



Likström för lokal eldistribution Framtiden eller inte?



Inlämningsdatum 7/12 2009

Sammanfattning

I dagens samhälle använder vi mer och mer el. För att möta efterfrågan måste hela tiden eldistributionsnätet vara fungerande. I nästan hela världen har växelström stått för en dominerande del av distributionen av el ända sen 1800-talets slut då växelströmmen vann slaget mot likströmmen.

Sedan 1950-talet har HVDC (high-voltage direct-current) tagit en allt större plats i högspänningsnäten runt om i världen och vinner fortfarande mycket mark inte minst i nya ekonomier som Kina. Anledningen att HVDC vinner så mycket mark är att förlusterna i ett högspänt likströmsnät är betydligt lägre än i ett högspänt växelströmsnät. Dessutom tar HVDC betydligt mycket mindre plats än ett HVAC-nät.

Vid lokal distribution av ström finns det mycket att tjäna på att gå över till ett LVDC-nät (low-voltage direct-current). Dessa fördelar visar sig särskilt om man ändå ska byta ut ett gammalt nät eller om man behöver stormsäkra nätet. Fördelarna med ett LVDC-nät är att man slipper parallella ledningar och att man undviker att bygga en hel del förgreningar på 20 kV-ledningarna.

En annan fördel med att använda sig av likström i distributionen är att det förenklar för användningen av bränsleceller och andra elkraftverk som ger likström.

Att använda LVDC istället för ett lågspänningsnät i lokaldistribution har många fördelar men eftersom växelströmsnätet är så pass väl utbyggt kommer det kosta otroligt mycket att byta ut det mot ett LVDC. Dessutom är DC-system mer komplicerade än vad AC-system är.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	2
Inledning	4
Historia.....	4
HVDC	6
LVDC.....	9
Utbyggnad av LVDC.....	9
Vätgas och bränsleceller	12
Apparaturer.....	14
Slutsats.....	15
Tentamensfråga	15
Källförteckning	16

Inledning

Redan i den kommersiella elektricitetens barndom på 1800-talet debatterades om likström eller växelström var det bästa alternativet. Då, i slutet av 1800-talet vann växelströmmen en klar och tydlig seger då den var mycket enklare att transformera och transportera långa sträckor. I och med modern teknik kom dock likströmmen tillbaka genom HVDC (High-Voltage Direct-current). Utbyggnaden av HVDC har ökat under hela tiden tekniken har varit tillgänglig och nu är även likström på väg tillbaka i den lokala eldistributionen.

Med ett system som är både säkrare och effektivare än det gamla lokalnätet förväntas LVDC (Low-Voltage Alternating-current) öka sin andel i distributionsnätet avsevärt. Men hur ser ett LVDC-system ut? Vilken roll kan vätgas och bränsleceller förväntas ha i den nya tekniken? Och framför allt hur påverkas våra liv och apparater av en övergång till likström? Eller påverkas vi över huvud taget?

Historia

Det stora genombrottet för elektriciteten kom under 1800-talet. Under första halvan av 1800-talet blev många av grunderna för elektriciteten klara för forskare och 1821 uppfanns den elektriska motorn. Om den första delen av 1800-talet var en språngbräda in i elektricitetens värld så fullkomligt exploderade utvecklingen under andra halvan av 1800-talet. När det kommer till elektriska överföringssystem så var det likström som blev det dominerande konceptet till att börja med. Likström är en elektrisk ström tillåts gå i en ledare utan att byta riktning. Anledningen till att likström dominerade över växelströmmen är att tekniken för växelström inte hade kommit lika långt som för likströmmen. Likström är när en elektrisk ström ändrar riktning i ledaren.[1][2]

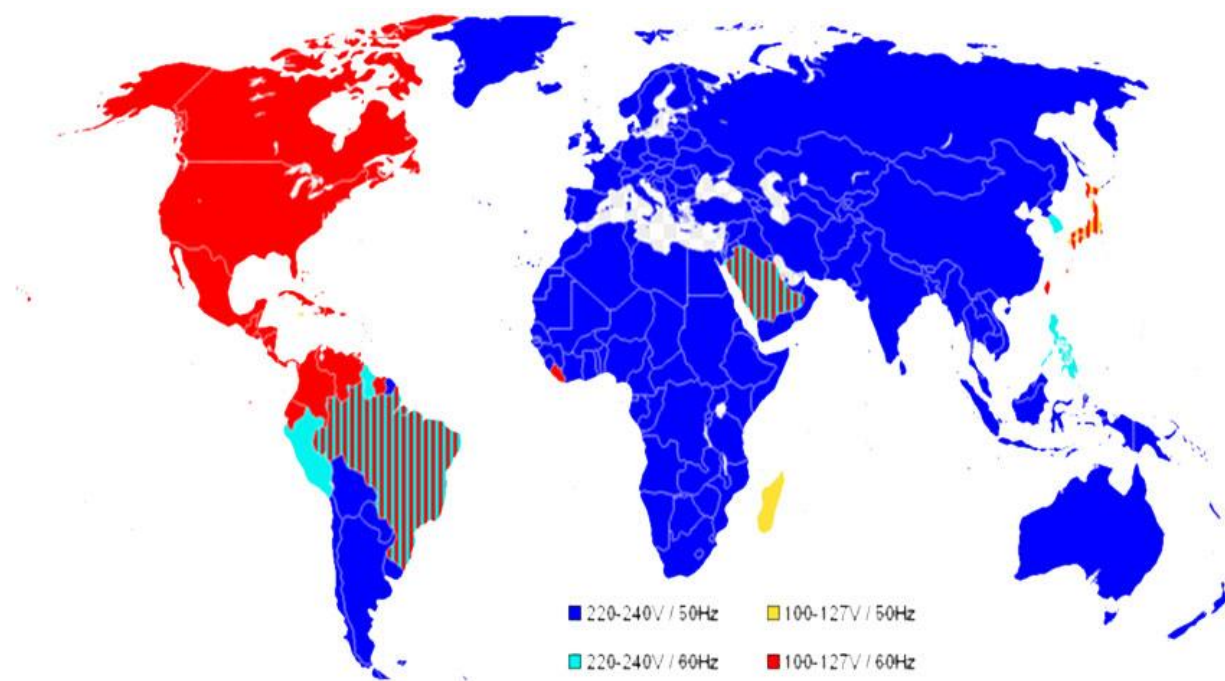
Det fanns dock en hel del problem med att distribuera likström också. Ett stort problem var svårigheten att transformera spänningen. Det behövdes ju ändå olika spänning för olika applikationer, t.ex. en glödlampa behövde ca 100 V medans den elektriska motorerna i spårvagnar behövde 500 V. Detta löste elbolagen med att helt enkelt ha multipla ledningar för olika spänningar. Detta medförde självklart kostnader när nya elnät skulle byggas. Detta tillsammans med att överföringsförlusterna var så höga, ledningarna från kraftverket till slutanvändaren kunde i början inte överstiga 2,4km, gjorde att elnäten som byggdes upp krävde en decentraliserad elproduktion. Detta betyder att man byggde kraftverken nära slutanvändarna. En stor förespråkare för likström var Thomas Edison som brukar räknas som den som uppfann den första kommersiellt användbara glödlampan. [1]

Under tiden som likströmmen bredde ut sig mer och mer så framhävde främst Nikola Tesla och George Westinghouse växelströmmens överlägsenhet gentemot likströmmen. När det dessutom utvecklades mer effektivare och billigare växelströmstransformatorer utvecklades det mer och mer till ett "krig" mellan de olika formaten. Edison försökte påvisa för pressen och allmänheten att växelström var farligare än likström och genomförde ett antal offentliga elektrifieringar av bland annat katter där han

använde likström. En annan sidoeffekt av detta "krig" blev den elektriska stolen som utvecklades av Harold P. Brown med stöd av Edison för att visa att växelström var det farligare formatet.[1][3]

Det stod dock rätt snart klart att växelström med dåtidens teknik var det bättre alternativet då det ledde till färre överföringsförluster även vid längre transporter. Växelströmmen gick även att transformera lättare och det blev helt enkelt enklare att ha att göra med. Till slut blev det ändå de ekonomiska faktorerna som avgjorde. Det blev helt enkelt billigare att använda sig av växelströmstekniken och växelströmmen blev sedermera standard i hela världen. Det tog dock lång tid innan många av de likströmsnät som redan fanns försvann. Bland annat blev Stockholm av med sitt likströmsnät på 60-talet och det dröjde ända till 2007 innan den sista kunden med likström i New York gick över till att få leverans av växelström.[1]

Även om växelström blev standard i världen så har ändå olika länder olika system. I huvudsak har det vuxit fram fyra olika system för växelström som kan ses på bilden nedan. Trots att systemen är i stort sett samma i t.ex. Europa så har olika länder ändå olika nät som inte är synkroniserade med varandra.[4]



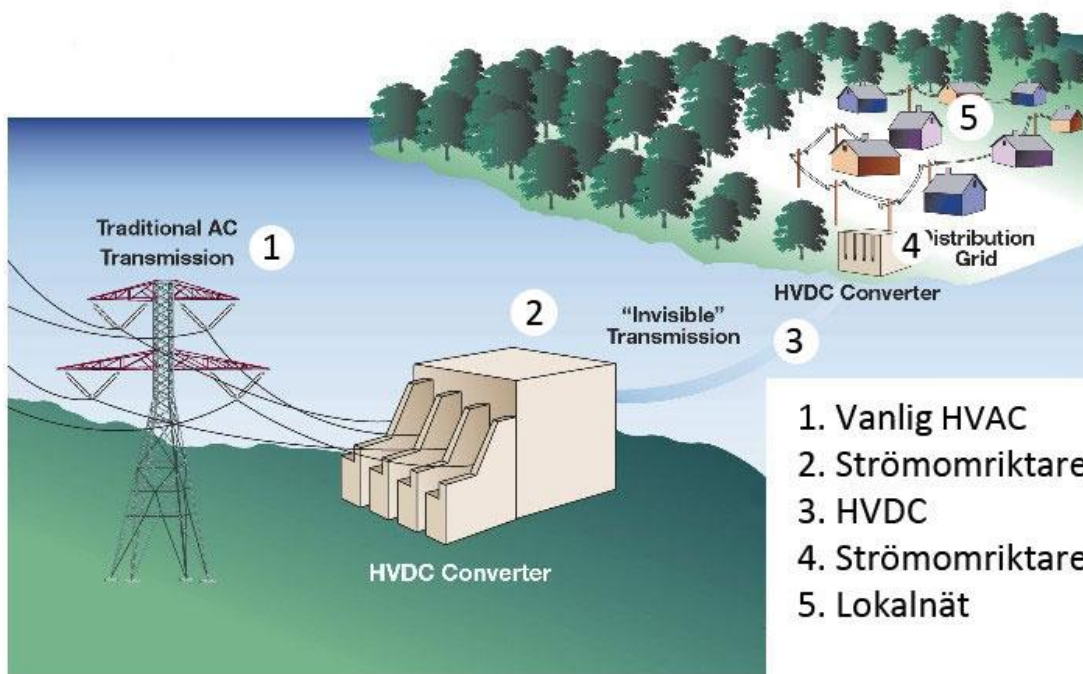
Figur 1 En översikt över världens elnät.[4]

I dagläget får vi alltså växelström levererad men likströmmen lever ändå kvar i många av de saker vi använder varje dag t.ex. datorer, tv-apparater och många tåg går idag på likström. Även på distributionssidan ökar användningen av likström men då som högespänd likström (HVDC) i kablar som bland annat kopplar ihop olika länders elsystem.

HVDC

Intresset för HVDC eller High-Voltage Direct-Current (högspänd likström) väcktes redan i slutet av 1800-talet men det skulle dröja ända tills 20- och 30-talet innan tekniken blev någorlunda användbar då det var svårt att göra om växelström till likström på ett effektivt sätt. Utvecklingen tog fart och ett par försöksanläggningar byggdes under 30 och 40-talet i Tyskland och USA och 1954 byggdes den första kommersiella HVDC-överföringen i världen mellan Sveriges fastland och Gotland.[5]

Användningen av HVDC är att på ett effektivt sätt transportera el långa avstånd med mindre förluster och till ett billigare pris. HVDC funkar så att man först har en strömriktarstation där man omvandlar strömmen från växelström till likström och därefter överför man strömmen till en annan strömriktarstation där man omvandlar den till växelström igen.[5]



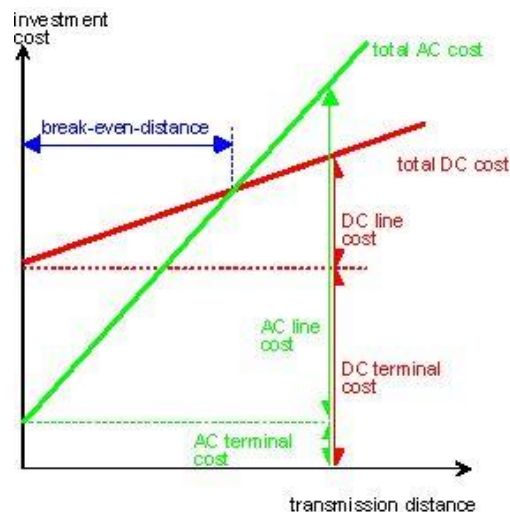
Figur 2 En översikt över hur HVDC fungerar. [5]

Eftersom det används en strömriktare på båda sidor om HVDC-kabeln är HVDC speciellt lämpligt att använda när man kopplar ihop olika länders system om de två länderna har olika spänning eller frekvens i nätet. Även i undervattensapplikationer är HVDC ett bättre alternativ än växelström då en växelströmsöverföring i det fallet lider av betydligt högre förluster. [6]



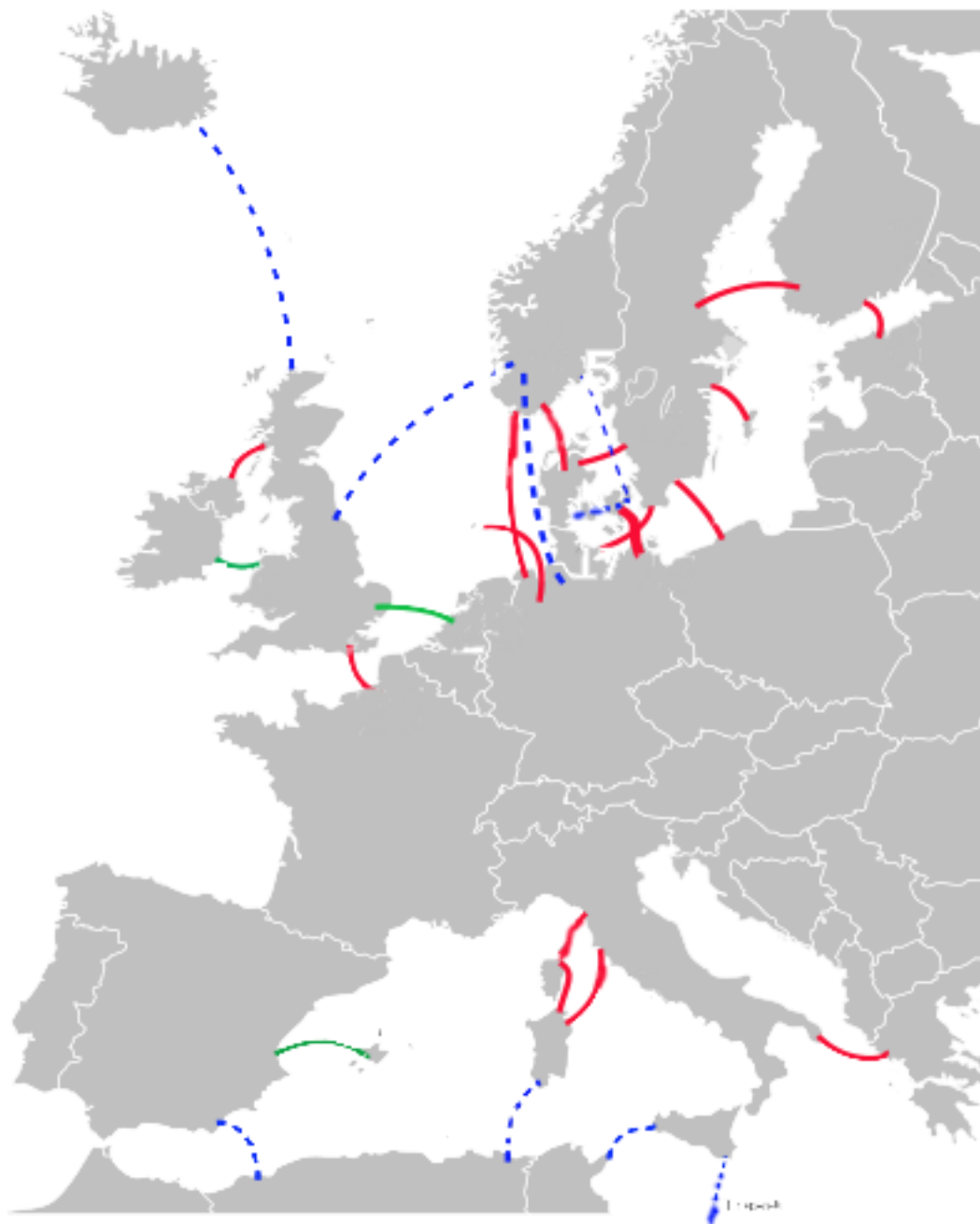
Figur 3 Jämförelse över kraftledningsstolpar och kraftledningsgator mellan HVAC och HVDC. [5]

På grund av att det krävs mer teknik för att få en HVDCöverföring att fungera är investeringskostnaderna initialt högre än för motsvarande HVACöverföring, HVAC (High-voltage alternating-current) men på grund av att man inte behöver en lika bred kraftledningsgata och att man bara behöver en fas istället för tre gör att HVDC snart lönar sig ändå. Vid användande av HVDC behöver kraftledningsstolparna inte vara lika höga som vid HVAC. Dessutom reduceras antalet kraftledningsstolpar avsevärt då det inte behövs tre stolpar i bredd, en stolpe räcker för samma överföringskapasitet. Det bör även nämnas att redan idag börjar HVDC närma sig kostnaderna för HVAC redan initialt när det gäller kablar som går under marken eller vatten.[5]



Figur 4 En enkel kalkyl som jämför kostnaderna för HVDC och HVAC [7]

I Sverige finns det idag fem HVDC-ledningar antingen inom landet eller till och från andra länder. Det finns även planer att bygga en HVDC-ledning på sveriges fastland som en del av stamnätet. I Europa finns det idag ett flertal HVDC-förbindelser och som figur 5 visar så är det fler på gång. Dessutom pratas det om fler förbindelser än vad figur 5 visar men dess är i ett väldigt tidigt stadium. Utbyggnaden av HVDC i världen ökar alltså och bara i Kina planeras fler än 20 HVDC-förbindelser fram till och med 2020.[8]



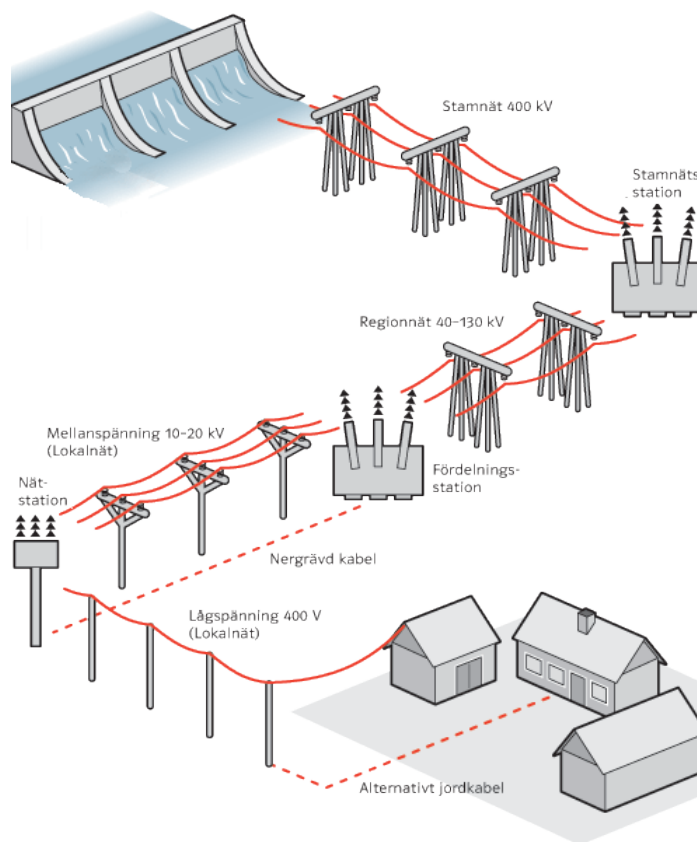
Figur 5 Översikt över befintliga och planerade HVDC-förbindelser i Europa [9]

■ Befintlig anslutning
 ■ Under konstruktion
 ■ Planerade

LVDC

Utbyggnad av LVDC

I dagsläget är vårt svenska elnät indelat i tre delar, stamnät, regionnät och lokalnät. Lokalnätet går i sig att dela in i två delar, mellanspänningsnät (10-20 kV) och lågspänningsnät (< 1 kV). I alla tre delarna är det växelström som strömmar genom ledningarna. Dock är HVDC på frammarsch i stamnätet när det gäller längre förbindelser och förbindelser med andra länder. På lokal nivå är det dock fortfarande växelström som dominerar och kommer göra det under en lång tid framöver. Det finns emellertid en del indikationer på att lågspänd likström (LVDC) är på väg tillbaka. Att gå ifrån elnätet som det ser ut idag med växelström in i husen skulle bli alldeles för kostsamt och det skulle betyda att alla apparater och maskiner skulle behöva bytas ut. [10]



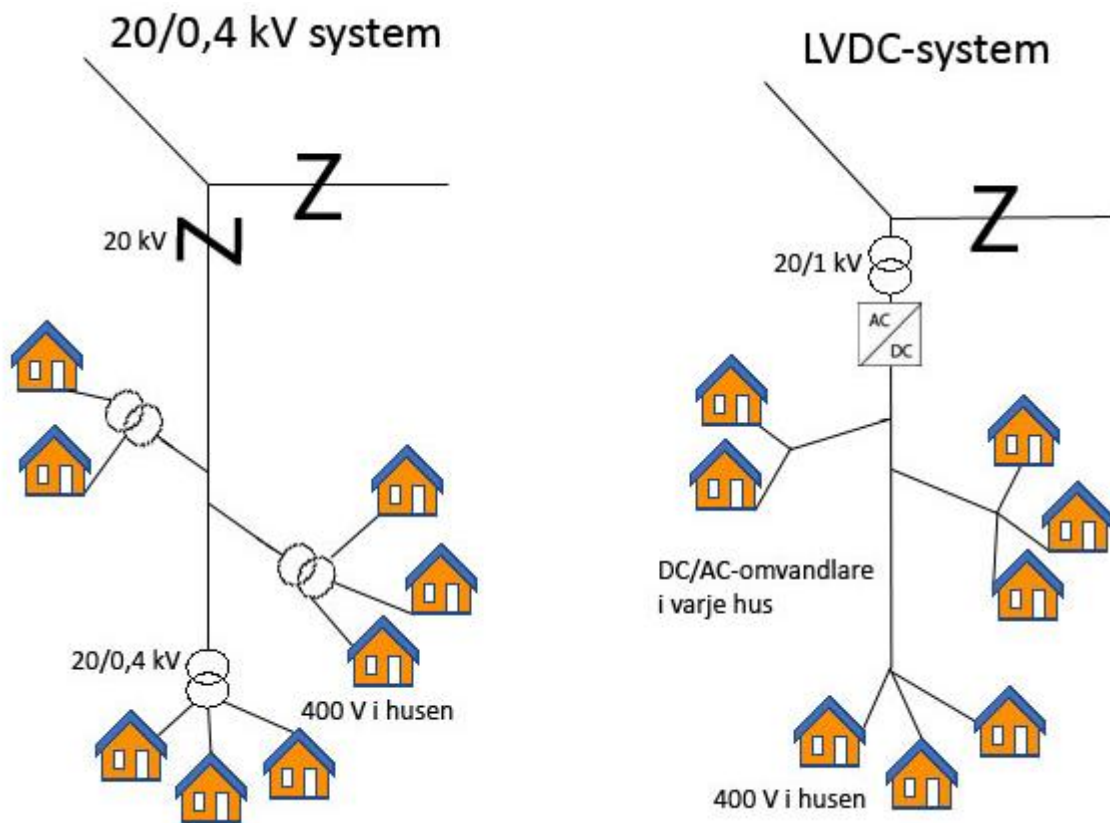
Figur 6 Ett exempel på hur elnätet ser ut i Sverige i dagsläget [11]

Att byta ut delar av lokalnätet till ett likströmsnät kan verka som en drastisk åtgärd men det skulle kunna bli både billigare och man skulle kunna få bättre kvalitet på elen i våra vägguttag.

Som sagt är elnätet idag uppbyggt av luftburna ledningar som utgör grunden i distributionsnätet. Delar av det lågspända elnätet är i dagsläget redan nergrävt och då framförallt i städer. Betydligt mer är på väg att bli kabel under jord även ute i mer glesbefolkade trakter. I Sverige har stormarna Gudrun och Per vållat stora problem för elbolag och dess kunder och fått igång processen att stormsäkra

eldistributionen. Det finns också stora kvantiteter av ledningar som börjar bli gamla och kommer att behöva bytas ut av den anledningen de närmaste åren.[10]

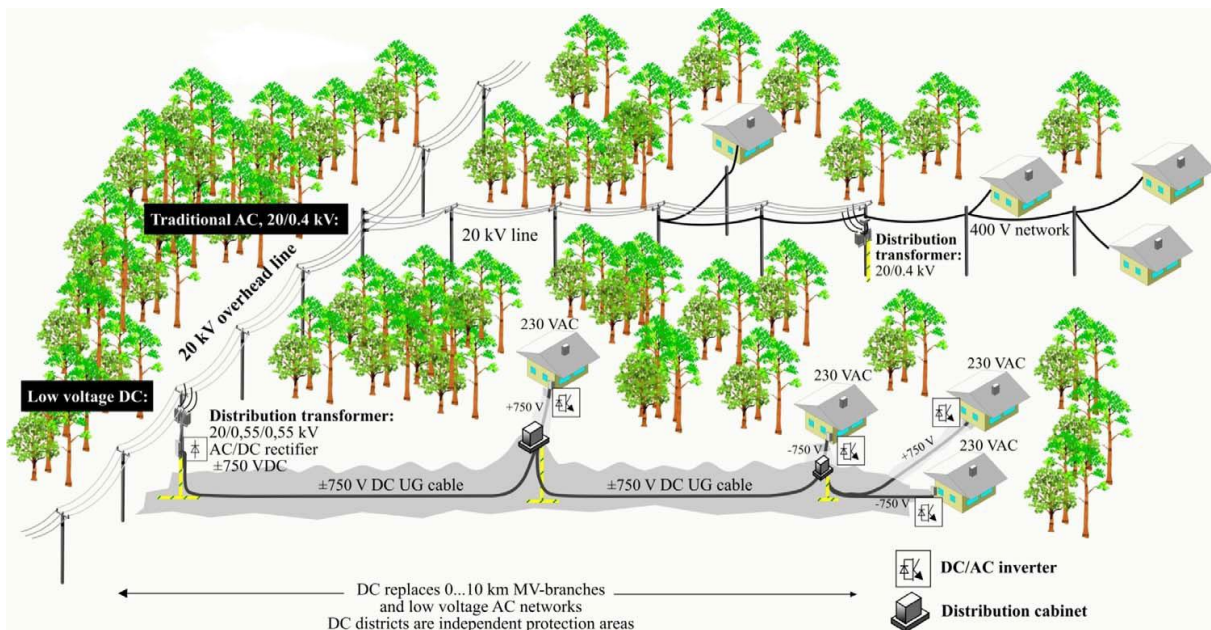
När gamla ledningar ska ersättas mot nya eller när nätet ska stormsäkras är LVDC ett väldigt bra alternativ. Då spänningen är högre i en DC-kabel än i en AC-kabel går det att ersätta inte bara lågspänningsledningarna utan även delar av mellanspänningsledningarna med LVDC. En $\pm 750\text{VDC}$ -kabel går att göra mer än dubbelt så lång som en motsvarande traditionell 400VAC -kabel. Det positiva med detta är att de "grenar" med 20 kV -ledningar som går ut från huvudledningen kan ersättas med LVDC. Detta är något som illustreras av figuren nedan. I figuren kan man även se att antalet transformatorstationer kan minskas vid en övergång till ett LVDC-system.[12]



Figur 7 Schematisk jämförelse mellan ett traditionellt AC 20/0,4kV och ett LVDC distributionssystem

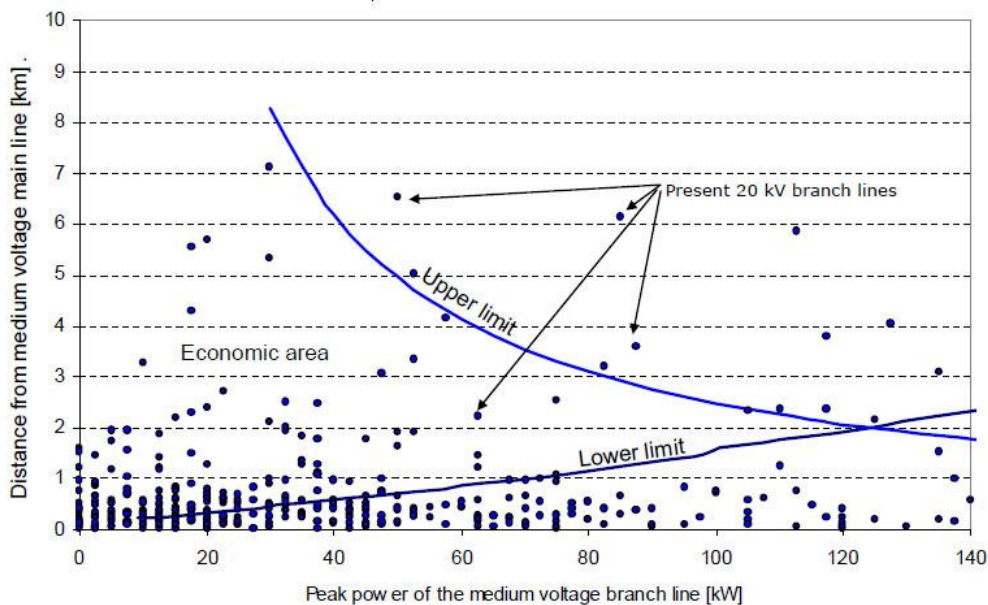
En annan fördel med att byta ut ett gammalt nät till LVDC är, som kan ses i figur 3, att man slipper dra parallella ledningar. Eftersom man vill hålla nere antalet transformatorstationer drar man 20 kV -ledningen fram till det ställe där man kan nå fram till alla husen i området. På det sättet händer det rätt ofta att en eller flera ledningar måste dras tillbaka i riktningen den ursprungliga ledningen kom från. [12]

Vid en övergång till ett LVDC-system behövs en del ny utrustning i form av strömomvandlare. Det behövs en AC/DC-omvandlare vid likströmskabelns början och det är nödvändigt att alla husen som ska försörjas med ström av kabeln får en DC/AC-omvandlare installerad. [12]



Figur 8 Jämförelse mellan ett traditionellt AC 20/0,4kV och ett LVDC distributionssystem [13]

Vid en första anblick kan all denna extra utrustning se ut att bli en dyr affär men eftersom man kan ersätta en hel del dyr och utrymmeskrävande 20 kV-kabel blir det inte dyrare än att bygga en ny luftburen ledning. Dessutom blir det billigare med en nergrävd DC-kabel än en nergrävd 20 kV AC-kabel. Att tvärsnittsarean för en DC-kabel är betydligt mindre än den för en motsvarande AC-kabel bidrar också till sänkta kostnader. Många medelspänningsledningar har idag väldigt dålig beläggning eftersom de inte levererar ström till särskilt många hushåll. Den låga beläggningen gör att verkningsgraden i kablarna blir dålig. Ökad överföringskapacitet i DC-kablar får till följd en effektivare överföring med lägre förluster.[12][14]



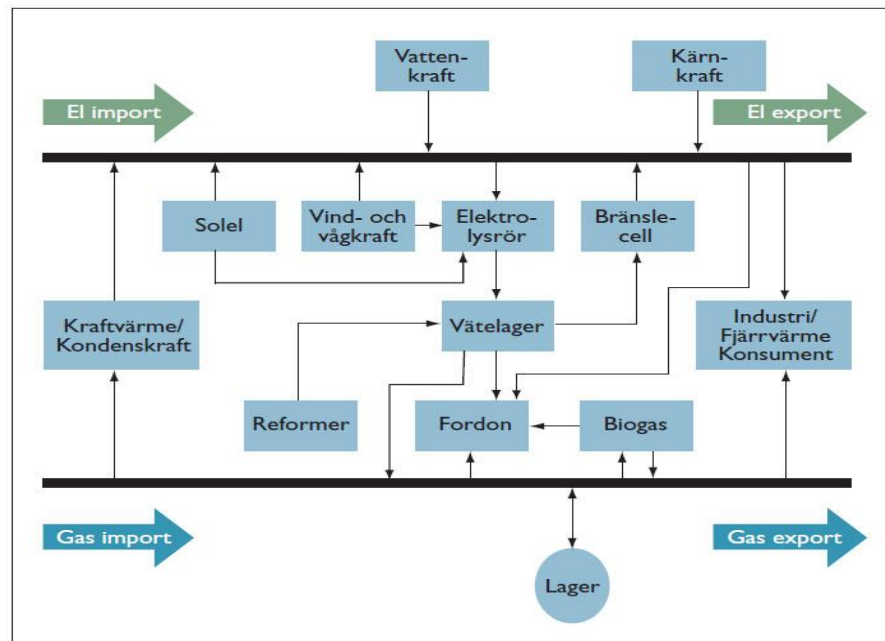
Figur 9 Enkel ekonomisk analys av LVDC[13]

Ett stort problem för en potentiell utbyggnad av distributionsnät för lågspänd likström är att det befintliga växelströmsnätet redan är fullständigt utbyggt. Att helt enkelt byta ut det befintliga systemet är inte ens en möjlighet då kostnaderna för något sådant skulle vara ofattbart höga och alltså aldrig skulle kunna anses som ekonomiskt försvarbara. LVDC-systemen är dessutom mer komplicerade än de traditionella AC-näten. Detta försvårar systemdriften.

Vätgas och bränsleceller

En potentiell utveckling som kan leda till att lågspänd likström får en mer betydelsefull roll i den lokala eldistributionen är den fortsatta utvecklingen av bränsleceller och den föreslagna omställningen till den s.k. vätgasekonomin. Tanken bakom vätgasekonomin är att vätgas ska användas som energibärare. På detta sätt kommer man att kunna lagra elektrisk energi genom att producera vätgas av den el som inte används för stunden. Vätgasen lagras och används när behov uppstår för att producera el och värme i bränsleceller med vattenånga som enda biprodukt. Förutom att man har möjligheten att lagra elektrisk energi genom vätgasen kan vätgasen även transporteras långa sträckor med förhållandevis låga förluster i rörledningar. På det sättet kan man även välja att producera elektriciteten lokalt och reducera överföringar i högspänningsnätet vilket kan vara ett effektivt sätt att avlasta flaskhalsar i stamnäten. I det hela kommer man alltså få ett mer mångsidigt och flexibelt energiöverföringssystem som utnyttjar såväl befintlig som ny teknik och infrastruktur.[15][16]

Det finns idag en stor drivkraft som för vårt samhälle mot hållbar utveckling, användning av förnyelsebara bränslen för energiproduktion och ett oberoende av fossila bränslen. I framtiden kommer vi sannolikt att se ett energisystem uppbyggt av ett komplext nätverk med ett stort samspel mellan el och gas. En hel uppsjö av olika produktionsformer kommer i framtiden att tillgodose vår elproduktion. Sol-, vind-, våg-, vatten-, kärn-, kondens- och gaskraft kommer dels att producera el som direkt förs ut på elnätet, men kommer även att producera vätgas genom elektrolys som sedan lagras och transporteras i ett gasnät parallellt med elnätet. När det behövs kommer sedan el att produceras av vätgasen i bränsleceller och distribueras ut på elnätet. Förmodligen kommer det i framtiden även bli vanligare att konsumenterna själva har såväl sol och vindkraftverk som bränsleceller och vätgasproduktions och lagringsmöjligheter. [15][16]



Figur 10 Skiss över komplext energiförsörjningsnätverk med samverkan mellan gas och elektricitet. [15]

Då både solceller, vind-/ vågkraftverk, elektrolysrör och bränsleceller generellt producerar eller kräver likström för att fungera är det inte orimligt att anta att likströmmen kan spela en viktig roll inom såväl den lågspända som den högspända eldistributionen i ett framtida energisystem av den här typen. HVDC är redan på frammarsch för högspänd eldistribution. Vid en satsning på ett samverkande energisystem där förnybara bränslen och vätgas med bränsleceller har en framstående roll kan även LVDC bli en praktisk lösning för att reducera kostnader och förluster i den lågspända eldistributionen. Med ett väl utbyggt nät av LVDC-ledningar kan elektriciteten överföras som likström mellan t.ex. en solcellsanläggning till en elektrolysanläggning för vätgasproduktion. Förutom att man minskar antalet konverteringar mellan likström och växelström, och på så sätt reducerar förluster, så har LVDC-ledningarna högre överföringskapacitet vilket kan ge stora effektivitetsvinster. Det kommer antagligen att krävas en rejäl höjning av, den idag ganska begränsade, överföringskapaciteten i det lokala distributionsnätet om en storskalig decentralisering av elproduktionen blir verklighet. [15][16]

Apparaturer

Om LVDC byggs ut så att en betydande mängde av strömmen som går genom ledningarna blir likström ökar chansen att man vid en nybyggnation förbereder för indragning av likström eller faktiskt tar steget rakt ut och installerar ett likströmssystem i byggnaden. Om så skulle bli fallet hur skulle det då påverka våra apparater?

Nuförtiden är dem allra flesta apparater och maskiner vi har i våra hem från början designade för att gå på växelström. Men ett stort antal apparater använder sig av en likriktare för att göra om växelströmmen till likström.

Som det nämnts tidigare så går nästan alla elektriska apparater såsom tv, dator, stereo och dvd på likström egentligen. Eftersom de allra flesta elektroniska apparater inte har en regelrätt transformator utan de använder en SMPS (switched-mode power supply). En SMPS transformerar inte bara strömmen utan fungerar även som likriktare och då för ett brett band av inkommande spänningar. Även om många SMPSer bara anger att dem klarar av ett spektrum från 100V AC till 240V AC så klarar de flesta en större variation än så, de flesta klarar även av att hantera likström.

När det gäller belysning så fungerar de flesta lyskällor idag att använda med likström. Det krävs dock att man tillverkar lampan som ett motstånd. Ett problem med sådana likströmslampor är att de blir känsligare för stora spänningar. Vad gäller lysrör och lågenergilampor går det med en SMPS använda de både i likströmsmiljö som i ett växelströmsnät.

Stora delar av Sveriges hushåll använder fortfarande direktverkande el som uppvärmningssätt. Ofta är detta inget problem rent praktiskt då de flesta av radiatorerna som går på växelström skulle klara av en omställning till likström. Problemet med elradiatorer är istället att de inte är godkända för användning med likström och att strömbrytarna kanske inte klarar av att bryta likströmmen helt.

Stora hushållsmaskiner såsom tvättmaskiner och diskmaskiner använder ofta en motor som kräver växelström där skulle man behöva omvandla likströmmen till växelström för dessa maskiner. Induktionshällar behöver även dem en omvandlare för att fungera i en likströmmiljö.

Detta betyder alltså att det redan är fullt möjligt att ersätta växelström med likström i många applikationer men att det fortfarande är en bra bit kvar innan allt går på likström. Dock kan man ju poängtera att ju större andel likströmmen får ju större intresse lär tillverkare ha av att tillverka apparater, radiatorer och maskiner som klarar av likström. [17]

Slutsats

Det finns utan tvekan potential för likström i eldistributionsnätet. På högspänningssidan är utvecklingen långt gången och det finns en mängd projekt som är under konstruktion eller planerade. När det gäller lågspänd likström för lokal distribution finns det också stora möjligheter och vinsterna av att utveckla sådana system kan vara stora. En utveckling som kan vara till stor fördel för etableringen av LVDC-distributionsnät är den framtida vätgasekonomin. Här spelar likström en viktig roll i samspelet mellan elproduktion från förnyelsebara bränslen och vätgas produktion i kombination med bränsleceller för elproduktion. Det finns dock en hel del problem som behöver lösas innan likströmmen på allvar blir ett kostnadseffektivt alternativ till dagens växelströmsnät.

Vinsterna av att ha likström istället för växelström är huvudsakligen att överföringskapaciteten är högre, kabelkostnaderna blir lägre och man kan effektivisera elnätet. Det negativa med en övergång till likström är att det kommer bli otroligt dyrt att ersätta det befintliga systemet. Dessutom är LVDC-systemen mer komplicerade än AC-systemen vilket försvårar systemdriften.

Tentamensfråga

Vilka huvudsakliga fördelar har lågspänd likström i jämförelse med lågspänd växelström för lokal distribution?

Källförteckning

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_electric_power_transmission, hämtad 6/12-2009
- [2] <http://ne.se/lang/likstr%C3%B6m>, hämtad 6/12-2009
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/War_of_Currents, hämtad 6/12-2009
- [4] Föreläsning om eldistribution av Svend Fredriksen.
- [5] <http://www.abb.se/cawp/db0003db002698/4a887b82483de2c0c125733a00348d9c.aspx>, hämtad 6/12-2009
- [6] <http://www.abb.com/industries/se/9AAC30300393.aspx>, hämtad 6/12-2009
- [7] <https://w3.energy.siemens.com/cms/00000029/Pages/products.aspx?lang=en&partid=KN0301120203&uid=1349135416502304&country=ZZ>, hämtad 6/12-2009
- [8] www.ece.uidaho.edu/hvdcfacts/Projects/HVDCProjectsListingDec2006.pdf, hämtad 7/12-2009
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/Hvdc>, hämtad 7/12-2009
- [10] <http://www.svk.se/>, hämtad 6/12-2009
- [11] <http://www.eon.se/templates/Eon2TextPage.aspx?epslanguage=SV&id=48685>, hämtad 6/12-2009
- [12] P. Salonen, P. Nuutinen, P. Peltoniemi, J. Partanen, "LVDC Distribution System Protection – Solutions, Implementation and Measurements", artikel, 2009.
- [13] J. Lassila, T. Kaipia, J. Haakana, J. Partanen, K. Koivuranta, Potential and Strategic Role of Power Electronics in Electricity Distribution Systems, CIRED 2009.
- [14] J. Lassila, T. Kaipia, J. Haakana, J. Partanen, K. Koivuranta, POTENTIAL AND STRATEGIC ROLE OF POWER ELECTRONICS IN ELECTRICITY DISTRIBUTION SYSTEMS, CIRED 2009.
- [15] http://www.iva.se/upload/Verksamhet/Projekt/Energiframsyn/Overfor_O_lagring%20komplett3.pdf, hämtad 2/12-2006
- [16] http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_economy, hämtad 6/12-2009
- [17] P. Paaajanen, T. Kapia, J. Partanen, DC SUPPLY OF LOW-VOLTAGE ELECTRICITY APPLIANCES IN RESIDENTIAL BUILDINGS, CIRED 2009.