

Transformatorstationer och Ställverk

Mattias Blinge 19920506-2111
blingem@student.chalmers.se
Emil Eskång 19920810-4078
eskang@student.chalmers.se
Gustaf Dahl 19901014-2876
dgustaf@student.chalmers.se

Maj 2017



1 Inledning

Denna rapport ger en bättre insikt i transformatorstationer och ställverkens roll och syfte hos elnätet i vårt samhälle. På ett grundläggande och generaliserande sätt inleds rapporten med att beskriva syftet och funktionsprincipen hos ställverk genom att beskriva olika typer av ställverk samt dessa komponenter. Vidare behandlas transformatorstationens syfte och funktion i kapitel 3. Mot slutet av rapporten finns en kort redogörelse för miljörelaterade problem som uppkommer på grund av transformatorstationer och ställverk, samt vilka arbetsmöjligheter som finns för högskoleingenjörer inom rapportens ämnesområde.

1.1 Avgränsningar

Ställverk och transformatorstationer är två breda områden där konstruktionen skiljer kraftigt mellan mindre och större anläggningar. Oftast är det dimensioneringen som är skillnaden. Rapporten lägger fokus på 400/130 kV-anläggningar, för att skapa en koppling till studiebesöket på Lindome ställverk.

2 Ställverket

I ett elkraftnät behövs anläggningar som agerar mellanhand till elproducenter, såsom vattenkraftverk eller kärnkraftverk, och ett bostadsområde, kontor eller industri exempelvis. Innan elen når bostadsområdet eller kontoret kommer elen passera ett antal olika ställverk för att ha rätt spänningsnivå på rätt plats. Ställverk av olika typer förekommer i dessa sammanhang för att binda ihop elnätet och kan beskrivas som knutpunkter för de olika spänningsnivåerna i transmissions- och distributionsnäten. Följande typer av ställverk och spänningsnivåer utgör det Svenska elnätet[13]:

- **Transmissionsställverk** som behandlar inkommande spänningar på 220 kV eller 400 kV från kraftverken, alternativt internationella transmissionsledningarna.
- **Regionsställverk** med spänningar på 70 kV eller 130 kV.
- **Distributionsställverk** med spänningar på 10 kV, 20kV eller 30kV.
- **Konsumtionsställverk** med spänningar på 230 V och 400 V.

Och för att utföra denna fördelning av inkommande och utgående elektricitet krävs ett antal funktioner[13]:

- Tranformering av inkommande spänning till önskad utspänningsnivå.
- Säkerhetsfunktioner för att kunna bryta strömmen och undvika kortslutningar.
- "Backup-system" som kan garantera eldistribution vidare till nästa anhalt.
- Övervakning av ström och spänningsnivåer på nätet.

Hur dessa funktioner är uppbyggda kommer behandlas i kapitel 2 och 3.

2.1 Enlinjeschema

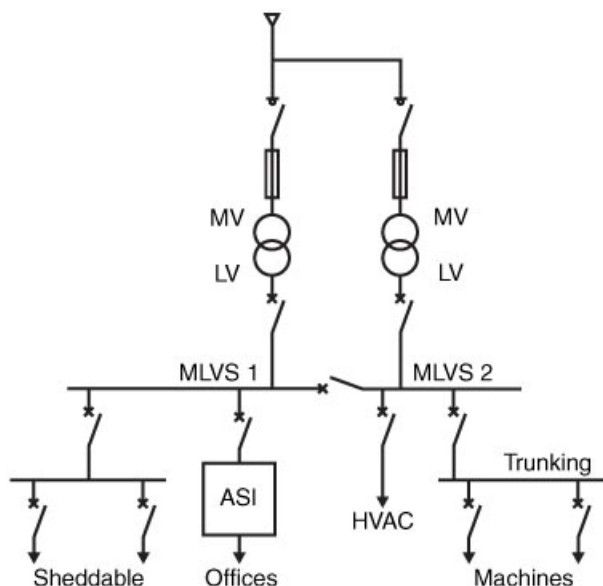


Figure 1: Enlinjeschema för ställverk

2.2 Kontrollrummet

Från kontrollrummet övervakas spänningarnas och strömmarnas storlek och riktning. Dessa jämförs mot vad specificerade nivåer skall vara, och skulle då en avvikelse uppstå visar ett schema detta genom att tända en lysdiod på den delen av tavlan där schemat inte matchar med anläggningen.

Eftersom vi inte kan lagra energi av den här storleken är det viktigt att upprätthålla en stabil kommunikation angående fördelningen av effekt mellan länder. Elnätets bredd möjliggör att överskott av energi i ett land kan fördelas till länder som har underskott och på så sätt undkomma förluster på grund av överproducering.

2.3 Typer av ställverk

Ställverkets arbetsyta är till stor del beroende av hur mycket spänning ställverket hanterar. Skall de till exempel hantera spänningar under 66 kV sluts ställverket ofta in i ett hus då det inte behöver lika stor yta jämfört med ett som hanterar högre spänningar. Under tidens gång har olika typer av ställverk utvecklats för att finna alternativ till den stora yta ett luftisolerat högspännings ställverk kräver.

Gasisolerade ställverk är ett dyrare alternativ med bidrar till en drastisk minskning av den yta som vanligtvis krävs för byggnation av ett luftisolerat ställverk. Ytan hos ett GIS är en klar fördel och bidrar till att ställveken säkert kan placeras i städer, industrier, i byggnader och på plattformar till havs[3].

Nyckeln till att GIS tar så mycket mindre plats är gasen som omsluter högspänningsutrusningen som frångiljare och brytare. Egenskapen man är ute efter i gasen är att den låga ledningsfaktorn som gör att ljusbågarna som skapas då brytning av strömmen görs blir i princip ickeexisterande.

Andra typer av ställverk inkluderar olja och vakuum baserad isolationsteknik. I den oljebaserade teknologin finns risker för läckage och jorden under ställverket kan då bli förorenad och måste tas om hand. Då en bølge



Figure 2: Kompakt 420 kV GIS ställverk från ABB B[14]

bildas vid brytning vaporiseras kringliggande olja och skapar vätgas som i sin tur har dielektriska egenskaper som reducerar bågens utbredning. I ett vaakumomslutet ställverk är möjligheten för en båge att utbreda sig låg då ledningskaraktistiken är låg. I ögonblicket då strömmen nästan är noll upphör bågen att utbreda sig då en upprätthållning av bågen inte längre kan åstadkommas[16].

2.4 Komponenter

De flesta typer av ställverk delar några viktiga komponenter, dessa komponenter beskrivs kortfattat i detta kapitel.

2.4.1 Brytare

Inom ett ställverk återfinns många olika typer av brytare, vilken som används är beroende på när och hur strömmen ska brytas på säkrast sätt. Strömmen bryts i säkerhetssyfte när ett fel inträffat och för att bryta snabbt nog sitter ett reläskydd tillkopplat som automatiskt bryter strömmen[5]. Beroende på spännings- och strömnivåerna krävs drastiskt olika typer av brytare, där funktion och materialval skiljer. Vid höga strömmar kan stora ljusbågar bildas vilket kräver speciella brytare som snabbt bryter koppling fysiskt för att undvika ljusbågar. Detta sker oftast när ström bryts i samband med att last är inkopplat.

2.4.2 Frånskiljare

Den generella distinktionen mellan brytare och frånskiljare är att frånskiljaren bryter spänningen. Av den anledningen är den inte kapabel att bryta när last är inkopplad utan att skapa en ljusbåge. I moderna anläggningar byggs ofta frånskiljare och brytare ihop då det både är mer ekonomiskt och mindre platskrävande. I modern tid har det observerats att frånskiljare är en av de största anledningarna till serviceärenden på ställverk, vilket kan ses som ironiskt då syftet med frånskiljare är att bryta spänningen för att kunna utföra serviceärenden. Av denna anledningen byter man idag ut frånskiljare till att vara kombinerade brytare och frånskiljare vilket har minskat ytkraven med cirka 50% [4].



Figure 3: Combined - en kombinerad brytare och frånskiljare från ABB[2]

2.4.3 Kondensatorbanker

Inom ett ställverk används kondensatorbanker i olika syften, beroende på spänningsnivåer inom ställverket. När elektriciteten överförs i transmissions- och distributionledningar ligger ström och spänning ej i fas för att få strömmen att flyta, alltså finns en stor reaktiv effekt. Dock är den reaktiva effekten ej önskvärd vid effektivt användande av effekten, alltså att *effektfaktorn* ≈ 1 . Effektfaktorn bestäms enligt ekvation 1:

$$\text{effektfaktor} = \frac{\text{effekt}}{\text{skenbareffekt}} = \frac{P}{|S|} \quad (1)$$

Där effekten P kan skrivas enligt ekvation 2:

$$P = |S| \cos \varphi \quad (2)$$

Där φ är vinkeln mellan ström och spänning. Så enligt ekvation 1 och 2 kan den skenbara effekten $|S|$ strykas och då fås ett nytt uttryck för effektfaktorn enligt ekvation 3:

$$\text{effektfaktor} = \cos \varphi \quad (3)$$

Om det inte finns någon reaktiv effekt är det alltså inte någon vinkelskillnad mellan ström och spänning vilket medför att $\varphi = 0^\circ$ och på så sätt är $\cos \varphi = 1$. Med hjälp av kondensatorbanker kan fasskillnaden mellan ström och spänning regleras beroende på om elektriciteten ska flyta i ledningarna, eller brukas.

Fasvridning kan även uppstå gradvis på grund av ledningarnas induktans då elektriciteten transporteras långa sträckor, detta resulterar i så kallade onyttiga strömmar som ger sämre effektöverföring. Dessa strömmar motverkas genom kondensatorernas kapacitans som motverkar fasvridningen som uppstår i ledningarna och därmed ökar förmågan att överföra nyttig effekt[1].

Kondensatorbankerna används även inom ställverket för att filtrera bort övertoner både för DC- och AC-omriktning, på så sätt fås en "renare" signal.



Figure 4: Kondensatorbanker för korrigering av effektfaktorn[10]

2.4.4 Isolatorer[15]

Syftet med isolatorer i ett ställverk är att motverka kortslutningar, alltså att olika strömförande delar ej ska ha kontakt med varandra. Det görs genom att isolatorn är byggd i ett material med mycket dåliga ledningsegenskaper; keramik, plast och glas är förekommande. Isolatorerna är dock inte helt isolerande och kan därför börja leda vid höga spänningar, därför måste de dimensioneras i förhållande till spänningsnivåerna.

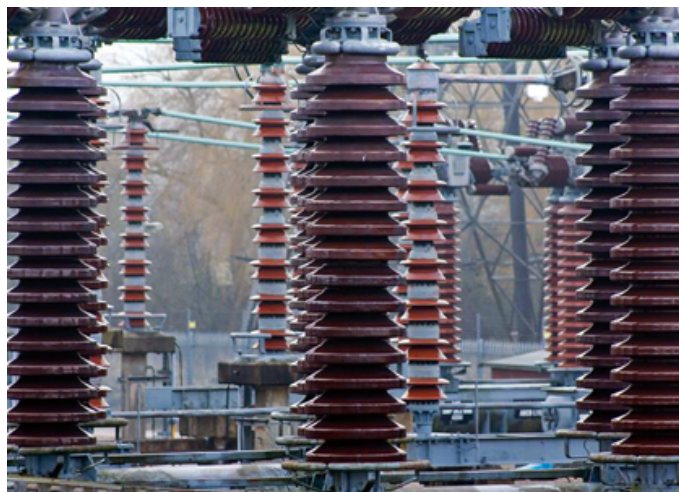


Figure 5: En sorts keramisk isolator[7]

2.4.5 Skenor[13]

För att binda ihop komponenterna i ett ställverk används strömförande metallskenor, försedda med brytare och franskiljare. Ofta används flera identiska skensystem för att kunna franskilja en skena från övriga ställverket utan att påverka transmissionen/distributionen.

3 Transformatorstationen

3.1 Funktion

Transformatorstationer är oftast en viktig del utav ett ställverk och finns i olika storlekar över hela Sverige, se figure 6 för bildexempel. Dess uppgift är att transformera spänning till olika önskade nivåer för att elektriciteten skall kunna distribueras och fördelas runt om i elnätet. Transformatorstationen ansvarar för att transformera upp spänningen hos den elektricitet som utvinns vid elkraftverk så att den kan transporteras de långa sträckor som binder samman ett vägguttag med utvinningen men också att transformera ner den inkommande spänningen till brukbara nivåer.

När elen har producerats vid exempelvis en kraftdamm i mellersta Sverige så skalas den upp till 400 kV vid en närliggande transformatorstation för att kunna transporteras långa sträckor utan att få för stora förluster och för att kostnaden för elledningarna skall hållas ner. På grund utav den höga spänningen så kan ledningarna vara tunnare, vilket leder till mindre utgifter och elen kan transporteras vidare ut på elnätet via de stora kraftledningar som knyter ihop kraftverket med regionala elnät. När en region nås så skalas spänning ner från 400 kV till 130 kV för att kunna distribueras i en mindre region, till exempel en kommun.

I den regionen så finns det ofta en mängd samhällen, industriparker och städer som behöver elektricitet. Spänningen transformeras därför då ned till mellan 20 och 10 kV vid ytterligare en transformatorstation eftersom att distanserna är mindre och därför kan tjockare kablar användas. Efter att elen nu har färdats från kraftdammen till staden där den skall användas så går den ut till de mindre transformatorstationerna som kan ses i form utav små hus överallt i våra samhällen där spänningen slutligen transformeras till de 400 V som vi får tillgång till i våra hem.

3.2 Viktiga Komponenter

3.2.1 Transformatorn:

Den kanske viktigaste delen i en transformatorstation är självklart själva transformatorn. Transformatorn ansvarar för att antingen skala upp eller ned den inkommande spänningen till önskad nivå. Dessa kan variera i storlek men funktionen och uppgiften är den samma.

Transformatorn innehåller en järnkärna som är uppbyggd utav en mängd tunna plåtar som har laminerats ihop och leverats för att få så små förluster och virvelströmmar som möjligt [18]. Transformatorn har tre utgångar, en för varje fas. Kopplat på varje fas så sitter det två stycken spolar, en som matas med inkommande spänning, skickar in den i järnkärnan där den transformeras till önskad storhet och sedan går det ut till den andra spolen och vidare ut på nätet.

3.2.2 Kylaren:

Vid transformeringen utav spänningar så sker värmebildning hos transformatorn, vilket är skadligt under en längre period och kan leda till att den går sönder. För att undvika detta så installeras kylanläggningar till transformatorn, så att den kan hållas i konstant drift. Kylningen sker oftast genom att olja cirkulerar kring järnkärnan och spolarna [11]. Oljan avleder alltså värmen från de utsatta områden och håller de komponenterna vid en driftsäker temperatur. Oljan förvaras i tankar som monteras utanpå själva transformatorns chassi. Även kylflensar och fläktar kan användas, detta är dock vanligare på de mindre transformatorerna eller som ett extra komplement till de större transformatorerna [6].

3.3 Typer av Transformatorstationer

Eftersom det finns många steg i ledet från att utvinna energi till att en användare kan förbruka den så krävs det, som avhandlingen i funktions avsnittet visar, en mängd med olika transformatorstationer och de varierar både i storlek och typ.

Den största skillnaden mellan en transformatorstation som konverterar 400 kV till 130 kV och en transformatorstation som konverterar 10 kV till 400 V är ju självklart storleken på själva transformator samt dess kringliggande komponenter och struktur, då det krävs en större station för konverteringen utav de större spänningarna. Transformatorstationer kan ses i form utav små kiosker i plåt och mindre betongbyggnader runt om i landet. Dessa är ofta för konverteringen utav 10 kV till 400 V. Sedan finns de transformatorer likt de som ofta finns utanför staden, där endast själva transformatorn kan vara så hög som flera meter.

4 Miljöpåverkan

Förutom utsläppen som kommer från framställning utav materialen för tillverkning utav samtliga delar i ett ställverk, transporten till platsen för uppförandet och dess montering så finns det vissa delar i ett ställverk som kan ha en miljömässigt negativ påverkan om något skulle gå fel.

4.1 Kylaren

Då kylsystemen för transformatorer ofta innehåller oljas som förvaras i en tank monterad på transformatorchassits utsida så finns risken för läckage, se figure 6 för exempel på hur en oljekylad transformator kan se ut. Om transformatorn blir överhettad eller en eld drabbar transformatorn så finns risken att oljan antänds och då släpper ut mängder utav miljöfarliga utsläpp. En transformator eller kylanläggningen kan även börja börja läcka, vilket kan leda till att oljan spills ut i marken och ner i närliggande jord eller vatten. Detta försöker en undvika och kan säkerställas genom att bland annat montera transformatorn ovanpå betongfundament med "oljegropar" som kan fånga upp de eventuella droppläckage som kan uppstå, se figure 6 botten utav transformatorn.



Figure 6: Transformatorstation med oljetank på toppen[9]

4.2 GIS-Ställverk:

Gasen som används i GIS-ställverk, Svavelhexafluorid(SF_6), är extremt miljöfarlig och skadlig för atmosfären och klassas som den farligaste växthusgasen utav alla med en skadepotential som är över 20 000 gånger större än CO_2 om den släpps ut i det fria [17].

Gasen används för sin goda isolerande egenskaper men är också mycket säkrare än exempelvis olja, eftersom risken för att bränder vid handhavande fel inte finns och för att ett GIS-ställverk kan göras mycket mindre till ytan. Den har även en mycket lång livslängd, låga servicekostnader och går att använda i mer utsatta områden[8].

Trots dessa goda egenskaper så är dess skadlighet för atmosfären väldigt stor och därför så bedrivs idag forskning på hur SF_6 gasen skall kunna ersättas eller användas för att minimera riskerna för större utsläpp[12]. Enligt Svensk Energi så fanns det 2008 runt 92 ton SF_6 på ställverken runt om i Sverige och 330kg SF_6 släpptes ut[12].

5 Arbetsmöjligheter för en Högskoleingenjör

För en högskoleingenjör så finns det många möjligheter att få arbeta med transformatorstationer och ställverk.

Det finns möjligheter att få arbeta med drift och övervakning vid exempelvis Vattenfall, där du ser till att rätt mängd elektricitet levereras till nätet och att det sker utan avbrott och störningar.

Du kan även arbeta med utvecklingen och förbättringen utav ställverk och transformationsstationer, till exempelvis så sysslar ABB väldigt mycket med byggnation och utveckling utav de bågerna.

Du kan även arbeta som koordinator och planerare utav byggnationen utav ställverk, både statligt men även inom privat sektor inom Sverige så väl som utomlands.

6 Två Frågor

- Nämn två uppgifter kondensatorbanker har i ett ställverk.
 - Faskompensering för att skapa reaktiv effekt som förbrukats av ledningsinduktans och filtrera bort övertoner vid DC/AC-omriktning.
- Nämn en fördel och en nackdel med GIS-ställverk.
 - Fördelen är att ställverket är yteffektivt. Nackdelen är att den isolerande gasen SF_6 är en mycket kraftfull växthusgas.

References

- [1] ABB. "ABB förstärker elnät i norra Skandinavien". In: (). DOI: <http://www.abb.se/cawp/seitp202/311a20c7e77a93bfc125782b003e8c8e.aspx>.
- [2] ABB. "ABB tar order värda 45 miljoner dollar för att stärka svenska elnätet". In: (2014). DOI: <http://www.abb.se/cawp/seitp202/5b29e4c2cce0cd8dc1257c9f00364901.aspx>.
- [3] ABB. "Gas-insulated switchgear (GIS) 72.5 - 1200 kV". In: (). DOI: <http://new.abb.com/high-voltage/gis>.
- [4] ABB. "Innovativ brytare löste knuten i Lindome". In: (2005). DOI: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/a71e729acb629599c1256fe00023fe62.aspx>.

- [5] ABB. “Ställverket - fördelar el och skyddar nätet”. In: (2017). DOI: <http://new.abb.com/se/om-abb/teknik/sa-funkar-det/stallverk>.
- [6] ABB. “Transformatorer – i varje korsning i elströmmens vägnät”. In: (). DOI: <http://new.abb.com/se/om-abb/teknik/sa-funkar-det/transformatorer>.
- [7] AlliedInsulators. “SUBSTATIONS”. In: (). DOI: <http://www.alliedinsulators.com/products/substations>.
- [8] Capiel. “SWITCHGEAR AND SF6 GAS”. In: (Jan. 2002). DOI: <http://www.tdeurope.eu/data/file/Environment-Sustainability-Approach-Capiel-HV-Part-D-Switchgear-and-SF6-Gas.pdf>.
- [9] Wikipedia Commons. “Transformer (ABB) in Umspannwerk”. In: (). DOI: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Transformer_\(ABB\)_in_Umspannwerk_-_DSCF0998.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Transformer_(ABB)_in_Umspannwerk_-_DSCF0998.JPG).
- [10] Becker Mining Company. “Capacitor Banks”. In: (). DOI: <https://www.becker-mining.com/en/products/endis/non-flameproof/capacitor-banks>.
- [11] EBM-Plast. “EC-fläktar för effektiv kylning av transformatorer”. In: (Feb. 2017). DOI: <http://www.ebmpapst.se/sv/nyheter/EC-fl%C3%A4ktar-f%C3%B6r-effektiv-kylning-av-transformatore>.
- [12] Svensk Energi. “Den Svenska elens miljöpåverkan”. In: (May 2010). DOI: <http://www.svenskenergi.se/Global/Dokument/publikationer/Bild-Den-svenska-elens-miljopaverkan.pdf>.
- [13] Chalmers Tekniska Högskola Institutionen för Energi och Miljö. “Elteknik”. In: (Mar. 2010), pp. 9–13.
- [14] Power Engineering International. “ABB launches compact 420 kV gas insulated switchgear”. In: (Jan. 2005). DOI: <http://www.powerengineeringint.com/articles/print/volume-20/issue-5/regulars/equipment-roundup/abb-launches-compact-420-kv-gas-insulated-switchgear.html>.
- [15] L. Kakan. “Electronics Theory and Applications”. In: (2011), pp. 7–8. DOI: https://books.google.se/books?id=XrSI2C9N1DIC&pg=PA7&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.
- [16] Q. Min. “Vacuum interupter”. In: (Feb. 2017). DOI: <http://www.jucro.com/product-information/>.
- [17] Wikipedia. “Sulfur hexafluoride”. In: (Apr. 2017). DOI: https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_hexafluoride.
- [18] Wikipedia. “Transformer”. In: (Mar. 2017). DOI: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Transformer>.