

HVDC

Ludvig Johansson, Martin Johansson, Jacob Andersson

April 2017



1 Introduktion

En historieomskrivning kan vara på gång. Under 1880-1890 talet utkämpades ett krig om vilken ström man skulle enas om. Kriget var såklart bildligt talat, men det finns så väl fördelar som nackdelar både med växelström (AC) och likström (DC). Vid 1800 talets slut var många rädda för olycksrisken som tycktes hög med ett högspännings-växelström (HVAC) nät. Det blev knappast bättre med introduktionen av elektriska stolar. Thomas Eddisons företag hade utvecklat ett DC-distributions nät medans konkurrenterna Westinghouse och Thomsons-Houston använde AC. Det finns såklart många anledningar till varför man till slut enades om AC, varav en säkert var av ekonomisk karaktär. När Eddisons företag och Thomsons-Houston gick ihop blev det företag som senare kom att heta General Electric [1].

En annan anledning var säkert också att man med hjälp av en transformator kunde transferrera upp spänningen i ett AC nät och därmed undvika stora förluster när man distribuerade långa sträckor, vilket man på den tiden inte kunde göra med DC. Dock så finns inte det problemet längre för DC, då man idag kan transferera DC med hjälp av switch-teknik. Dessutom har DC stora fördelar när det gäller att koppla samman två olika synkrona nät, dessutom blir själva ledningarna billigare då man inte behöver ta hänsyn till växelströmseffekter och dessutom kan ha färre ledare. Står vi inför ett skifte mellan AC och DC? Kanske inte helt och hållet, men vi kommer säkert se att HVDC kommer att ersätta HVAC i större och större utsträckning, speciellt när vi vill ha möjlighet att skicka ström längre sträckor i framtidens elnät samt genom fördelarna med att kunna sammankoppla två olika AC nät.

1.1 Inte så ny teknik

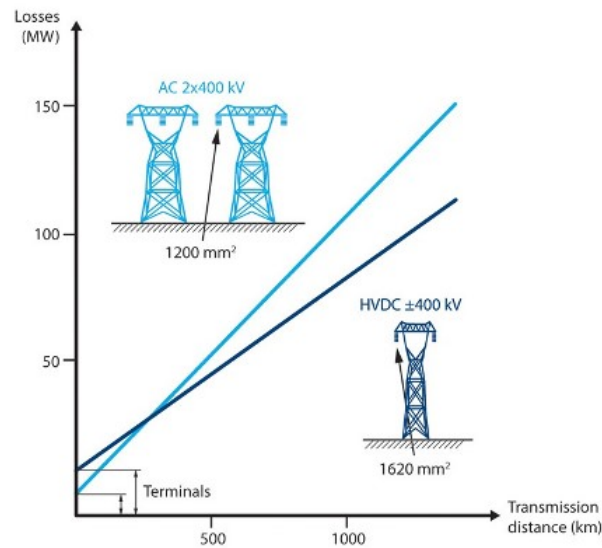
Som svensk kan man sträcka på sig lite extra när man pratar om HVDC. Utvecklingen av HVDC började faktiskt redan på 1920-talet. Den första kommersiella länken i världen blev den mellan Gotland och fastlandet, som startade redan 1954. Den länken var utvecklad av ASEA (som idag heter ABB) och var på 100 kV[14]. Gotlandslänken kallad "Gotland 1" var 98 km lång och med en kapacitet på 20 MW. Idag är den ersatt av två så kallade monopolära länkar med gemensam återledare[9][2]. Gotlandslänken har idag en spänning på 150kV och kapacitet på totalt 260 MW (med båda ledarna) men utvecklingen går framåt och idag finns länkar som opererar på 800 kV, kapacitet upp till 6400 MW (t.ex. Xiangjiaba–Shanghai, Kina) och är 2350 km långa (Rio Madeira, Brasilien)[10].

2 Utrustningens huvuduppgifter

High voltage direct current (HVDC), på svenska högspänd likström, är ett effektivt sätt att transportera höga mängder elektrisk energi en lång sträcka. Genom att konvertera AC till DC för transport och sedan konvertera tillbaka DC till AC så blir det en mer attraktiv lösning gentemot den mer traditionella AC transporten då den ger upphov till mindre förluster. Det finns även ett ökande intresse i transport av "ren" energi som har medfört ett skiftande fokus till högre DC transport, vilket går under namnet Ultra High Voltage Direct Current. Med denna teknik så kan man överföra energi mellan 5000-8000 MW på sträckor över 100 - 150 mil med en spänning runt 800 kV [6]. HVDC

har generellt lägre förluster än växelströmssystem i alla avseenden dock tillkommer vissa förluster i konvertering AC-DC och DC-AC. Detta kan ses i bild 1 som avser förlusterna i en ledning på 1200 MW. Så för korta transportsträckor är då växelström att föredra då ledningsförlusterna blir små i jämförelse med förluster i konvertering[15].

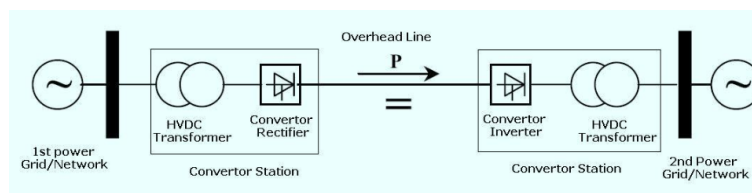
Med HVDC tekniken går det med fördel att koppla ihop nät med varierande växelströmmar. Detta då strömmen transformeras och likriktas till den gällande frekvensen. Det finns även en stabiliserande effekt av att koppla ihop växelströmsnät då HVDC kan skydda mot så kallade kaskadkrascher. Detta är då växelströmsnät blir osynkroniserade och riskerar spridas till det övriga nätet. HVDC har inte detta problem och kan då användas som stabilisator[15].



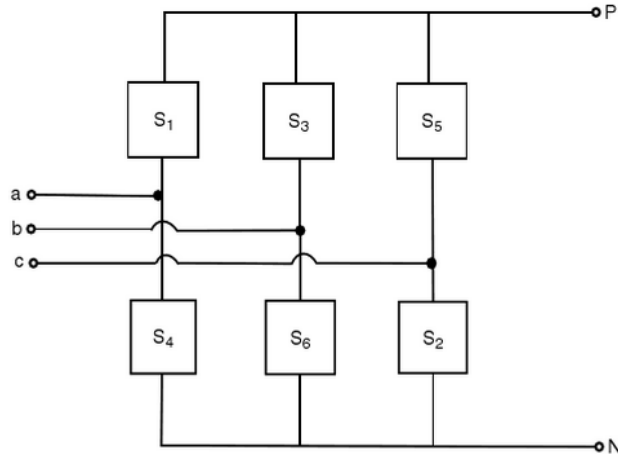
Figur 1: Bild som visar förlustskillnader mellan AC och HVDC [5]

3 Funktionsprincip

Hjärtat i HVDC-system är omvandlingen mellan AC och DC. Det finns olika metoder för att göra denna omvandling. I huvudsak kan systemet beskrivas med enlinjeschemat i figur 2.



Figur 2: Enlinjeschema



Figur 3: En Graetz-brygga

3.1 LCC och VSC

Stationerna måste ha någon form av brytare för att kunna styra strömmen genom konvertern. De första anläggningarna byggdes med jonventiler fyllda med kvicksilver. Alla nyare HVDC-system använder nu tyristorer eller transistorer. Tyristor tekniken utvecklades på 1950-talet och ersatte den skrymmande och hälsofarliga jonventilen. Tyristortekniken benämns LCC som står för "line-commutated converter". LCC kan överföra stor effekt men styrs av den inkommande strömmen och kräver ett stabilare nät för att fungera optimalt. En annan viktig skillnad med en tyristor jämför med en transistor är att man bara kan bryta en tyristor i strömmens nollövergång [17].

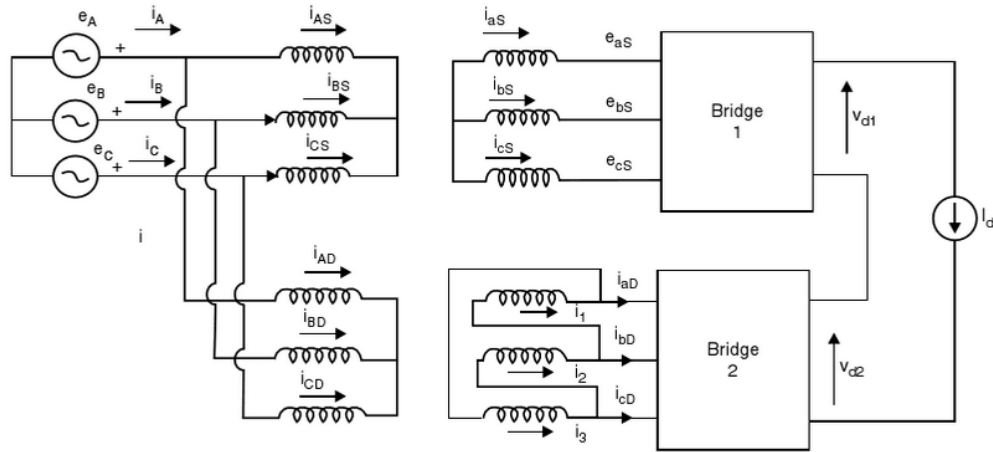
Den andra tekniken VSC "voltage-sourced converter" använder IGBT-transistorer där IGBT står för "Insulated-gate bipolar transistor" eller bipolär transistor med isolerat styre. IGBT-tekniken gör det möjligt att kontrollerad släckning och därmed reglering av reaktiv effekt. VSC-system är mer komplicerade och mindre robusta. De kan inte hantera lika höga effekter och har större förluster i stationer men de har den stora fördelen att de erbjuder mer kontroll.

Många gånger så använder man fiberoptik för att styra halvledarna. Detta eftersom det ger en kortare svarstid i ett redan avancerat reglersystem samt att man åstadkommer en galvanisk isolation mellan styrsystem och styrobject[17].

3.2 Graetz brygga och transformator

Huvudkonstruktionen i konvertern för en HVDC anläggning oavsett typ är en Graetz brygga. Det är en 3-fas konverter som i sin mest fundamentala uppsättning består av 6 stycken halvledare. Det är samma koppling som man hittar i t.ex en trefaslikriktare. Faktum är ju att det är just vad en HVDC anläggning är med den skillnaden att den beroende på hur den är styrd antingen likriktar eller inverterar. I figur 3 syns det schematiska diagrammet för en brygga.

Bryggan, oavsett typ av halvledare, matas av eller matar en transformator. Transformatorn har till uppgift att ge en galvanisk isolation mellan näten, transferera mellan spänningsnivåerna på AC resp DC nätet samt för att kunna justera AC spänningen med t.ex. lindningsomkopplare. Observera



Figur 4: En 12 puls konverter

att en sparkopplad transformator med fördel kan användas, men att man då tappar den galvaniska isolationen [17].

En väldigt vanlig koppling är att man använder sig av två Graetz-bryggor i serie, se figur 4. Man får då en "12 puls" konverter. De två huvudfördelarna med denna typ av installation är att varje brygga endast behöver klara hälften så hög spänning samt att man genom kombinationen med två transformatorer varav en med Y/Y koppling och en med Y/ Δ får 30° fasförskjutning av ripplet. Det innebär att ripplet inte bara får lägre amplitud utan även högre frekvens och därmed blir enklare att filtrera. Namnet 12 puls beror på att arbetscykeln består av 12 faser[17].

3.3 Ledningar

Man brukar dela in HVDC ledningar i tre olika kategorier, Monopolär, Bipolär samt Homopolär. Monopol kommer från att det är en ensam ledare där havet används som återledare. Två monopoler bildar tillsammans en bipolär länk. Dom använder omvänd polaritet och därför går teoretiskt ingen ström alls i återledaren trots att de två länkarna blir oberoende av varandra. Homopolär är två eller fler ledningar vars ström har samma riktning och har då alltid jord eller metallisk retur [17].

DC ledningar kan transportera energi antingen i upphängda ledningar, ledningar som ligger på havsbotten eller som är nedgrävda i marken. Luftburna DC ledningar kan vara att föredra framför AC då, om man antar att AC och DC har samma isolation, DC ledningar kan transportera samma kraft i enbart två ledningar jämfört med tre ledningar som krävs i fallet med AC [17].

HVDC har även en stor fördel vid transport under mark och vatten. Med växelström uppstår problem med att det bildas kapacitans mellan ledningen och dess yttre metalliska hölje. Det bildas då en reaktiv effekt vilket är en effekt som inte ger upphov till något arbete. Detta medför en begränsning på kabeln till cirka 60 km. Detta problem uppstår inte i en HVDC kabel, den enda förlusten som uppstår i en HVDC kabel är den resistiva förlust som uppstår inne i ledningen. Det innebär att man inte har några reaktiva effektförluster alls. Det brukar därför även krävas HVDC ledningar för transport av energi längre än 80 km under mark eller vatten [15] [18].

3.4 Filtrering och faskompensering

Ett problem som HVDC brottas med är att det uppstår övertoner i nätet, både på AC och DC sidan. Därför så måste man filtrera och faskompensera vid stationerna.

I huvudsak används tre typer av filter. AC filter som är till för att ta bort harmonierna (övertonerna). Dom är ofta passiva filter som är shuntkopplade. DC filter som funkar på samma sätt som AC-filtren, men dom är istället anpassade för de specifika övertoner som bildas på DC-sidan. Sist har man högfrekventa filter kopplade mellan transformatorn och AC- nätet och som specifikt ska ta bort högfrekventa strömmar (alltså på frekvenser många gånger högre än harmonierna)[17].

DC sidan behöver även en glättingsreaktor. Det är en induktans som ligger i serie med länken. Förutom att den glättar strömmen, så ger den också till viss del skydd vid plötsliga strömförändringar[17].

HVDC-stationer behöver också en reaktiv effektkälla (ca 50-60% av den aktiva effekten). Detta eftersom t.ex. en tyristor endast kan skjutas igång efter att spänningen har blivit positiv och därför alltid orsakar en förskjutning mellan ström och spänning där strömmen (från nätets sida sett) hamnar efter [20][17].

4 Rekord

Den 12 januari 2015 sätter ABB ett nytt världsrekord med deras HVDC Light med att överföra 500 kV via användning av spänningsstyv strömriktare (VSC). Rekordet sattes med ledningen Skagerak 4 som löper mellan Norge och Danmark med en överföringskapacitet på cirka 700 MW [4].

Världens idag längsta luftburna HVDC ledning hittas i Brasilien. Kabeln är Rio Madeira som löper mellan nordvästra delen av landet till São Paulo, sträckan är cirka 2400 km. Ledningen överför 3150 MW [8].

I Kina byggs just nu den första UHVDC ledning som kommer att använda över en miljon volt (1100 kV) och kommer ha en överföringskapacitet på 12 GW. Denna kommer även sätta nytt rekord i längd då den kommer bli över 3284 km [19].

5 Utveckling inom området

Framtiden för HVDC ser ljus ut. I Europa finns det planer på att bygga flera HVDC ledningar, en av dessa skulle kunna gå mellan norra Sverige och norra Tyskland. Tanken är att när Tysklands vindkraftverk producerar el nattetid så kan denna användas för att pumpa upp vatten i dammen. Detta innebär att man då skulle kunna lagra energi för att sedan kunna använda den då behov finns [16].



Figur 5: Bild som visar 1100 kV transformator [19]

Då tekniken för HVDC går framåt och möjligheterna för högre spänning i ledningarna ökar blir det allt mer intressant med mer miljövänliga energikällor så som solenergi och vindkraft. Med solenergi vill man till exempel kunna fånga upp denna på avlägsna platser så som Sahara öknen, detta har dock varit ett problem då ledningarna har behövt vara väldigt långa vilket i sin tur har medfört stora förluster. Nu börjar man dock komma upp i såpass höga spänningsnivåer i ledningarna att detta börjar bli allt mer intressant [13].

6 Miljöaspekter

HVDC har en viktig roll att spela i en värld som försöker balansera utveckling och hållbarhet. Mindre förluster i energiöverföring är kanske det viktigaste bidraget men användningen av HVDC gör också att elnäten kan reglera intermittenta energikällor enklare. Möjligheten att gräva ned ledningar leder till mindre påverkan visuellt och ytmässigt då luftledningarna kan undvikas.

6.1 Corona urladdningar

En känd effekt hos HVAC nät är att man får partiella urladdningar, så kallade Corona urladdningar. Dessa uppstår även på HVDC ledningar. Vid dessa urladdningar bildas ozon. Marknära ozon innebär en hälsorisk för dem som bor där, då den är starkt oxiderande, giftig och kan orsaka andningssvårigheter. Det har visat sig att polariteteten på ledaren ger olika typer av Corona urladdningar [11] och därför bildas olika mycket ozon. Det har därför visat sig bättre att välja positiv polaritet på en monopolär länk [3]. Utsläpp av ozon från transmissionsledningarna har ingen märkbar effekt globalt, men har en signifikant påverkan på mängden marknära ozon. Coronaurladdningar leder även till utsläpp av väteoxid (OH), som kan förändra luften i omgivningen av ledningen [12].

7 Arbetsuppgifter för en högskoleingenjör

Möjliga arbetsområden för högskoleingenjörer är systemingenjör med inriktning mot kontroll och skydd av HVDC-anläggningar. Arbetet består av att ta fram styr och säkerhetssystem samt att leda implementering av desamma. Anläggningskonstruktör är en annan möjlig karriär inom

HVDC. Anläggningskonstruktören arbetar bland annat med projektering, upphandling, installationsövervakning, samt idrifttagning av anläggningar. [7]

8 Två egna frågor

1. Vad är dom reaktiva förlusterna i en HVDC ledning?
2. Var fanns världens första kommersiella HVDC- länk ?

Referenser

- [1] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/War_of_Currents.
- [2] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/HVDC_Gotland.
- [3] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/High-voltage_direct_current.
- [4] ABB. *ABB sets world record in HVDC Light voltage level*. URL: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/e0311ee675bb33b3c1257dcb00300a8c.aspx>.
- [5] ABB. *Economic and environmental advantages*. URL: <http://new.abb.com/systems/hvdc/why-hvdc/economic-and-environmental-advantages>.
- [6] ABB. *HVDC Classic (LCC)*. URL: <http://new.abb.com/systems/hvdc/hvdc-classic>.
- [7] ABB. *Lediga tjänster ABB*. URL: <http://new.abb.com/se/jobba-hos-oss/lediga-tjanster>.
- [8] ABB. *The world's longest HVDC link – bringing power to millions*. URL: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/8f7e84dba2273678c1257d850029dcc3.aspx>.
- [9] ABB. *The Gotland HVDC link*. URL: <http://new.abb.com/systems/hvdc/references/the-gotland-hvdc-link>.
- [10] Olof Heyman et al. *HVDC – A key solution in future transmission systems*. URL: <https://library.e.abb.com/public/33f1986e3964827fc12577f40066dbel/HVDC%5C%20a%5C%20key%5C%20solution%5C%20in%5C%20the%5C%20future%5C%20transmission%5C%20systems.pdf>.
- [11] Phanupong Fuangpian et al. *Experimental Investigation of the Corona Discharge in Electrical Transmission due to AC/DC Electric Fields*. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2016/13/mateconf_iceen2016_01004.pdf.
- [12] Vaida Valuntaitė et al. *Ozone concentration variations near high-voltage transmission lines*. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/1648-6897.2009.17.28-35?needAccess=true>.
- [13] Energinyheter.se. *Solenergi från Sahara kommer närmare*. URL: <http://www.energinyheter.se/20161227/15335/solenergi-fran-sahara-kommer-narmare>.
- [14] Christine Gunnarsson. *The history of HVDC transmission*. URL: [http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/a521beb28ac88e75c12572250046e16a/%5C\\$file/hvdc+history.pdf](http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/a521beb28ac88e75c12572250046e16a/%5C$file/hvdc+history.pdf).
- [15] Anders Kallenberg Peiman Momeni. *Överföring av elkraft med Likström*. Tekn. rapport. Lunds tekniska högskola, 2010. URL: http://www.ees.energy.lth.se/fileadmin/ees/Kurser/MVKN10_Energitransporter/Uppsatserna_och_fraagorna/Entr_korr_Rapport_Elkraft_Kallenberg_Momeni.pdf.
- [16] Mynewsdesk. *Likström är framtiden. Nu byggs en ledning med kapacitet för halva Spaniens elförbrukning*. URL: <http://www.mynewsdesk.com/se/kundkraft/pressreleases/likstroem-aer-framtiden-nu-byggs-en-ledning-med-kapacitet-foer-halva-spaniens-elfoerbrukning-1766202>.

- [17] K R Padiyar. *HVDC power transmission system*. 2nd. New academic science, 2013.
- [18] Siemens. *Fact Sheet High voltage direct current transmission (HVDC)*. URL: <https://www.siemens.com/press/pool/de/feature/2013/energy/2013-08-x-win/factsheet-hvdc-e.pdf>.
- [19] Siemens. *Hair-Raising Transmission Voltages*. URL: <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/energy-and-efficiency/power-transmission-record-setting-hvdc.html>.
- [20] Ying Xue och Xiao-Ping Zhang. "Reactive Power and AC Voltage Control of LCC HVDC System With Controllable Capacitors". I: 32.1 (2017).

Facit

1. Det är inga reaktiva förluster i en HVDC ledning, vilket är en av de stora fördelarna med att använda HVDC över stora avstånd.
2. Den första länken i världen rent kommersiellt var mellan fastlandet och Gotland. Den hette Gotland 1 och gjordes av ASEA (nuvarande ABB).