 Investeringsalternativ 2 - integrerad strömtransformator

Investeringskalkylen för den integrerade strömtransformatorn fås precis som för den fristående strömtransformatorn i tidigare avsnitt ur EBR-katalogens P2-kalkyl [4], se bilaga A. I normala fall använder inte Ellevio sig av EBR-katalogen i den utsträckningen som i det här arbetet utan den används mer som en mall för att ta fram ungefärliga kostnader. Ellevio använder sig istället av deras konsulter som är experter inom området för att ta fram kostnader som de sedan processar i deras beräkningsverktyg.

I EBR-katalogen finns det inte något konstruktionsalternativ som är specificerat för just integrerade strömtransformatorer, därav har kostnaderna modifierats med hjälp av AMD's projektledare, mättingenjörer, underhållsingenjörer och transformatorexpertter för att få fram en så verklig och exakt kostnad som möjligt.

Till skillnad mot den fristående strömtransformatorn så spelar konstruktionsdelarna och arbetsresurserna en mycket mindre roll för den integrerade strömtransformatorn då den redan sitter på plats i krafttransformatorn vid leverans. Det förberedande markarbetet, markarbetet, betongplintar och stativ är inte längre aktuellt, se tabell 4.2, då det arbetet redan är utförd för krafttransformatorn. Det arbete som krävs för att ta strömtransformatorn i drift är att dra en kabel från strömtransformatorn till kopplingsplinten i skåpet intill krafttransformatorn.

Tabell 4.2, *Investeringskalkyl – integrerad strömtransformator*

Konstruktion	Enhet	Antal	Pris
Förberedande markarbeten station	m2	0	- kr
Markarbeten station	m2	0	- kr
Stativ, transf, mättrafo, frånsk.	st.	0	- kr
Strömtransformator 145 kV	sats	1	70 763 kr
Apparatfundament 145 kV, dubbel	ST	0	- kr

5 Resultat

I följande avsnitt presenteras resultatet av kostnadskalkylen. På grund av sekretess kommer inte kalkylerna utförda med hjälp av Ellevios egna beräkningsverktyg att presenteras nedan, utan endast beräkningar och kalkyler utförda med EBR-katalogen. I avsnittet om den ekonomiska undersökningen presenterades två olika kalkylmodeller, investeringskalkyl och nuvärdekalkyl och hur de tas fram och beräknas. Med hjälp av tabellerna och kalkylerna i kapitel 4 kan resultatet presenteras.

5.1 Resultatet av investeringsalternativ 1 – fristående strömtransformator

Investeringen för den fristående strömtransformatorn redogörs med informationen hämtad från Tabell 4.1 och med Ekvationerna 4.2 och 4.3. Investeringskostnaden även kallat grundinvesteringen presenteras först följt av nuvärdet och nuvärdekalkylen.

Investeringskostnaden för den fristående strömtransformator visade sig med hjälp av Tabell 4.1 uppgå till 373 531 kronor. Vilket är mer än vad investeringskostnaden uppskattades till innan arbetet med EBR-katalogen och Ellevios beräkningsverktyg påbörjades.

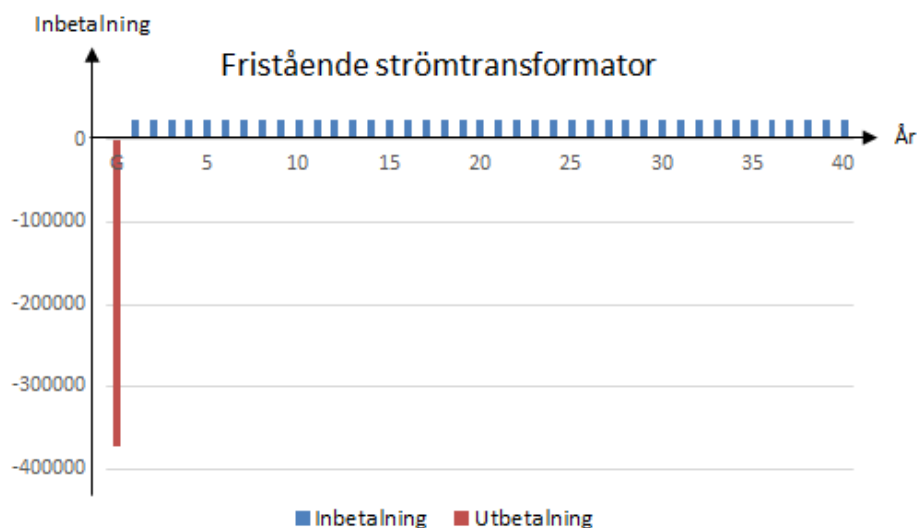
När investeringskostnaden är känd kan nuvärdet beräknas med hjälp av Ekvation 4.1 som presenterades i kapitel 4. Men först måste den årliga inbetalningen a och nusnummerfaktorn NUS beräknas enligt Ekvation 4.2 och 4.3. Ekvationerna ger en årlig inbetalning (a) på cirka 24 826 kronor och en nusnummerfaktor (NUS) på 15,0462. När nusnummerfaktorn och den årliga inbetalningen är känd fås ett nuvärde (NV) på 0 kronor i enlighet med Tabell 5.1.

Tabell 5.1, Fristående strömtransformator - resultat

Faktorer	Resultat
Grundinvestering (G)	373 531
Nusnummerfaktor (NUS)	15,0462
Årliga inbetalningar (a)	24 826
Nuvärde (NV)	0

Nuvärdet visar på att en investering med fristående strömtransformatorer är lönsam då avkastningen är positiv. Men på grund av de lagkrav som regeringen har satt så är anläggningen ändå inte av något värde efter fyrtio år i drift. Elnätsföretagen har efter fyrtio år inte rätt att ta betalt av de kunder som är ansluten till anläggningen på grund av riksdagsbeslutet om intäktsram för elnätsföretag [14]. Nuvärdet kan användas för att skapa en nuvärdeskalkyl över investeringsförslagen som visar alla kostnader under den ekonomiska livslängden.

Den röda stapeln i Figur 5.1 representerar grundinvesteringen (G) som enligt Tabell 5.1 uppgick till 373 531 kronor och utgörs av den ursprungliga investeringen. Dem blå staplarna representerar alla årliga inbetalningar (a) som uppgick till cirka 24 826 kronor enligt Tabell 5.1.



Figur 5.1, Nuvärdekalkyl - fristående strömtransformator

5.2 Resultatet av investeringsalternativ 2 – integrerad strömtransformator

Investeringen för den integrerade strömtransformatorn redogörs med informationen hämtad från Tabell 4.2 och med Ekvationerna 4.2 och 4.3 likt investeringsalternativet med den fristående strömtransformatorn.

Investeringskostnaden för den integrerade strömtransformator visade sig med hjälp av Tabell 4.2 uppgå till 70 763 kronor. Vilket är mindre än vad investeringskostnaden uppskattades till innan arbetet med EBR-katalogen och Ellevios beräkningsverktyg påbörjades. Observera att det endast är kostnaden för en integrerad strömtransformator och inte kostnaderna för en krafttransformator med integrerad strömtransformator som tagits hänsyn till i beräkningarna.

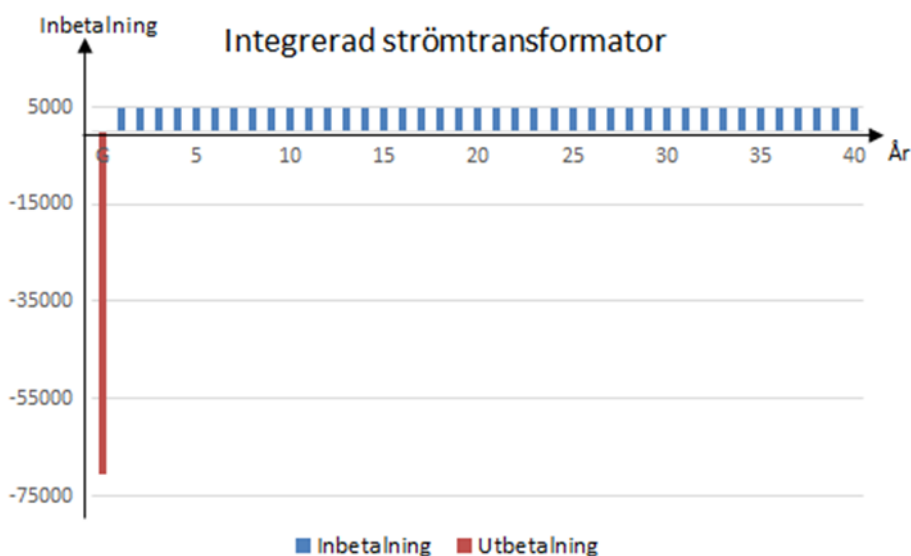
När investeringskostnaden är känd kan nuvärdet beräknas med hjälp av Ekvation 4.1 som presenterades i kapitel 4. Men först måste den årliga inbetalningen a och nusnummerfaktorn NUS beräknas enligt Ekvation 4.2 och 4.3 precis som för den fristående strömtransformatorn. Ekvation 4.2 ger en årlig inbetalning (a) på cirka 4 703 kronor medan nusnummerfaktor (NUS) inte behöver räknas om för den integrerade strömtransformatorn utan är densamma för båda investeringsalternativen. Det på grund av att investeringsalternativ två med integrerad strömtransformator har samma förutsättningar, livslängd och kalkylränta som investeringsalternativ ett med en fristående strömtransformator. När nusnummerfaktorn och den årliga inbetalningen är känd fås ett nuvärde (NV) på 0 kronor i enlighet med Tabell 5.2.

Tabell 5.2 Integrerad strömtransformator - resultat

Faktorer	Resultat
Grundinvestering (G)	70 763
Nusnummerfaktor (NUS)	15,0462
Årliga inbetalningar (a)	4 703
Nuvärde (NV)	0

Nuvärdet för den integrerade strömtransformatorn visar likt den fristående strömtransformatorn även den att investeringen är lönsam, då avkastningen är positiv.

Resultatet av beräkningarna kan nu sammanställas i en nuvärdekalkyl. Den röda stapeln i Figur 5.2 representerar grundinvesteringen (G) som enligt Tabell 5.2 uppgick till 70 763 kronor och utgörs av den ursprungliga investeringen. Dem blå staplarna representerar alla årliga inbetalningar (a) som enligt Tabell 5.2 uppgick till cirka 4 703 kronor [13].



Figur 5.2, Nuvärdekalkyl - integrerad strömtransformator

Skulle investeringarna för båda byggnationsalternativen jämföras mot varandra i procent skulle den integrerade strömtransformator visa på en ekonomisk besparing på cirka 528 procent.

6 Diskussion

6.1 Teoretisk studie

Metoden för examensarbetet har i huvudsak bestått av omfattande kartläggning av byggnationsalternativen och intervjuer med anställda på Ellevio och expertkonsulter med uppdrag inom Ellevio.

Flera intervjuer med huvudpersoner inom Ellevio och expertkonsulter inom området ”transformatorer” har genomförts i syfte att samla in kunskap och förståelse om de olika transformator typerna (grundmallen för intervjuerna finns att se i bilaga B). Intervjuerna har tack vare noggranna förberedelser och studier om intervjuteknik fungerat över förväntan. Alla som ställt upp på intervjuer har varit mycket hjälpsamma och har vid brist på kunskap kommit med förslag på lämpliga kontaktpersoner. Under en intervju blev jag inbjuden till ABB i Ludvika för att titta på bland annat tillverkningen av krafttransformatorer men på grund av tidsbrist hanns det aldrig med.

Den teoretiska studien grundar sig på information om krafttransformatorn, spänningstransformatorn och strömtransformatorns konstruktion och funktion samt vad de har för användningsområde och funktion i elnätet som helhet. Vidare har konstruktionen och funktionen hos både den fristående och integrerade strömtransformatorn presenterats och jämförts. Kraven på mätning med mättransformatorer i Ellevios elnät har även de setts över samt har två kostnadskalkyler för de båda byggnationsalternativen tagits fram. Det för att genomföra en så verklighetstrogen och riktig rekommendation om hur Ellevio bör bygga i framtiden.

Ur jämförelsen av den fristående och integrerade strömtransformatorns för- respektive nackdelar i kapitel 2.3.3 kan ses att de båda har sin fördel och nackdel men i slutändan så är det ett av alternativen som sticker ut lite extra på grund av dess användbarhet och investeringskostnad. Den integrerade strömtransformatorn.

Den integrerade strömtransformatorn erbjuder trots sin kompakta utformning samma funktion som den fristående strömtransformatorn om inte bättre. Integrerad i krafttransformatorn sitter den skyddad mot väder och vind samtidigt som den kräver minimalt med underhåll, om än något överhuvudtaget. Verifieringen är det enda underhållsmässiga arbete den integrerade strömtransformatorn kräver. Verifieringen skall ske vart sjätte år som nämnts under kravstudien såvida det inte har inträffat något som skulle kunna ha påverkat dess funktion och en verifiering behöver utföras tidigare. Till skillnad mot den integrerade strömtransformatorn så är den fristående strömtransformatorn okomplicerad att arbeta med vid verifieringar, underhåll och eventuellt utbyte men är istället kostsamt i både underhåll och i inköp.

Målet var att presentera två kostnadskalkyler; en för fristående- och en för integrerade strömtransformatorer, som tillsammans skall ligga till grund för vilket byggnationsalternativ som är bäst lämpat i Ellevios regionnät. Vilket framkommit i den ekonomiska undersökningen.

Men att välja ett av de enskilda byggnationsalternativ som är den bästa lösningen från endast detta examensarbete är svårt, hänsyn behöver tas i det enskilda fallen angående vilka behov som finns.

Jag har under examensarbetet upplevt svårigheter att ta del av information om den integrerade strömtransformatorn, på grund av att tillverkare inte vill utelämnas information såvida det inte funnits intresse av att lägga en beställning på en strömtransformator. Informationskällorna inom Ellevio har även de varit få och svåra att få tag i. Trots en tuff start så tog examensarbetet fart då rätt kontaktpersoner lokaliserades.

6.2 Sammanställning

Resultaten i kapitel 5 visar att den integrerade strömtransformatorn enligt nuvärdekalkylen är en 528 procent bättre investering än vad den fristående är. Detta beror på att den integrerade kräver mindre förarbete, färre komponenter samt att den är billigare i inköp. En annan faktor som påverkar kostnaden är mängden mantimmar som krävs för att installera och driftsätta en integrerad strömtransformator jämfört med en fristående strömtransformator, se bilaga A. De beräkningar som genomförts med Ellevios beräkningsverktyg visar även de ett liknande resultat.

Den teoretiska undersökningen visar att det finns en stor brist på kunskap inom området hos såväl Ellevio, entreprenörer och leverantörer då det inte har genomförts några tidigare arbeten där strömtransformatorernas konstruktion och funktion har granskats. Speciellt när det kommer till integrerade strömtransformatorer.

I studien har frågorna om reparation och utbytestider besvarats, det rekommenderas att inte byta integrerade strömtransformatorer på grund av kontaminations risken i oljan. Medan den fristående strömtransformatorn kan bytas utan några större risker och svårigheter. När det gäller utbytestid av strömtransformatorer så varierar det en hel del.

Vid byte av en fristående strömtransformator klarar man att utföra arbetet på cirka tre timmar medan ett byte av en integrerad strömtransformator kan ta en hel dag att utföra om hela krafttransformatorn måste bytas ut. Kan istället något av de alternativa lösningarna användas för byte av en integrerad strömtransformator kan arbetet utföras på samma tid som den fristående strömtransformatorn.

7 Slutsatser

Syftet med examensarbetet var att genomföra en teknisk- och ekonomisk undersökning för att fastställa om rätt byggnationsalternativ av strömtransformatorer används, och utifrån resultaten kan med säkerhet sägas att vilket byggnationsalternativ Ellevio än väljer att bygga med så är det en bra investering. Undersökningen har visat på att det egentligen handlar om vad det finns för kapital och vad omgivningen kräver och inte vilket byggnationsalternativ som används. Till exempel i storstäder där markpriserna är väldigt styrande och för att spara in på kostnaderna kan den integrerade strömtransformatorn vara en alternativ lösning. En backup-plan om hur de skall gå tillväga om strömtransformatorn skulle gå sönder kan dock vara bra att ha i bakhuvudet vid projekteringen.

7.1 Rekommendation om framtida byggnationssätt

Min rekommendation till Ellevio angående vilket av ovanstående presenterade byggnationsalternativ de bör fortgå att investera i är den integrerade strömtransformatorn. Det på grund av dess kostnadseffektivitet som påvisats i kalkylerna i tidigare avsnitt samt för dennes platsbesparande egenskaper. Inte heller får de besparingar av installations och underhållskostnader glömmas bort.

Jag rekommenderar även Ellevio att genomföra en fördjupande utredning av integrerade och fristående strömtransformatorer, för att komma till någon slags enighet inom företaget då det idag finns många olika åsikter och missförstånd om apparaterna.

7.2 Framtida arbete

Vid framtida arbete rekommenderas att:

- En djupare undersökning av felfrekvens på strömtransformatorn genomförs.
- Den fristående-, och integrerade strömtransformatorns tekniska egenskaper undersöks vidare.
- Att den verkliga kostnaden för att genomföra ett byte av en fristående strömtransformator, eller en integrerade strömtransformator tas fram med hjälp av de olika avdelningar inom Ellevio.

Referenser

- [1] Möller, Per & Steffens, Jürgen (2006). *Underhållsteknik Faktabok*. 2 uppl. Liber.
- [2] Ellevio AB *Ellevio totalrenoverar viktig knutpunkt i Västerort*. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ellevio.se/privat/Pressrum/newsroom/2017/juni2/ellevio-totalrenoverar-viktig-knutpunkt-i-vasterort/> 2017-11-10.
- [3] Energiföretagen Sverige, ”Anslutning av kundanläggningar 1 - 36kV till elnätet IBH14,” Svensk energi, Stockholm, Sverige, 4 uppl., juni 2015.
- [4] Svensk energi (2013) EBR-e [Online]. Tillgänglig: <http://www.svenskenergi.se/Vi-erbjuder/Fakta-pa-webben-webbtjansterna/EBR-e-login/>, hämtad 2017-11-10
- [5] Alfredsson, Alf (2012). *Elkraftshandboken, elmaskiner*. 2 uppl. Liber.
- [6] Lunds tekniska universitet (2013) Krafttransformatorn [Online]. Tillgänglig: http://www.iea.lth.se/etef05/literature/EMSKraftTrafoHBG-ETEF05-HT2013_2.pdf , hämtad 2017-11-27
- [7] Nationalencyklopedin (2017) Elektrisk uppvärmning [Online]. Tillgänglig: <http://www.ne.se.ezproxy.server.hv.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/elektrisk-uppvarmning> , hämtad 2017-12-19
- [8] Nationalencyklopedin (2017) Permittivitet [Online]. Tillgänglig: <http://www.ne.se.ezproxy.server.hv.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/permittivitet> , hämtad 2017-12-19
- [9] ABB (2017) Torrisolerade transformatorer [Online]. Tillgänglig: <http://new.abb.com/products/transformers/sv/torrisolerade-transformatorer> , hämtad 2017-12-10
- [10] L. Carlander, ”Mättransformatorer,” kompendium, Högskolan Väst, Institutionen för ingenjörsvetenskap, u.å.
- [11] B. Lanne, ”Kraftteknisk mätteknik,” kompendium, Chalmers Tekniska Högskola, 1993
- [12] ABB (2015) Instrument transformers application guide [Online]. Tillgänglig: <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1HSM%209543%2040-00en&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> , hämtad 2017-11-28
- [13] Engwall, Mats, Jernbrant, Anna, Karlsson Bo m.fl. (2016). *Industriell ekonomi - metoder och verktyg*. 1:4 uppl. Studentlitteratur AB
- [14] Svensk författningssamling 2014:1064, Förordning om intäktsram för elnätsföretag [Online]. Tillgänglig: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-20141064-om-intaktsram-for_sfs-2014-1064 , hämtad 2017-12-26

Bilaga A: Fullständigt utdrag från EBR katalogen

Utdrag från EBR's kostnadskatalog P2 för en fristående strömtransformator													
Löpnr	Konstruktion	Timmar					Kostnader i kr						
		Enhet	Bered	Mont	Maskin	Utrust	EA	Arb	Mtrl	Maskin	Utrust	Antal	Summa
Arbetskod: 10 - Plan och markarbeten													
11	Förberedande markarbeten station	m2	0,01	0,05	0	0	0	42	-	1	0	1	43
13	Markarbeten station	m2	0,03	0,11	0,15	0	0	110	131	109	0	1	350
21	Apparatfundament 145 kV, dubbel	st	8,37	28,8	16,98	0,22	0	29379	15600	12498	189	1	57665
Arbetskod: 11 - Byggnad och stålkonstruktion													
31	Stativ, transf, mättrafo, frånsk.	st	1,65	4,12	0	1,61	0	4615	34705	0	1371	1	40690
Arbetskod: 15 - 145kV ställverk													
31	Strömtransformator 145 kV	sats	28,95	48,69	0	0,9	0	63116	210903	0	763	1	274783
Utdrag från EBR's kostnadskatalog P2 för en integrerad strömtransformator													
Observera att värdena har modifierats för att efterlikna en verklig investering i Ellevio's elnät													
Löpnr	Konstruktion	Timmar					Kostnader i kr						
		Enhet	Bered	Mont	Maskin	Utrust	EA	Arb	Mtrl	Maskin	Utrust	Antal	Summa
Arbetskod: 10 - Plan och markarbeten													
11	Förberedande markarbeten station	m2	0,01	0,05	0	0	0	42	-	1	0	0	0
13	Markarbeten station	m2	0,03	0,11	0,15	0	0	110	131	109	0	0	0
21	Apparatfundament 145 kV, dubbel	st	8,37	28,8	16,98	0,22	0	29379	15600	12498	189	0	0
Arbetskod: 11 - Byggnad och stålkonstruktion													
31	Stativ, transf, mättrafo, frånsk.	st	1,65	4,12	0	1,61	0	4615	34705	0	1371	0	0
Arbetskod: 15 - 145kV ställverk													
31	Strömtransformator 145 kV	sats	28,95	48,69	0	0,9	0	20000	50000	0	763	1	70763

Bilaga B: Intervjuformulär

Namn:	Företag:	Tjänst:
Telefon:	E-post:	Datum:
Övrigt:		

Frågor	Svar
Vad finns det för krav på de mättransformatorer som är i drift idag?	
Vad händer om mätningen försvinner under en längre tid?	
Kan man lagervara mättransformatorer? Om ja, gör ni det? Vilka kostnader medför det?	
Kan man använda gamla strömtransformatorer vid byte av trasiga integrerade strömtransformatorer?	
Hur långa avbrott får det vara vid byte/reparation av integrerade och fristående mättransformatorer?	
Hur går underhållet av en strömtransformator till?	
Varför väljer man att ibland bygga med integrerade resp. fristående strömtransformatorer? Handlar det endast om platsbrist eller finns det andra aspekter som spelar in?	
Om en integrerad strömtransformator skulle gå sönder hur reparerar man den? Finns det några verkliga fall idag där det har varit i behov av att byta en integrerad strömtransformator?	
Har du något tips på någon som jag bör prata med, när det gäller strömtransformatorer?	
Övriga frågor:	