

**Energikompentens** En rapport från Svensk Energi

# Anslutning av större produktionsanläggningar till elnätet – ASP

Juni 2011

© Utges av Svensk Energi – Swedenergy – AB  
Beställningsnummer: 35136  
Utgåva 1, augusti 2011

# Anslutning av större produktionsanläggningar till elnätet - ASP

UTGÅVA 1

Svensk Energi  
augusti 2011





## Förord

Föreliggande elektroniska upplaga av handledning *Anslutning av större produktionsanläggningar till elnätet*, ASP är en omfattande revidering av tidigare utgåva (*Elforsk rapport 07:79*, december 2006).

Storleken på produktionsanläggningen, eller anläggningarna, avgör oftast om en anslutning skall ske mot region- eller lokalnät, men inte alltid. Även lokala nätförhållanden kan påverka vilket gör att mindre produktionsanläggningar anslutna till lokalnät kan ha en signifikant påverkan på regionnät.

Det går därför inte att avgränsa ASP-handledningen till en viss anläggningsstorlek utan ASP fokuserar på anslutningar av produktionsanläggningar med huvudsaklig inverkan på förhållandena i regionnätet.

Den reviderade ASP-handledningen utgör en del av den elektroniska handledningen för *Anslutning av elproduktion i elnätet*, som även innefattar handledning för *Anslutning av mindre produktionsanläggningar till elnätet*, AMP och handledning för *Anslutning av mikroproduktion*.

AMP-handledningen gäller för anslutningar av produktionsanläggningar med huvudsaklig inverkan på förhållandena i lokalnätet, dvs. där inverkan på regionnätet är försumbar och kan lämnas utan särskilt avseende.

Handledning för mikroproduktion gäller anslutningar av produktion via smältsäkring som är mindre än 63 A.

Det elektroniska formatet har valts för att lättare och snabbare kunna uppdatera handledningen med nytt och förändrat material. Speciellt gäller detta inom regelverksområdet där standarder och föreskrifter tillkommer eller förändras allt mer frekvent.

Användaren ska alltid kontrollera att senaste utgåvan av ASP används och ange version och datum om hänvisningar görs till dokumentet. Vidare är det alltid användarens skyldighet att kontrollera att de i ASP hänvisade standarder och föreskrifter är giltiga och att inga nya utgåvor har utkommit.

## Innehållsförteckning

|          |                                                                                             |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inledning</b>                                                                            | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>Regelverk, standarder och branschpraxis</b>                                              | <b>4</b>  |
| 2.1      | Ellagen                                                                                     | 4         |
| 2.2      | Undantag från kravet på nätkoncession Förordning (2007:215, 2008:897)                       | 8         |
| 2.3      | Miljöbalken (1998:808) och miljökonsekvensbeskrivningar Förordning (1998:905)               | 8         |
| 2.4      | CE-märkning och EG-direktiv                                                                 | 9         |
| 2.5      | Elsäkerhetsverkets föreskrifter om utformning och kontroll                                  | 10        |
| 2.6      | Svenska Kraftnäts föreskrift om driftsäkerhetsteknisk utformning av produktionsanläggningar | 11        |
| 2.7      | Standarder och branschpraxis                                                                | 13        |
| 2.7.1    | Standarder                                                                                  | 13        |
| 2.7.2    | Branschdokument                                                                             | 15        |
| 2.7.3    | Rutiner                                                                                     | 16        |
| <b>3</b> | <b>Administrativa anvisningar</b>                                                           | <b>17</b> |
| 3.1      | Förfrågan                                                                                   | 17        |
| 3.2      | Förstudie                                                                                   | 18        |
| 3.3      | Prisindikation                                                                              | 18        |
| 3.4      | Beställning av kritiska delarbeten                                                          | 19        |
| 3.5      | Offertförfrågan                                                                             | 19        |
| 3.6      | Offert och beställning                                                                      | 20        |
| 3.7      | Föranmälan                                                                                  | 20        |
| 3.8      | Installationsmedgivande                                                                     | 21        |
| 3.9      | Färdiganmälan och tillkoppling                                                              | 21        |
| <b>4</b> | <b>Dimensionering av produktionsanslutning</b>                                              | <b>22</b> |
| 4.1      | Installation och dimensionering                                                             | 24        |
| 4.2      | Jordning och åskskydd                                                                       | 24        |
| 4.3      | Termisk dimensionering                                                                      | 25        |
| 4.4      | Mekanisk dimensionering                                                                     | 25        |
| 4.5      | Långsamma spänningsändringar                                                                | 26        |
| 4.6      | Snabba spänningsändringar                                                                   | 27        |
| 4.7      | Övertoner och mellantoner                                                                   | 29        |
| 4.8      | Faskompensering                                                                             | 31        |
| 4.9      | Kommunikationskrav                                                                          | 32        |
| 4.10     | Drift- och underhållssäkerhet                                                               | 32        |
| 4.10.1   | Underhållsmässighet                                                                         | 32        |
| 4.10.2   | Underhållssäkerhet                                                                          | 32        |
| 4.10.3   | Funktionssäkerhet och tillgänglighet                                                        | 32        |
| <b>5</b> | <b>Säkerhet och skydd</b>                                                                   | <b>34</b> |
| 5.1      | Personsäkerhetsansvar                                                                       | 34        |
| 5.1.1    | Arbetsmiljölagen - Allmänna skyldigheter                                                    | 34        |
| 5.1.2    | Elsäkerhet vid elarbeten i produktionsanläggning                                            | 35        |
| 5.2      | Anläggningsansvar                                                                           | 35        |
| 5.3      | Behörighetsansvar                                                                           | 35        |
| 5.4      | ESA – Elsäkerhetsanvisningar                                                                | 36        |
| 5.5      | Reläskydd och felbortkoppling                                                               | 37        |
| 5.5.1    | Över- respektive underfrekvensskydd                                                         | 38        |
| 5.5.2    | Trefasigt över- respektive underspänningsskydd                                              | 38        |
| 5.5.3    | Effektriaktrelä (bakeffektskydd)                                                            | 39        |
| 5.5.4    | Osymmetriskydd                                                                              | 39        |
| 5.5.5    | Kortslutningsskydd                                                                          | 39        |
| 5.5.6    | Jordfelsskydd                                                                               | 40        |

|          |                                                                 |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.5.7    | Skydd mot oönskad ödrift .....                                  | 41        |
| 5.6      | Övriga skyddskrav och skyddsanordningar .....                   | 42        |
| <b>6</b> | <b>Mätning</b> .....                                            | <b>43</b> |
| 6.1      | Myndighetskrav .....                                            | 43        |
| 6.1.1    | Installationsbestämmelser .....                                 | 43        |
| 6.1.2    | Arbete enligt ESA (Elsäkerhetsanvisning) .....                  | 44        |
| 6.1.3    | Personsäkerhet vid användning av mätutrustning .....            | 44        |
| 6.2      | Mätning av överförd el .....                                    | 44        |
| 6.3      | Ackreditering för kontroll av mätare och mätsystem .....        | 46        |
| 6.4      | Mätning för elcertifikat .....                                  | 46        |
| 6.5      | Byte av effektriktning .....                                    | 46        |
| <b>7</b> | <b>Drift av produktionsanläggning</b> .....                     | <b>47</b> |
| 7.1      | Reaktivt effektutbyte och spänningshållning .....               | 47        |
| 7.2      | Störningstålighet .....                                         | 48        |
| 7.3      | Start och stopp av elproduktionen .....                         | 49        |
| 7.4      | Nedstyrning vid nätproblem .....                                | 49        |
| 7.5      | Ödrift .....                                                    | 49        |
| <b>8</b> | <b>Bilagor</b> .....                                            | <b>51</b> |
| Bilaga 1 | Ordförklaringar                                                 |           |
| Bilaga 2 | Sammanställning av regelverk, standards och branschpraxis       |           |
| Bilaga 3 | Härledning av ekvationer för dimensionering av elnätet          |           |
| Bilaga 4 | Analysmetoder                                                   |           |
| Bilaga 5 | Offertförfrågan för anslutning av vinkraftverk / AMP-blanketten |           |

## 1 Inledning

Redan 1996 beslöt regeringen om en ökad satsning på förnybar elproduktion. Vind, vatten, biobränsle och sol utpekades i förslaget som viktiga energikällor för ändamålet. Utvecklingen mot förnybar elproduktion drivs nu särskilt av EU:s mål till 2020 gällande klimat och förnybar energi, men också av nationella mål och ambitioner. Vindkraften har visat sig spela en stor roll för planeringen av det framtida energisystemet.

Svensk Energi gör bedömningen att det krävs 15-20 TWh vindkraft i det svenska energisystemet år 2020 för att Sverige skall klara sin del av EU:s förnyelsebarhetsmål.

Detta innebär att elnäten kommer att genomgå stora förändringar på kort sikt. Produktionskällor kommer att bli allt mer vanligt förekommande inom alla spänningsområden och i alla typer av nät, vilket i sin tur medför ökade krav på elnäten och elnätsföretagen. Goda vindlägen finns oftast på perifera platser som kuster, öar och fjällområden. Bebyggelsen i sådana områden är normalt gles med följd att elnätet oftast har en begränsad kapacitet. Detta i kombination med återkommande start och stopp av kraftverken samt överföring av stora mängder elenergi påverkar elnätet.

Vid alla förändringar av kraftsystemets utnyttjande måste nätägaren skaffa sig ett underlag för beslut om vilka förstärkningsåtgärder som krävs för att upprätthålla en fullgod service till samtliga nätkunder. Detta inkluderar såväl anslutning av konsumerande kunder som anslutning av producerande kunder. Kostnaderna för eventuella förstärkningar ska också ligga till grund för den anslutningsavgift som exploatören ska betala.

En grundläggande del av en elektrisk produktionsanläggning utgörs av den del där anläggningen ansluts till elnätsföretagets nät och där mätning sker. Anslutningen och mätsystemets utförande samt rutiner för anmälan och idrifttagning är viktiga faktorer för rationell och säker anslutning av en produktionsanläggning. Denna handledning utgör, förutom ett hjälpmedel för elnätsföretaget vid bedömningen av åtgärder vid anslutningen av anläggningen till distributionsnätet, också en kravspecifikation för de skydd elnätsföretaget bör kräva för att systemet ska ha ett fullgott skydd vid fel i produktionsanläggningen eller i elnätet. Rekommendationerna är tillämpbara för samtliga typer av produktionsanläggningar, även om de kritiska faktorerna kan variera.

Föreliggande ASP-handledning, *Anslutning av större produktionsanläggningar till elnätet*, är en omfattande revidering av tidigare utgåva (*Elforsk rapport 07:79*, december 2006). ASP gäller för anslutningar av produktionsanläggningar med huvudsaklig inverkan på förhållandena i regionnätet.

## 2 Regelverk, standarder och branschpraxis

Avsnittet om regelverk, standarder och branschpraxis är avsett att lyfta fram och belysa det huvudsakliga innehållet i de viktigaste delarna, samt för att lotsa läsaren vidare till relevant källmaterial. För detaljer och fullständighet hänvisas till de olika bakomliggande dokumenten.

Elnätsföretagens och kraftverksägares rättigheter och skyldigheter regleras i allmänna ordalag i ellagen. Eftersom nätverksamhet är koncessionspliktig och därmed monopol, blir den med nödvändighet relativt hårt reglerad. Energimarknadsinspektionen är den myndighet som utövar tillsyn över elnätsföretagens nätverksamhet.

Svenska Kraftnät har, i sin egenskap av systemansvarig myndighet, givit ut föreskriften SvKFS 2005:2, *Affärsverket svenska kraftnäts föreskrifter och allmänna råd om driftsäkerhetsteknisk utformning av produktionsanläggningar*. Där specificeras olika krav för olika produktionsslag och olika anläggningsstorlekar. Kraven är utformade för att produktionsanläggningarna ska bidra till att upprätthålla en säker drift av rikets elförsörjning. Svenska Kraftnät är som systemansvarig myndighet, i princip berörd av alla produktionsanläggningar i landet.

Elsäkerhetsverket utövar tillsyn av elektriska starkströmsanläggningar och ger ut föreskrifter om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda (*ELSÄK-FS 2008:1*), och om hur innehavaren ska kontrollera elektriska starkströmsanläggningar och elektriska anordningar (*ELSÄK-FS 2008:3*). Elsäkerhetsverket ger även ut föreskrifter om elektromagnetisk kompatibilitet (*ELSÄK-FS 2007:1*) och om varselmärkning vid elektriska starkströmsanläggningar (*ELSÄK-FS 2008:2*).

Speciellt inom områdena elkvalitet och elektromagnetisk kompatibilitet finns utarbetade standarder och branschpraxis, t.ex. *Vindkraftverk – Del 21: Mätning och bedömning av elkvalitet för nätanslutna aggregat* (SS-EN 61400-21), *Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) - Del 4-30: Mät- och provningsmetoder – Mätning av spänningsgodhet och elkvalitet* (SS-EN 61000-4-30), och *Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) – Del 2-2: Miljöförhållanden – Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer på elnät* (SS-EN 61000-2-2). Svenska Kraftnät och andra nätägare tillämpar även tekniska riktlinjer av olika slag för att hålla en tillräckligt hög och jämn kvalitet på sina egna nät och stationer, samt på andra anläggningar anslutna till det elektriska kraftsystemet.

I *bilaga 2* återfinns en sammanställning av alla de regelverk, standarder och branschpraxis som nämns i ASP.

### 2.1 Ellagen

*Ellagen* är den mest grundläggande och minst detaljerade delen av det regelverk som styr anslutning och drift av elektriska produktionsanläggningar. Lagarna ändras sällan och de ska ligga till grund för mer detaljerade regler, därav har *Ellagen* en central betydelse för förståelsen av efterföljande förordningar och föreskrifter. Nedanstående citat från *Ellagen* ger bakgrunden till flera av de regler som ASP hänvisar till.

### **Nätkoncession mm, Allmänt om nätkoncession**

Ellagen 2 kap, 1 §, 2 § (1997:857)

*"En elektrisk starkströmsledning får inte byggas eller användas utan tillstånd (nätkoncession) av regeringen. Till byggandet av en ledning räknas även schaktning, skogsavverkning eller liknande åtgärder för att bereda plats för ledningen. Regeringen får bemyndiga nätmyndigheten att pröva frågor om nätkoncession som inte avser en utlandsförbindelse."*

*"En nätkoncession skall avse en ledning med i huvudsak bestämd sträckning (nätkoncession för linje) eller ett ledningsnät inom ett visst område (nätkoncession för område). I ett beslut om nätkoncession för område skall en högsta tillåtna spänning för ledningsnätet anges."*

### **Nätverksamhet mm, Inledande bestämmelse**

Ellagen 3 kap, 1 § (2005:404)

*"Ett företag som bedriver nätverksamhet ansvarar för drift och underhåll och, vid behov, utbyggnad av sitt ledningsnät och, i tillämpliga fall, dess anslutningar till andra ledningsnät. Företaget svarar också för att dess ledningsnät är säkert, tillförlitligt och effektivt och för att det på lång sikt kan uppfylla rimliga krav på överföring av el."*

### **Skyldighet att ansluta anläggning**

Ellagen 3 kap, 6 §, 7 §, 8 § (2005:404)

*"Den som har nätkoncession för linje är, om det inte finns särskilda skäl, skyldig att på skäliga villkor ansluta en elektrisk anläggning till ledningen."*

*"Den som har nätkoncession för område är, om det inte finns särskilda skäl, skyldig att på skäliga villkor ansluta en elektrisk anläggning inom området till ledningsnätet."*

*"Vill någon ansluta en elektrisk anläggning till en ledning som omfattas av en nätkoncession för linje i stället för till ett ledningsnät som omfattas av en nätkoncession för område, får den som har nätkoncession för linje göra anslutningen endast efter medgivande av den som har nätkoncession för området."*

### **Skyldighet att överföra el**

Ellagen 3 kap, 9 § (2005:1110)

*"Den som har nätkoncession är skyldig att på skäliga villkor överföra el för annans räkning. Överföringen av el skall vara av god kvalitet."*

*"En nätkoncessionshavare är skyldig att avhjälpa brister hos överföringen i den utsträckning kostnaderna för att avhjälpa bristerna är rimliga i förhållande till de olägenheter för elanvändarna som är förknippade med bristerna."*

### **Ersättning vid inmatning av el**

Ellagen 3 kap, 15 § (2002:121)

*"Innehavare av en produktionsanläggning har rätt till ersättning av den nätkoncessionshavare till vars ledningsnät anläggningen är ansluten. Ersättningen skall motsvara*

- 1. värdet av den minskning av energiförluster som inmatningen av el från anläggningen medför i nätkoncessionshavarens ledningsnät, och*
- 2. värdet av den reduktion av nätkoncessionshavarens avgifter för att ha sitt ledningsnät anslutet till en annan nätkoncessionshavares ledningsnät som blir möjlig genom att anläggningen är ansluten till ledningsnätet."*

*Regeringen får meddela närmare föreskrifter om beräkningen av ersättningen."*

#### **Nättariffer, Allmänt om nättariffer**

Ellagen 4 kap, 1 § - 9a § (2009:892) – Träder i kraft 2012-01-01

*"Nättariffer ska vara objektiva och icke-diskriminerande."*

*"Nättariffer för överföring av el skall utformas så, att betald anslutningsavgift ger rätt att använda det elektriska nätet inom landet, med undantag för utlandsförbindelserna."*

*"Nättariffer för överföring av el för område får inte utformas med hänsyn till var inom området en anslutning är belägen."*

Lagtexten poängterar särskilt att nättariffen för överföring inom en viss spänningsnivå inte får utformas med hänsyn till var en viss uttagspunkt är belägen. I detta sammanhang nämns däremot ingenting om tariffens utformning för inmatningspunkter:

*"På en regionledning får inte nättariffen för överföring av el på varje spänningsnivå utformas med hänsyn till var en uttagspunkt är belägen i förhållande till ledningens anslutning till en annan nätkoncessionshavares ledning som omfattas av nätkoncession för linje."*

*"På en regionledning ska inom varje normalt spänningsintervall nättariffen utformas utifrån nätkoncessionshavarens kostnader för samtliga regionledningar i hela landet som kan hänföras till respektive spänningsintervall."*

*"På en stamledning får nättariffen för överföring av el utformas med hänsyn till var på nätkoncessionshavarens ledningsnät en anslutningspunkt är belägen."*

*"En nättariff för anslutning till en ledning eller ett ledningsnät ska utformas så att nätkoncessionshavarens skäliga kostnader för anslutningen täcks. Anslutningspunktens geografiska läge och den avtalade effekten i anslutningspunkten ska särskilt beaktas."*

#### **Tidplan för handläggning och anslutning av elproduktionsanläggning** Ellagen 4 kap, 12§ (2010:602)

*"En nätkoncessionshavare som har tagit emot en ansökan om anslutning av en elproduktionsanläggning ska ange en tidsplan för handläggningen av ansökan."*

*"När uppgift lämnas i fråga om anslutning av en elproduktionsanläggning, ska nätkoncessionshavaren även ange en tidsplan för anslutningen."*

#### **Kostnader för teknisk anpassning vid anslutning till elnätet**

Ellagen 4 kap, 13 § (2010:602)

*"Den som har nätkoncession ska offentliggöra principer för hur kostnaderna för teknisk anpassning ska fördelas vid anslutning till elnätet."*

#### **Skyddsåtgärder**

Ellagen 9 kap, 1 § (1997:857) och 2 § (2007:217)

*"Elektriska anläggningar, elektriska anordningar avsedda att anslutas till sådana anläggningar, elektrisk materiel och elektriska installationer skall vara så beskaffade och placerade samt brukas på sådant sätt att betryggande säkerhet ges mot person- eller sakskada eller störning i driften vid den egna anläggningen eller vid andra elektriska anläggningar."*

*Regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får, i den mån det behövs från elsäkerhetssynpunkt, meddela föreskrifter om kontroll, provning eller besiktning samt andra föreskrifter som rör elektriska anläggningar, anordningar avsedda att anslutas till sådana anläggningar, elektrisk materiel eller elektriska installationer.*

*Om en elektrisk anläggning genom inverkan på en redan befintlig sådan anläggning kan vålla person- eller sakskada eller störning i driften, svarar innehavaren av den förstnämnda anläggningen för de åtgärder som behövs vid hans anläggning för att förebygga sådan skada eller störning.”*

#### **Ansvar för skada genom inverkan av el från starkströmsanläggning** Ellagen 10 kap, 1 § (207:217)

*”Har någon tillfogats person- eller sakskada genom inverkan av el från en starkströmsanläggning, skall skadan, även om det inte följer av allmänna skadeståndsbestämmelser, ersättas av innehavaren av den starkströmsanläggning från vilken elen senast kommit.*

*Ansvar enligt första stycket gäller inte*

- 1. den som innehar en starkströmsanläggning för produktion av el där generatoren har en märkeffekt om högst 50 kilovoltampere,*
- 2. den som innehar en starkströmsanläggning som är avsedd för användning av el och som tillförs el med en spänning av högst 250 volt mellan en ledare och jord eller, vid icke direkt jordat system, mellan två ledare,*
- 3. om skadan skett på en annan elektrisk anläggning eller en naturgasledning, för vilken det krävs koncession enligt naturgaslagen (2005:403), eller*
- 4. om den elektriska anläggningen utgörs av en inrättning för godsbefordran eller är avsedd för en sådan inrättnings behov och skada uppkommit på egendom som har blivit mottagen för sådan befordran. Lag (2007:217).”*

#### **Produktansvar**

Ellagen 10 kap, 2-3 § (1997:857)

**”2 §** *Om en skada orsakas av säkerhetsbrist i el som har satts i omlopp från en elektrisk anläggning med egen generator eller transformator är innehavaren, om inte annat följer av 3 §, skyldig att betala skadestånd för personskada samt för sakskada på egendom som till sin typ vanligen är avsedd för enskilt ändamål, om den skadelidande vid tiden för skadan använde egendomen huvudsakligen för sådant ändamål.  
Med säkerhetsbrist avses att elen inte är så säker som skäligen kan förväntas.  
Avtalsvillkor som inskränker skadeståndsskyldigheten är utan verkan.*

**3 §** *Skadeståndsskyldig enligt 2 § är inte den som*

- 1. visar att han inte har satt elen i omlopp i en näringsverksamhet,*
- 2. gör sannolikt att säkerhetsbristen inte fanns när han satte elen i omlopp,*
- 3. visar att säkerhetsbristen beror på att elen måste stämma överens med tvingande föreskrifter som har meddelats av en myndighet, eller*
- 4. visar att det på grundval av det vetenskapliga och tekniska vetandet vid den tidpunkt då han satte elen i omlopp inte var möjligt att upptäcka säkerhetsbristen.”*

#### **Skadestånd vid driftstörning**

Ellagen 10 kap, 4 § (1997:857)

*”Har driften vid en elektrisk anläggning störts genom inverkan av el från en annan sådan anläggning och vållar störningen personskada, sakskada eller ren förmögenhetsskada, skall innehavaren av sistnämnda anläggning ersätta skadan, om störningen har uppstått till följd av uppsåt eller vårdslöshet från hans sida.”*

## **2.2 Undantag från kravet på nätkoncession Förordning (2007:215, 2008:897)**

Regeringen har förskrivit undantag från ellagens allmänna krav på att en elektrisk starkströmsanläggning inte får byggas eller användas utan tillstånd (nätkoncession). Undantaget gäller för lokala ledningsnät vars enda uppgift är att koppla ihop ett antal produktionsenheter inom en större grupp för att sedan ansluta till en gemensam punkt i en nätägarens nät. Ett sådant lokalt ledningsnät kan få uppföras och ägas av ett produktionsföretag utan krav på formell koncession. Nätet måste emellertid uppfylla alla tillämpliga myndighetskrav. Även anslutningsledningen från produktionsgruppen till anslutningspunkten mot ovanliggande nät kan ingå i ett sådant icke koncessionspliktigt nät om anslutningsledningen är tillräckligt kort.

Tre kriterier kan ställas upp för när ledningar skulle kunna undantas från kravet på koncession.

Det första kriteriet är att ledningen eller ledningsnätet är ett internt nät dvs. att innehavaren överför el för egen räkning. Oftast rör det sig om nät som har en begränsad omfattning och befinner sig på privat område. Ett sådant nät medför inte heller något intrång i nätkoncessionshavarens ensamrätt att överföra el för annans räkning inom koncessionsområdet.

Det andra kriteriet är att ett internt nät inte får ha alltför stor utbredning. Koncessionsplikten syftar till en långsiktigt effektiv nätutbyggnad till lägsta samhällskostnad, varvid parallella nät bör undvikas. Ett stort internt nät skulle kunna skapa svårigheter för koncessionshavaren att bygga ut sitt nät på ett rationellt sätt. Detta blir främst aktuellt om kunder inom området för det interna nätet eller bortom detta skall anslutas till lokalnätet.

Det tredje kriteriet gäller för interna nät inom en viss angiven typ av område. Dessa typer av områden är listade i förordningen (2007:215), men grundläggande är att det lätt går att fastställa områdets belägenhet och utbredning, dvs. att det enkelt går att konstatera var gränsen mellan området och övrig mark går. Området skall vara väl avgränsat. Vidare får ett internt nät som förbinder två eller flera elektriska anläggningar för produktion, vilka utgör en funktionell enhet, byggas och användas utan nätkoncession (förordning 2008:897).

## **2.3 Miljöbalken (1998:808) och miljökonsekvens- beskrivningar Förordning (1998:905)**

Bestämmelserna i miljöbalken syftar till att främja en hållbar utveckling som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö. En sådan utveckling bygger på insikten att naturen har ett skyddsvärde och att människans rätt att förändra och bruka naturen är förenad med ett ansvar för att förvalta naturen väl.

Miljöbalken skall tillämpas så att

1. människors hälsa och miljön skyddas mot skador och olägenheter oavsett om dessa orsakas av föroreningar eller annan påverkan,
2. värdefulla natur- och kulturmiljöer skyddas och vårdas,
3. den biologiska mångfalden bevaras,
4. mark, vatten och fysisk miljö i övrigt används så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas, och

5. återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås.

En miljökonsekvensbeskrivning skall ingå i en ansökan om tillstånd att anlägga, driva eller ändra verksamheter som orsakar miljöskador. Syftet med en miljökonsekvensbeskrivning för en verksamhet eller åtgärd är att identifiera och beskriva de direkta och indirekta effekter som den planerade verksamheten eller åtgärden kan medföra dels på människor, djur, växter, mark, vatten, luft, klimat, landskap och kulturmiljö, dels på hushållningen med mark, vatten och den fysiska miljön i övrigt, dels på annan hushållning med material, råvaror och energi. Vidare är syftet att möjliggöra en samlad bedömning av dessa effekter på människors hälsa och miljön.

Kravet på en miljökonsekvensbeskrivning vid byggande av nya elledningar kan delas upp i två kategorier:

1. För byggande av ledning som ingår i elnätsföretagets områdeskoncession krävs vanligtvis ingen miljökonsekvensbeskrivning, men skall vid vissa tillfällen upprättas. Om påverkan på naturen blir stor skall man göra en anmälan om samråd enligt miljöbalkens 12 kap. 6 §.
2. För byggande av ledning som kräver linjekoncession skall en miljökonsekvensbeskrivning upprättas enligt ellagen 2 kap. 8a §.

Miljökonsekvensbeskrivningen ska föregås av ett samråd, med länsstyrelsen, tillsynsmyndigheten och de enskilda som kan antas bli särskilt berörda, om verksamheten eller åtgärden kräver tillstånd eller beslut om tillåtlighet enligt miljöbalken eller enligt föreskrifter som har meddelats med stöd av miljöbalken. Samrådet ska genomföras i god tid och i behövlig omfattning innan en ansökan om tillstånd görs och innan miljökonsekvensbeskrivningen upprättas. Samrådet ska avse verksamhetens eller åtgärdens lokalisering, omfattning, utformning och miljöpåverkan samt miljökonsekvensbeskrivningens innehåll och utformning.

## 2.4 CE-märkning och EG-direktiv

Produkter som omfattas av EG-direktiv skall vara försedda med CE-märkning. CE-märkningen är tillverkarens, eller importörens, sätt att enkelt informera kunden om att produkten överensstämmer med kraven i applicerbara EG-direktiv. De EG-direktiv som är av intresse i kontakten mellan nätägare och innehavaren av en elproduktionsanläggning är främst maskindirektivet och EMC-direktivet. I regel omfattas samtliga elproduktionsanläggningar av något av dessa direktiv och skall i så fall vara försedda med CE-märkning. För elproduktionsanläggningar där produktionsenhet och omriktare säljs separat skall båda dessa enheter vara CE-märkta.

### Maskindirektivet 2006/42/EG

Maskindirektivet anger vilka grundläggande hälso- och säkerhetskrav som gäller för maskiner som släpps ut på marknaden inom EU. Genom att följa de harmoniserade standarder som utarbetats för att precisera kraven i maskindirektivet förutsätts man uppfylla maskindirektivets grundläggande hälso- och säkerhetskrav. Som maskin räknas den funktionella enheten som omger generatoren såväl mekaniskt som elektriskt. För vindkraftverk inkluderar detta torn, maskinhus, fundament och tillhörande nätstation om den placeras i anslutning till vindkraftverket. Varje vindkraftverk i en grupp är en separat maskin.

## **EMC-direktivet 2004 / 108 / EG**

Bestämmelserna i EMC-direktivet gäller utrustnings elektromagnetiska kompatibilitet. Syftet är att säkerställa EU-marknadens funktion genom krav på att utrustning skall överensstämja med en adekvat nivå av elektromagnetisk kompatibilitet.

De viktigaste EMC-kraven delas upp i skyddskrav och särskilda krav för fasta installationer.

### 1. Skyddskrav

Utrustning skall med beaktande av aktuell tillämpbar teknik vara så konstruerad och tillverkad att

- a) den elektromagnetiska störning den alstrar inte överskrider den nivå över vilken radio- och teleutrustning eller annan utrustning inte kan fungera som avsett,
- b) den har en sådan tålighet mot den elektromagnetiska störning som kan förväntas vid avsedd användning att dess avsedda funktion inte i oacceptabel utsträckning försämras.

### 2. Särskilda krav för fasta installationer

En fast installation skall installeras enligt god branschpraxis och i enlighet med informationen om hur dess komponenter är avsedda att användas för att uppfylla skyddskraven enligt punkt 1. God branschpraxis skall dokumenteras och den eller de ansvariga personerna skall hålla dokumentationen tillgänglig för kontroll för berörda nationella myndigheter så länge som den fasta installationen är i drift. All elproduktion ska vara fast ansluten.

## **2.5 Elsäkerhetsverkets föreskrifter om utformning och kontroll**

I starkströmsförordningen (SFS 2009:22) föreskrivs att Elsäkerhetsverket är tillsynsmyndighet (enligt ellagen (1997:857) 12 kap. 1§ första stycket) när det gäller frågor om elsäkerhet. Elsäkerhetsverket får därför, i den utsträckning som behövs för att förebygga person- eller sakskada på grund av el, meddela föreskrifter om utförande av elektriska anläggningar och anordningar, samt kontroll och provning av sådana anläggningar och anordningar. För anslutning av större produktionsanläggningar till elnätet är det främst följande delar av starkströmsföreskrifterna som är av intresse:

- Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda (ELSÄK-FS 2008:1, 2010:1).
- Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om innehavarens kontroll av elektriska starkströmsanläggningar och elektriska anordningar (ELSÄK-FS 2008:3, 2010:3).
- Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om elsäkerhet vid arbete i yrkesmässig verksamhet (ELSÄK-FS 2006:1).

Elsäkerhetsverket har även gett ut en särskild föreskrift om elektromagnetisk kompatibilitet:

- Elsäkerhetsverkets föreskrifter om elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) (ELSÄK-FS 2007:1)

## **2.6 Svenska Kraftnäts föreskrift om driftsäkerhetsteknisk utformning av produktionsanläggningar**

I föreskriften (SvKFS 2005:2) ställs krav på viss teknisk dimensionering av produktionsanläggningar för att skapa de nödvändiga förutsättningarna för driftsäkerhet i det nationella systemet. Föreskriften gäller anläggningar från och med 1,5 MW och oavsett spänningsnivå för anslutningspunkten. I föreskriften ställs krav på störningstålighet (ibland kallad fault-ride-through), spänningsreglering, effektregering, avställning och start efter yttre spänningslöshet, kommunikation och styrbarhet samt verifiering och dokumentation. Kraven varierar beroende på produktionsanläggningens typ och storlek.

### **Störningstålighet**

Produktionsanläggningar ska kunna upprätthålla utmatning av effekt för stationära avvikelser i frekvens och/eller spänning, som varierar i intervallerna 47,5-52,5 Hz och 85-110% av nominell spänning. I vissa av intervallens utkanter krävs endast drift under viss tid och/eller med reducerad effektutmatning. För anläggningar upp till 25 MW gäller spänningsintervallet 90-105% av nominell spänning.

Spänningsvariationer i samband med kortslutningar i det angränsande maskade stamnätet, med en varaktighet upp t.o.m. 250 ms, får inte leda till produktionsbortkoppling. Vidare ska produktionsanläggningar, med bibehållen nätanslutning, klara de variationer i spänningen, på en eller flera faser, som kan uppträda vid momentant bortkopplade fel i det anslutande maskade nätet.

Samtliga produktionsanläggningar ska vidare klara bibehållen drift vid kortvariga spänningsvariationer, som kan uppträda i nätet i samband med vanligt förekommande händelser, såsom åskfel och kopplingar.

### **Spänningsreglering**

Produktionsanläggningar, utom direktanslutna asynkrongeneratorer skall ha automatisk spänningsreglering för att bidra till stabiliseringen av spänningen vid störda förhållanden. Spänningsregleringen ska kunna arbeta med en karakteristik (en reaktiv reglerstyrka uttryckt i Mvar/kV).

Vindkraftgrupper skall utformas så att det reaktiva utbytet kan regleras till noll.

För enskilda synkrongeneratorer större än 75 MVA i stora anläggningar, ska spänningsregleringen vara försedd med dämpfunktion.

### **Effektregering**

Vindkraftaggregat ingående i vindkraftgrupp skall ha individuell möjlighet till inställning av den nivå då aggregatet automatiskt stoppas på grund av yttre omständigheter. Vid stopp på grund av för stark vind får inte alla vindkraftaggregat i en vindkraftgrupp stoppas samtidigt och högst 30 MW/minut får kopplas bort. Vid start av vindkraftaggregat ingående i vindkraftgrupp bör inte alla vindkraftaggregat startas samtidigt. Högst 30 MW/minut bör inkopplas när vindkraftgrupp startas.

Det ska vara möjligt att kontrollera produktionen från vindkraftgrupp så att produktionen inte överstiger ett bestämt effektvärde (MW). Effektvärdet ska kunna vara reglerbart med en utifrån kommande signal. Det ska vara möjligt att ändra i regleralgoritmen. Produktionen skall kunna regleras så snabbt att den reduceras till under 20% av maximal effekt inom 5 sekunder.

## **Avställning och start**

Stora värmekraftblock skall vara konstruerade för att kunna bortkopplas automatiskt från yttre nät och gå över till husturbindrift vid stora spännings- eller frekvensavvikelser. Husturbindrift ska kunna upprätthållas i minst 12 timmar.

Vid spänningsbortfall i det anslutande nätet, inklusive yttre lokalkraftförsörjning, skall minst ett aggregat i stora och medelstora vattenkraftstationer, som bortkopplats genom driftstörningen, kunna vara tillgängliga för att omedelbart påbörja startförlopp för infasning mot yttre nätet och pålastning, om spänningen återkommer inom 12 timmar i anslutande nät.

Stora och medelstora gasturbinaggregat skall kunna vara tillgängliga för start och infasning inom fem minuter efter spänningsbortfall, oberoende av om aggregatet varit i drift före spänningsbortfallet.

## **Kommunikation**

Stora och medelstora anläggningar, skall vara utrustade på ett sådant sätt att realtidsinformation rörande spänning, aktiv och reaktiv effekt, driftstatus och reglerförmåga kan göras tillgänglig för Svenska Kraftnät.

Stora och medelstora anläggningar skall vara utrustade på ett sådant sätt att de inom 15 minuter efter att en driftstörning inträffat och även därefter kan styras manuellt, antingen genom fjärrkontroll eller genom lokalkontroll. Styrningen skall möjliggöra tillkoppling till elnätet, frångoppling från elnätet samt reglering av aktiv och reaktiv effekt. Manuella åtgärder skall kunna vidtas även i de fall eventuella återuppbyggnadsautomatiker inte fungerar. Med reglering i denna bestämmelse avses att kunna sätta börvärde och ändra reglerautomatikernas funktion.

## **Verifiering och dokumentation**

En produktionsanläggnings förmåga att uppfylla föreskriftens krav skall vara verifierad. Verifiering av att en produktionsanläggning uppfyller de krav som ställs i föreskriften kan ske på olika sätt, exempelvis genom fullskaleprov, tekniska beräkningar, simuleringar och reläinställningsplaner. Fullskaleprov är det bästa och mest tillförlitliga alternativet. Vissa krav som anges i föreskriften är dock av sådan art att fullskaleprov i praktiken inte låter sig göras. Det kan exempelvis vara prov som skulle innebära onödigt stora påfrestningar på elsystemet, eller prov som kan anses påverka en anläggnings tekniska livslängd negativt. Då fullskaleprov inte är lämpliga kan andra verifieringsmetoder tillämpas.

En produktionsanläggnings konstruktion och däri ingående apparaters tekniska data skall vara dokumenterade. Då Svenska Kraftnät begär det skall dokumentation tillställas Svenska Kraftnät om de tekniska data som är relevanta för föreskrifternas reglerande funktioner. Vid förändring av tekniska data skall Svenska Kraftnät informeras om detta.

## **Undantag**

Svenska Kraftnät får efter ansökan medge undantag från föreskrifterna, för viss anläggning, om det föreligger ekonomiska eller andra skäl att undanta anläggningen helt eller delvis från bestämmelserna i föreskrifterna och anläggningens innehavare kan visa att en avvikelse från ett eller flera krav inte har någon påtaglig negativ betydelse för driftsäkerheten i det nationella elsystemet.

## 2.7 Standarder och branschpraxis

För att på ett enhetligt, samordnat och tekniskt realiserbart sätt uppfylla de krav som i det tvingande regelverket ofta är uttryckt i relativt allmänna termer om säkerhet för människors liv och hälsa, skydd för naturen, produktansvar och leveranskvalitet, har ett stort antal standarder utarbetats. I vissa viktigare frågeställningar saknas gällande standard och istället refereras till en för varje tid gällande branschpraxis, som i större eller mindre grad antas motsvara vad som är acceptabla lösningar inom verksamhetsområdet. Standarder och branschpraxis kan sägas beskriva en rådande samsyn om hur man uppfyller krav i lagar och förordningar. I andra mindre kritiska frågeställningar lämnas ett större spelrum för branschens aktörer att finna egna och olika vägar, såväl gällande tekniska krav och lösningar som administrativ hantering.

Svenska Kraftnät (SvK) och andra nätägare tillämpar även tekniska riktlinjer av olika slag för att hålla en tillräckligt hög och jämn kvalitet på sina egna nät och stationer, samt på andra anläggningar anslutna till det elektriska kraftsystemet. Ett exempel på en sådan riktlinje är SvK:s TR6-02, *Tekniska riktlinjer för elkvalitet – Del 2: Planerings- och emissionsnivåer, mätmetoder och ansvarsfördelning avseende elkvalitet i stamnätet*. Även om riktlinjen enbart gäller för stamnätet, så kan delar av den mycket väl vara tillämpliga även på lägre spänningsnivåer.

### 2.7.1 Standarder

Nedan presenteras några viktiga standarder i samband med nätanslutning av produktionsanläggningar. Notera att dessa samt några ytterligare lämpliga standarder finns sammanställda i *bilaga 2*.

#### **SS-EN 50110-1: Skötsel av elektriska anläggningar**

Standarden gäller all skötsel av och allt arbete på eller nära elektriska starkströmsanläggningar oberoende av spänning, och ligger till grund för branschpraxisen ESA.

#### **SS-EN 50160: Spänningens egenskaper i elnät för allmän distribution**

Standarden definierar, beskriver och specificerar huvudegenskaperna hos spänningen i en elnätanvändares anslutningspunkt i ett allmänt distributionsnät för låg- och mellanspänning under normala driftförhållanden. Standarden beskriver de gränser mellan vilka spänningens egenskaper kan förväntas bibehållas sett över hela det publika elnätet, vilket dock inte innebär en beskrivning av en medelsituation som vanligen kan förväntas hos en enskilda elnätanvändare. Standardens ändamål är att definiera och beskriva egenskaperna hos matningsspänningen beträffande frekvens, storlek, kurvform och symmetri mellan fasspänningarna.

#### **SS-EN 61400-21: Vindkraftverk – Del 21: Mätning och bedömning av elkvalitet för nätanslutna aggregat**

Standarden finns tillgänglig på engelska (IEC standard) och beskriver karakteristiska elkvalitetsparametrar för vindkraftverk, standardiserade testprocedurer och underlag för bedömning av elkvaliteten.

### **SS-EN 61000-4-30: Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)- Del 4-30: Mät- och provningsmetoder – Mätning av spänningsgodhet och elkvalitet**

Standarden finns tillgänglig på engelska (IEC standard). Standarden definierar metoder för mätning av elkvalitetsparametrar i 50/60 Hz växelströmssystem och för tolkning av resultaten. Mätmetoder beskrivs för var och en av de relevanta elkvalitetsparametrarna, så att tillförlitliga och repeterbara resultat erhålles. Standarden beskriver så kallade *in situ* mätningar, dvs. mätningar som görs kontinuerligt på plats i det i drift varande växelströmssystemet. Standarden är begränsad till ledningsburna spänningsfenomen. De elkvalitetsparametrar som behandlas är kraftfrekvens, spänningens amplitud, flicker (flimmer), spänningsdippar och temporära spänningshöjningar, spänningsavbrott, transienta spänningar, osymmetri i spänningen, övertoner och mellantoner i spänningen, samt snabba spänningsändringar.

### **SS-EN 61000-2-2: Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) – Del 2-2: Miljöförhållanden – Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer på elnät**

Standarden finns tillgänglig på svenska (utgåva:1) och behandlar ledningsbundna störningar i frekvensområdet 0 kHz till 9 kHz. Den anger kompatibilitetsnivåer för allmänna distributionsnät för lågspänning med en nominell spänning om högst 420 V enfas eller 690 V trefas och 50 Hz eller 60 Hz nominell frekvens.

De i standarden angivna kompatibilitetsnivåerna gäller i den gemensamma anslutningspunkten. Störningsnivåerna vid anslutningsklämmorna (strömintaget) på den utrustning som matas från dessa nät kan i allmänhet anses överensstämma med nivåerna i respektive gemensamma anslutningspunkt. I vissa fall är det dock annorlunda, särskilt när installationen ensam matas av en lång ledning eller när störningen genereras eller förstärks i den installation vari utrustningen ingår.

Kompatibilitetsnivåerna är specificerade för elektromagnetiska störningar av de slag som kan förväntas i allmänna distributionsnät för lågspänning, avsedda att tjäna som vägledning när:

1. gränser skall fastläggas för emission av störningar till allmänna distributionsnät (inklusive de planeringsnivåer som definieras i kapitel 9)
2. immunitetsgränser skall bestämmas, av produktkommittéer (i det elektrotekniska standardiseringsarbetet) eller andra, för utrustning som utsätts för de ledningsbundna störningar som förekommer i allmänna distributionsnät.

De störningsfenomen som behandlas är:

1. snabba spänningsändringar och flicker/flimmer
2. övertoner upp till och med den 50:e
3. mellantoner upp till den 50:e övertonen
4. spänningsdistorsioner vid högre frekvenser (över den 50:e övertonen)
5. kortvariga sänkningar av matningsspänningen och kortvariga spänningsavbrott
6. osymmetri i spänningen
7. transienta överspänningar
8. variationer i matningsspänningens frekvens
9. likspänningskomponenter
10. signalering på elnätet.

## **SS-EN 50308: Vindkraftverk – Säkerhet och skydd vid skötsel och underhåll**

Denna standard har tagits fram för att dokumentera de säkerhetsfordringar som finns för drift och underhåll för vindkraftverk, med avseende på hälsa och säkerhet för personal som arbetar med drift och underhåll av vindkraftverk. Riskbedömningen som ligger till grund för säkerhetskraven för en vindkraftanläggning kan skilja sig från de riskbedömningar som görs för elanläggningar inom eldistributionsnät. Då elanslutningen innebär att exempelvis brytare och mätutrustning tillhörande elnätsföretaget installeras inom vindkraftverket så är det viktigt att säkerställa en betryggande arbetsmiljö och godtagbara säkerhetsnivåer, i paritet med övriga anläggningar där elnätsföretagets personal verkar. För dessa utrymmen bör kraven i avsnitt 5.6, Övriga skydds krav och skyddsanordningar, vara uppfyllda.

### **2.7.2 Branschdokument**

Tillämplig standard blir alltmer internationell och de flesta svenska standarder är idag IEC eller Europa standard. Branschpraxis kan tolkas som en nationell anpassning av standarderna, som mer i detalj beskriver tillvägagångssätt i olika situationer, t.ex. i samband med nätanslutning av produktionsanläggningar.

Elarbeten enligt ESA (*Elsäkerhetsanvisningar*) är ett begrepp som vuxit sig starkt inom branschen. Svensk Energi ger ut dokument och håller kurser inom ESA. Arbete enligt ESA är väl etablerat inom branschen och det sker en kontinuerlig utveckling för att höja elsäkerheten.

EBR (*Elbyggnadsrationalisering*) är ett annat begrepp som satt sin prägel på elnätsverksamheten i Sverige. Svensk Energi bevakar, påverkar och genomdriver förändringar av teknik, regler och andra villkor för nätverksamhet. Vidare bedriver man utbildning och tar fram dokument om rationell elbyggnadsverksamhet, som sätter en de facto-standard inom området i Sverige.

*Anslutning av kundanläggningar 1-36 kV till elnätet (IBH-04)*, utgiven av Svensk Energi, är ett exempel på nedtecknad och utgiven branschpraxis. Dokumentet är gemensamt upprättat av nätägarna i Sverige som vägledning för kunder och installatörer när de ska ansluta nya högspänningsanläggningar (1-36 kV) till elnätet liksom vid större ombyggnader av befintliga anläggningar. I dokumentet redovisas administrativa rutiner, såsom anslutnings- och leveransavtal, föransökan och beställning, färdigförklaring och besiktning, samt tillkoppling. Vidare beskrivs tekniska krav för olika delar av installationen samt hur debiteringsmätning ska utföras. *IBH-04* innehåller även blanketter för föransökan och färdigförklaring, samt för besiktningsprotokoll.

*Krav, Råd och Rekommendationer om mätning på elmarknaden (KRR-handboken)*, är en handbok utgiven av Svensk Energi, för personal på elnätsföretagen som arbetar med dimensionering och kontroll av mätsystem.

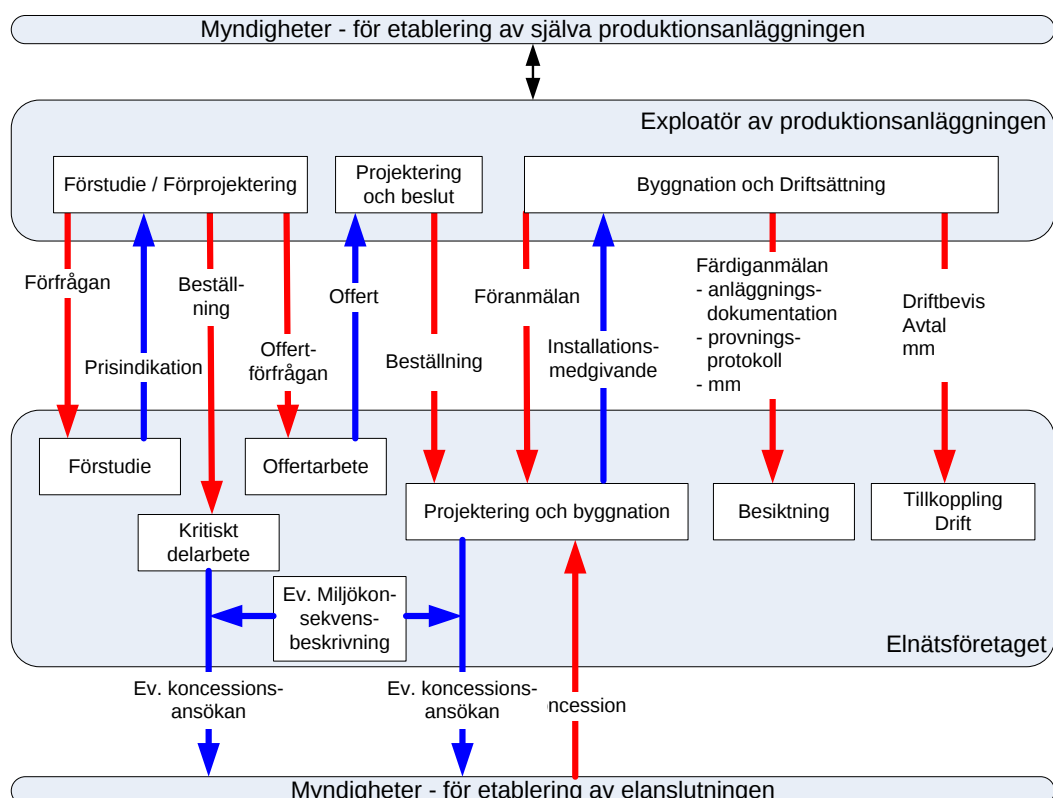
*Wind Power and Fault Clearance* (Elforsk rapportnummer 10:99) är i huvudsak ett vägledande dokument vid konstruktion av felbortkopplingssystem i elnät i samband med anslutning av vindkraftproduktion. För interna fel och kritiska driftfall för vindkraftverket ges en kort överblick av rimliga skyddsfunktioner.

### **2.7.3 Rutiner**

Förutom den branschgemensamma praxisen har respektive elnätsföretag sina specifika rutiner i samband med anslutning och drift av mindre produktionsanläggningar. De flesta elnätsföretagen har sina rutiner beskrivna på respektive hemsida.

### 3 Administrativa anvisningar

Den administrativa och tillståndsmässiga vägen från idé till ansluten och drifttagen produktionsanläggning kan vara lång. Administration och tillstånd kan delas upp i två delar, en del för själva produktionsanläggningen och en del för elanslutningen. En exploatör arbetar sig ofta parallellt och successivt framåt inom de båda delarna. I detta avsnitt fokuseras på relationer och utbyte mellan kunden, elnätsföretaget och olika myndigheter, för att åstadkomma en elanslutning till en planerad produktionsanläggning. I figur 3:1 illustreras de olika momenten och deras inbördes ordning.



Figur 3:1, Aktiviteter och kontakter för anslutning av produktionsanläggning.

#### 3.1 Förfrågan

Det är viktigt att kunden i ett tidigt stadium inkommer med en förfrågan, till det elnätsföretag som har områdeskoncession i det aktuella området, för att diskutera alternativa anslutningsmöjligheter. Anslutning av ny elproduktion innebär i de flesta fall att någon form av utredning behöver göras. En förfrågan skall alltid lämnas för den planerade anläggningen för att fastställa om det går att ansluta den tillkommande effekten till befintligt nät eller om nätet behöver förstärkas eller byggas ut. Även om själva anslutningen är tänkt att göras på lokalnätetsnivå, måste aktuell regionnätägare informeras om planerna på ett tidigt stadium för att förhållandena på regionnätetsnivå ska kunna studeras och eventuella förstärkningsåtgärder i regionnätet kunna initieras.

Förfrågan ska vara skriftlig och bör innehålla följande:

- Kontaktuppgifter
- Antal aggregat
- Typ av aggregat
- Anläggningens totala effekt
- Anläggningens plats  
(fastighetsbeteckning/karta/koordinater/anslutningsvägar)
- Preliminär tidplan

### 3.2 Förstudie

Efter inkommen förfrågan startar elnätsföretaget en förstudie. Komplexiteten på denna beror på kapacitet i befintligt nät och storleken på den tillkommande effekten. Förstudien är oftast av enklare karaktär för att möjliggöra en prisindikation till kunden.

Vid anslutning av produktion som har påverkan på regionnätet finns det i huvudsak tre scenarier som inverkar på förfarandet och förutsättningarna vid anslutning.

- Den första och enklaste är när det är en enskild producent som initierar en eller flera stationer eller ledningar i elnätet för anslutning.
- I det andra scenariot finns det ett kluster av förfrågningar vilket ökar komplexiteten då den tekniska lösningen beror av flera kunders anslutning. I det fallet finns det ett särskilt behov av en tidig och kontinuerlig dialog och samordning mellan producenter och elnätsföretag (och eventuellt kommuner) för att nå fram till den mest lämpliga lösningen.
- Det sista scenariot är när en kund ansluts på lokalnätet men det krävs åtgärder på regionnätet vilket ställer krav på dialog mellan områdeskoncessionären och regionnätsägaren. Då kan det fordras indikationer, avtal och tidplaner mellan dessa företag för att producentens anslutning ska kunna realiserars.

Vid en enskild lösning är den främsta delen i dialogen med elnätsföretaget att diskutera vilket gränssnitt, dvs. vilken spänningsnivå, och var i nätet som producenten ansluts.

För att elnätsföretaget ska kunna lämna en prisindikation i områden med flera förfrågningar kan det vara en iterativ process för att komma fram till ramen för den tekniska helhetslösningen. Vid stora variationer av förfrågningarnas totala effekt kan längre ledtider bli en följd.

### 3.3 Prisindikation

För att kunden skall kunna få en uppfattning om kostnad för anslutning och överföring samt tekniska möjligheter att genomföra tänkt anslutning enligt förfrågan, lämnar elnätsföretaget normalt en prisindikation på en övergripande nivå till kunden.

Observera att en prisindikation inte innebär någon bindande kostnadsuppskattning. Det vill säga, en anslutning till elnätet enligt en prisindikation är en nulägesuppskattning, och ingen garanti för att anslutningsvillkoren gäller vid ett senare tillfälle vare sig ekonomiskt eller tekniskt. Elnätsföretaget bokar inte kapacitet i elsystemet i samband med att en prisindikation lämnas.

En prisindikation från elnätsföretaget ska, enligt SOU 2008:13, innehålla:

- Ett ungefärligt pris och eventuellt en skiss över anslutningen.
- Vilka eventuella förbehåll som kan finnas (förstärkningar, begränsningar, behov av fördjupade utredningar, markfrågor, bygglov, etc.) anges om så är möjligt.

När ett kluster av förfrågningar berörs av åtgärder skall principer för kostnadsfördelningen redovisas för kunderna.

Normala handläggningstider hos elnätsföretagen enligt SOU 2008:13:

| Nät                 | Handläggningstid |
|---------------------|------------------|
| Lokalnät 10-20 kV   | 40 arbetsdagar   |
| Regionnät 30-130 kV | 40 arbetsdagar   |

Beroende på projektets art och omfattning kan handläggningstiderna bli kortare eller längre. När ett kluster av förfrågningar berörs av åtgärder bör kostnadsfördelningen ske i samråd med kunderna.

### 3.4 Beställning av kritiska delarbeten

För att minska tiden för anslutning kan kunden och elnätsföretaget avtala om att påbörja kritiska delarbeten innan offertskedet. Exempel på kritiska delarbeten är omfattande elnätstudier, omfattande systemstudier och framtagning av ansökan om linjekoncession.

Innebär anslutningen nya regionnätsledningar är vanligen koncessionsprocessen den viktigaste parametern för tidsåtgången. För att minska ledtiden kan med fördel en koncessionsansökan ske parallellt med tillståndsprövningsprocessen för vindkraftsparkerna. För att starta det arbetet vid kluster av förfrågningar är det nödvändigt att lösningen är tillräckligt tekniskt och ekonomiskt robust för att klara förändringar i förfrågningsunderlaget.

Vid anslutning av en större mängd produktion kan omfattande elnätstudier krävas. Innan de påbörjas är det rimligt att kostnaderna för studien och dess fördelning preciseras för kunderna. Ibland kan en förfrågan eller ett kluster av förfrågningar bli föremål för en systemstudie. Normalt initieras studien av en väsentlig förändring av behoven på regionnätet. En systemstudie innebär att ett målnät för en region tas fram. Sådana systemstudier är både resurs- och tidskrävande.

### 3.5 Offertförfrågan

För att elnätsföretaget ska kunna lämna en bindande offert måste kunden lämna en skriftlig offertförfrågan. För detta behöver elnätsföretaget samma uppgifter som vid förfrågan, se även KP 3.1, *Förfrågan*, kompletterat med vägkartor och en AMP-blankett. Uppgifterna i AMP-blanketten (se *bilaga 5*) utgör en viktig del av offertunderlaget, och ska ingå i offertförfrågan. AMP-blanketten är särskilt framtagen för vindkraftanslutningar, men används, i tillämpliga delar, även för anslutning av andra typer av produktionsanläggningar.

Kraftverkens nätpåverkan är typberoende och därför måste fabrikat och typ anges i offertförfrågan. Ändrar kunden typ eller fabrikat efter att offerten

lagts måste elnätsföretaget ges möjlighet att förnya beräkningarna och presentera en ny offert för anslutningen.

### 3.6 Offert och beställning

En bindande offert efterfrågas normalt av kunden i ett skede då eventuella tillstånd för anslutningen har erhållits.

Elnätsföretagens mål är att tiden till offertgivande skall vara så kort som möjligt från inkommen offertförfrågan från kund. Långa handläggningstider kan exempelvis uppstå till följd av naturvårdsintressen, markägarfrågor eller rent tekniska frågor. Finns det många förfrågningar inom samma område krävs normalt en större och mer övergripande utredning för att hitta en framtida nätstruktur. Se även beskrivning under KP 3.4, *Beställning av kritiska delarbeten*.

Offert lämnas ofta mot avgift och garanterar anslutning till nätet under den tid offerten gäller. Den offertavgift som tas ut baseras på kostnader som elnätsföretaget har för att kunna offerera anslutningen. Offertavgiften avräknas från anslutningsavgiften vid beställning. Avgiften anses dock som förverkad i fallet att ingen beställning sker.

En bindande offert bör, enligt *SOU 2008:13*, innehålla:

- Teknisk kravspecifikation avseende den aktuella anslutningspunkten
- Anslutningsavgift
- Offertens giltighetstid, 2 månader
- Beräknad tidpunkt för anslutningen
- Information om gällande tariff och eventuell nätnytta
- Leveransomfattning inklusive parternas åtagande

Normala handläggningstider hos elnätsföretagen enligt *SOU 2008:13*:

| Nät                 | Handläggningstid |
|---------------------|------------------|
| Lokalnät 10-20 kV   | 60 arbetsdagar   |
| Regionnät 30-130 kV | 60 arbetsdagar   |

Beroende på projektets art och omfattning kan handläggningstiderna bli kortare eller längre. Om det finns flera förfrågningar om produktionsanslutning inom samma område krävs normalt en större och mer omfattande utredning, som ofta även inbegriper stamnätet, för att hitta en lämplig framtida nätstruktur.

När kunden, baserat på elnätsföretagets offert, gjort sin beställning kan byggnationen av elanslutningen påbörjas.

### 3.7 Föranmälan

En skriftlig anmälan skall göras till aktuellt elnätsföretag för elinstallationsarbete som kräver större utbyggnad av en installerad starkströmsanläggning innan arbetet får påbörjas.

Det är till den som innehar koncession som en skriftlig anmälan om anslutning ska ställas och det är elnätsföretaget som anger vem som skall göra anmälan, vilka krav som skall vara uppfyllda för anslutningen och vilka uppgifter som i övrigt ska lämnas.

En skriftlig föransökan skall lämnas till elnätsföretaget för varje anslutningspunkt.

### 3.8 Installationsmedgivande

Efter att elnätsföretaget mottagit föransökan skickas ett installationsmedgivande, med eller utan speciella krav för anläggningen, till elinstallatören och eventuellt en kopia till kunden.

Ett installationsmedgivande ges för att bekräfta och intyga att elnätsföretaget har uppfattat kunden korrekt. Installationsmedgivandet intygar även att elnätsföretaget godkänner en anslutning enligt medgivandet samt upplyser kunden att installationsarbetet kan påbörjas.

### 3.9 Färdiganmälan och tillkoppling

Elinstallatören ska när kundens högspänningsanläggning är klar sända in färdiganmälan till elnätsföretaget. Före tillkoppling ska följande förutsättningar och villkor vara uppfyllda:

- Ägogräns respektive driftledningsgräns mellan produktionsanläggningen och elnätsföretagets nät ska vara dokumenterad.
- Om utförandet av anläggningen avviker från vad som angivits i föransökan skall nya uppgifter samt eventuellt nytt kopplingsschema inlämnas för godkännande av elnätsföretaget.
- Elnätsföretag skall efter färdiganmälan ges möjlighet att utföra besiktning av anslutnings- och måtanordning och att delta i funktionsprov av reläanläggningen.
- Protokoll över utförda funktionsprov av de elektriska skyddsfunktionerna för den färdiga anläggningen, samt över uppmätt jordtagsresistans för det enskilda jordtaget med bryggmetoden enligt *EBR U303H:10*, eller annan av elnätsföretaget godkänd metod, skall vara översända till elnätsföretaget.
- Kontaktvägar mellan kundens driftorganisation och elnätsföretagets driftorganisation (eldriftansvarig) skall vara klarställda. Kontaktvägarna bör följa vedertagen standard enligt ESA och även anslås i anläggningen, se även KP 5, *Säkerhet och skydd*.
- Kunden ska ha meddelat elnätsföretaget val av elleverantör/balansansvarig.
- Nätavtal ska vara undertecknat.
- I tillämpliga fall ska avtal vara tecknat mellan elnätsföretag och kund om elnätsföretagets tillträde till kundens anläggning och kunden ska ha överlämnat nycklar till elnätsföretaget.
- Elnätsföretaget har mottagit driftbevis för aktuell anläggning från kundens eldriftansvarig.

## 4 Dimensionering av produktionsanslutning

Placeringen av produktionsanläggningar styrs oftast av helt andra faktorer än lämpligheten att ansluta till ett befintligt elnät. Goda vindlägen för vindkraftverk finns till exempel ofta på perifera platser där bebyggelsen är gles och där det befintliga elnätet är förhållandevis svagt.

Vid alla förändringar av kraftsystemets utnyttjande, såsom anslutning av nya kunder, måste elnätsföretaget skaffa sig ett underlag för att besluta om vilka förstärkningsåtgärder, som kan behöva göras för att upprätthålla en fullgod service till samtliga nätkunder, såväl de som levererar el till elnätet, som de som konsumerar el.

Samtliga elnätsföretag i kedjan från anslutningspunkten till stamnätet har att kontrollera, och vid behov förstärka sina anläggningsdelar, med avseende på:

1. Belastningsströmmar. Kraftsystemets komponenter måste uthärda de belastningsströmmar som de kan utsättas för.
2. Felströmsnivåer. Alla komponenter i kraftsystemet måste uthärda de felströmmar som de kan utsättas för.
3. Förluster. Överföringsförluster och så kallad "nätnytta" skall påföras kunderna på ett rättvist sätt.
4. Spänningsreglering. Inmatning av aktiv effekt från ett kraftverk påverkar överföringsförlusterna i systemet och därmed spänningen i andra anslutningspunkter.
5. Övertoner, mellantoner, osymmetrier och flicker/flimmer. Produktionsanläggningens bidrag till övertoner, mellantoner, osymmetrier och flicker måste hållas inom vissa gränser, som kan variera beroende på tidigare nivåer och vad nätet tål.
6. Felbortkoppling. Föreskriftsenlig felbortkoppling av såväl kortslutningar som jordslutningar måste upprätthållas. Härvid svarar respektive elnätsföretag för sitt nät, medan anläggningsägaren ansvarar för sin produktionsanläggning och eventuellt icke koncessionspliktiga nät.
7. Transient och dynamisk stabilitet. Föreskriftsenlig störningstålighet och stabilitet, med avseende på stamnätsfel, måste säkerställas. Även stabilitet gentemot kopplingar och fel i regionnätet bör studeras. Eventuellt måste stabilitetshöjande åtgärder vidtas.

Produktionsanläggningen måste även vara så utformad och bestyckad, samt skydds- och reglersystem så inställda, att anläggningen inte ger upphov till störning eller förvärrar redan uppkommen störning så att elnätsdriften eller andra elnätskunder i området drabbas.

Vidare måste produktionsanläggningen vara robust mot förekommande händelser och driftförutsättningar i angränsande nät, såsom kopplingar, fel, transienta överspänningar, onormala drifttillstånd, onormala kopplingslägen, etc.

Elkvaliteten från en produktionskälla beror på samverkan mellan källan och elnätet, det vill säga både på produktionsanläggningens elektriska egenskaper och på nätets elektriska egenskaper. Det är således nödvändigt vid dimensioneringen att både betrakta produktionskällan med avseende på

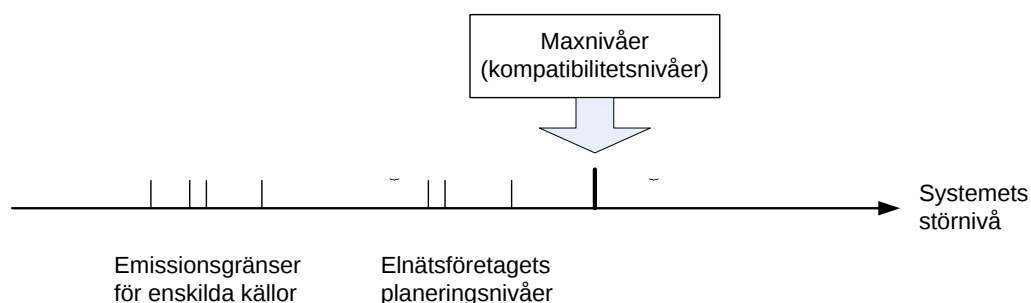
långsamma och dynamiska egenskaper och nätet med avseende på kortslutningseffekt och kortslutningsvinkel.

Vindkraftverk har högst varierande elektriska egenskaper. De elektriska egenskaperna beror både på vilken typ av turbinreglering och på vilken typ av elektriskt system som vindkraftverket är utrustat med. Det är därför av största vikt att uppgifter om fabrikat och typ av vindkraftverk kan lämnas redan i planeringsstadiet för att en korrekt bedömning av nätanslutningen skall vara genomförbar.

Spänningsgodhet innefattar maxnivåer, planeringsnivåer, samt respektive nätkunds störutrymme. Elnätskunder kan kräva att störnivån i respektive anslutningspunkter inte överskrider fastställda maxnivåer. Samtidigt kan elnätsföretaget kräva att kunden inte orsakar störningar utöver det störutrymme som kunden blir tilldelad. En elnätskund kan därför inte göra anspråk på hela det störutrymme som normerna anger utan måste hålla sig inom sitt störutrymme.

Elnätsföretagets uppgift är därmed att säkerställa att den totala störnivån håller sig inom maxnivåerna. Det hjälpmedel som används för detta ändamål är de planeringsnivåer som elnätsföretaget fastställer. Utifrån planeringsnivåerna tilldelas olika kunder olika störutrymme. Då maxnivåerna speglar nätets uppbyggnad så kommer elnätskunders störutrymme att vara olika i olika delar av nätet.

Sambandet mellan respektive elnätskunds störutrymme (emissionsgräns), elnätsföretagets planeringsnivåer samt normernas maxnivåer är illustrerade i *figur 4:1*.



*Figur 4:1*, Sambandet mellan respektive elnätskunds störutrymme (emissionsgräns), elnätsföretagets planeringsnivåer samt normernas maxnivåer.

Mer om planering av störnivåer och spänningsgodhet finns att läsa i *"EMC, elkvalitet och elmiljö: guide för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet"*, ELFORSK rapport 07:40.

Som utgångspunkt för planering av störutrymme används uppgifterna i bilaga 5, den sk. AMP-blanketten. Ansvar för att uppgifterna är riktiga åligger produktionsanläggningens innehavare.

## 4.1 Installation och dimensionering

Generatoraggregat med tillhörande utrustning skall vara utfört och uppställt enligt gällande starkströmsföreskrifter och vara utrustat med de skyddsanordningar som specificeras i kapitel 5.

För att anläggningsinnehavaren och dennes entreprenörer och konsulter ska kunna dimensionera produktionsanläggningen och dess komponenter på ett riktigt sätt måste man få tillgång till data och villkor som gäller i anslutningspunkten. Elnätsföretaget tillhandahåller normalt uppgift om maximalt respektive minimalt förekommande kortslutningseffekt (relaterad till en viss spänning i anslutningspunkten). Eventuell förekomst av utrustning för återinkoppling (ÅI) eller snabbåterinkoppling (SÅI) för linje skall meddelas av elnätsföretaget i förutsättningarna. Vidare ställer elnätsföretaget krav på spänningskvalitet i anslutningspunkten, som oftast är relaterad till gällande standard. Elnätsföretaget är ansvarigt för spänningsregleringen i nätet och ska säkerställa att eventuell inverkan på spänningshållningen från produktionsanläggningen kan hållas inom acceptabla gränser. Vidare måste anläggningsinnehavaren visa att spänningssättning av anläggningens olika delar, samt uppstart och stopp av anläggningen inte leder till oacceptabla kopplingstransienter i nätet.

Det är viktigt med koordinering av skydd i de olika anläggningsdelarna för att:

- 1) säkerställa selektiv bortkoppling av felströmsbidrag från nätet vid fel i produktionsanläggningen, och att
- 2) säkerställa selektiv bortkoppling av felströmsbidrag från produktionsanläggningen vid fel i nätet.

Med tillfredsställande felbortkoppling menas normalt att för varje fel, oavsett felläge och feltyp, så finns en ordinarie felbortkopplingsfunktion och en reservbortkopplingsfunktion och att dessa i någon mån är oberoende, samt att felbortkopplingstiderna är i enlighet med gällande föreskrifter. Felbortkopplingen ska vara snabb, säker, selektiv och i överensstämmelse med kraven om bibehållen nätanslutning, enligt SvKFS 2005:2. Om det föreligger risk för att övertonsströmmar eller mellantonsströmmar från produktionsanläggningen kan ge upphov till alltför höga nivåer på övertonsspänningar eller mellantonsspänningar, så måste nätimpedansen som funktion av frekvensen bestämmas, för olika kopplingslägen i nätet.

## 4.2 Jordning och åskskydd

Samtliga PEN-ledare i anläggningen ska anslutas till huvudjordningsskena som ansluts till eget jordtag utanför anläggningen. Produktionsanläggningen bör dessutom förses med ändamålsenligt åskskydd. Åskledaranläggningen skall anslutas till huvudjordningsskenan.

I de fall en produktionsanläggning ansluts via en kabel till en luftledning på mellanspänningsnätet bör ventilavledare anslutas i övergången mellan luftledning och kabel. Ventilavledare behövs dessutom, på samma sätt som vid anslutning direkt till en friledning, även i kundens anläggning eftersom åsköverspänningar förstärks genom reflektioner mot kundens transformator och kan uppnå för höga nivåer då kabeln är kortare än 1500 m.

Eventuell systemjordning av ett eller flera vindkraftverk i en grupp eliminerar inte kravet på ett enskilt och mätbart jordtag för respektive kraftverk. Däremot ska systemjordningen i förekommande fall anslutas till

huvudjordningsskenan för att undvika skillnad i jordpotential och för att förbättra det resulterande jordtagsvärdet.

Vid utbyggnad av elnätet är elnätsföretaget skyldigt att vidta erforderliga åtgärder för att förebygga skada eller störningar på andra anläggningar, som till exempel teleanläggningar. Det är därför viktigt att i ett tidigt skede kontakta andra anläggningsinnehavare som kan bli påverkade av elnätsutbyggnaden.

### 4.3 Termisk dimensionering

Alla strömförande komponenter i ett elnät, t.ex. transformatorer, luftledningar och kablar, har en termisk kapacitetsbegränsning. För anslutning av produktion mot regionnätet kan den termiska kapacitetsbegränsningen vara ett styrande dimensioneringskriterium. Den termiska begränsningen för en viss komponent beror av konstruktion och installation (förläggningssätt). Exempel på väsentliga parametrar är ledningsarea, avstånd till mark, omgivningstemperatur, vindavkylning och solinstrålning. Var gränsen går för en enskild komponent bedöms av nätägaren. För en luftledning är ofta minsta avstånd till mark styrande för kapacitetsgränsen. Normalt är komponenterna i ett befintligt elnät anpassade för höglast vintertid. Vid anslutning av produktion måste driftfallen 1) max last & max produktion, 2) min last & max produktion, samt 3) max last & min produktion, studeras med avseende på termisk dimensionering av berörda elnätskomponenter. Vid bedömning av termisk kapacitetsdimensionering betraktas stationära förhållanden, dvs. all värmeenergi som utvecklas i elnätets komponenter måste också avledas till omgivningen.

I samband med shutfel (jordslutningar och kortslutningar) i elnätet uppstår felströmmar, som kan vara mycket stora jämfört med maximal kontinuerlig driftström. Under feltiden sker en värmeutveckling i de komponenter som genomflyts av felströmmen, som är proportionell mot feltiden och mot felströmmens kvadrat. Varje komponent i elnätet måste termiskt uthärda den maximala felström som komponenten kan utsättas för under en tid som motsvarar reservbortkoppling av felet (dvs. en komponent i felbortkopplingssystemet fungerar inte som avsett). Vid bedömning av termisk påkänning i samband med felströmmar försummas oftast värmeutbytet med omgivningen.

### 4.4 Mekanisk dimensionering

All anslutning av produktion ökar felströmsnivåerna i nätet. Felströmmarna har förutom en termisk påverkan även en mekanisk påverkan, strömkrafter, på de komponenter som genomflyts av felström. Strömkrafter uppstår på två strömförande ledare i närheten av varandra och är proportionell mot produkten av de båda strömmarna. Strömmens maximala värde uppnås inom den första linjeperioden efter felets inträffande och strömkrafterna blir därför normal oberoende av feltiden. Speciellt vid anslutning av asynkron produktion, vars felströmsbidrag till termiska påkänningar ofta försummas, blir det viktigt att ta med felströmsbidraget vid den mekaniska dimensioneringen.

## 4.5 Långsamma spänningsändringar

Med begreppet långsamma spänningsändringar menas här lågfrekventa och sällan förekommande ändringar av spänningens effektivvärde, där den betraktade tidshorizonten är timmar och dygn. Beroende på belastning och produktion i nätet varierar spänningens effektivvärde med årstid och tid på dygnet. SS-EN 50160, som beskriver spänningsgodhet i elnät upp t.o.m. 35 kV, anger att effektivvärdet ska ligga inom intervallet  $\pm 10\%$ , mätt som 10-minuters medelvärde. Man utgår då från spänningsvariationer inom lågspänningsnäten. Intervallet ska täcka in samtliga lågspänningsanslutningar i systemet och inbegriper spänningsfall i alla nätdelar för varierande produktion och belastning. Eftersom spänningsfallen (skillnaden mellan högsta och lägsta spänning i nätet) ofta är störst inom lågspänningsnäten, måste spänningsnivån hållas inom snävare intervall på lokalnätetsnivå, eftersom lindningskopplare saknas i nätstationer. Spänningen på lokalnätetsnivå regleras med kapacitiv shuntkompensering och med lindningskopplare på transformatorer till regionnätet.

På högre spänningsnivåer, i transmissions- och subtransmissionsnäten, kontrolleras spänningsnivån ofta genom in- och urkoppling av shuntreaktorer. Vid låglast kan den kapacitiva genereringen vara så stor att det blir aktuellt att koppla ur ledningar i spänningsreglerande syfte. På senare år har det även installerats shuntkondensatorer i stamnätet för att hålla upp spänningen vid höglast. I regionnäten är shuntkondensatorer vanliga, för att reducera det reaktiva effektuttaget från stamnätet under höglastperioder. Svenska Kraftnät ansvarar för spänningsregleringen på stamnätet och respektive regionnätsföretag svarar för spänningshållningen inom sitt nät. För varje stamstation finns en normaldriftspänning angiven i form av ett spänningsintervall (t.ex. 400-415 kV). Dessutom finns en högsta spänning (max spänning, t.ex. 420 kV) och en lägsta spänning (min spänning, t.ex. 395 kV) angiven.

För att minska överföringsförlusterna strävar alla elnätsföretag efter att hålla en så hög driftspänning som möjligt, inom ramen för normer och standarder och för vad utrustningen anses tåla.

Svenska Kraftnät ställer i föreskriften SvKFS 2005:2, även krav på producenterna att kunna styra det reaktiva effektutbytet gentemot stamnätet:

*Stora och medelstora anläggningar, utom vindkraftgrupper, skall dimensioneras med möjlighet till reaktiv produktion vid samtidig maximal aktiv effektproduktion enligt följande minimikrav:*

*– Inom intervallet 90 % till 100 % av nominell spänning skall reaktiv effekt motsvarande 1/3 av maximal aktiv effekt kunna produceras och kontinuerligt matas till det anslutande nätet.*

*– Samtliga anläggningstyper, utom värmekraftblock, skall kunna konsumera reaktiv effekt motsvarande minst 1/6 av maximal aktiv effekt från det anslutande nätet.*

*– Värmekraftblock skall kunna minska den reaktiva produktionen ned till 0 Mvar.*

*Vindkraftgrupper skall utformas så att det reaktiva utbytet kan regleras till noll.*

Då spänningsreglering på stamnätet, regionnätet och direktansluten produktion är så beroende av varandra krävs det att alla de ansvariga agerar koordinerat och håller sig underrättade om aktuell status på respektive område.

Beroende på anslutande elnäts egenskaper och drifttillstånd kan toleransen gentemot ändringar av utbytet av aktiv respektive reaktiv effekt i produktionsanläggningens anslutningspunkt variera. Sällan förekommande förändringar tillåts orsaka större spänningsändringar än mer vanligt förekommande förändringar. Vid dimensionering av regionnät tillåts förändringar som inträffar på vecko- eller säsongsbasis ge spänningsändringar på upp till 5%, medan förändringar på dygnsbasis tillåts ge spänningsändringar på upp till 3%, se *tabell 4:1*. Spänningsändringar uppstår i samband med produktionsförändringar, speciellt frångkoppling av produktion. Branschpraxis för spänningsvariationer har bl.a. utvecklats med avseende på in- och urkoppling av shuntkompensering. En tillämpning av praxis vid anslutning av produktion är att uppstart eller fullt produktionsbortfall inte får påverka spänningsnivån i någon annan anslutningspunkt med mer än 3%.

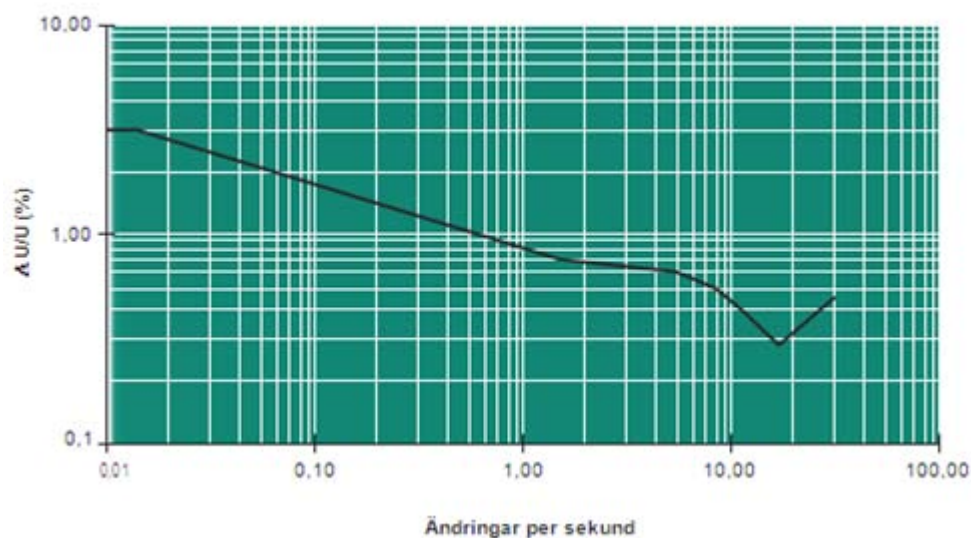
| Variation      | $\Delta U$ |
|----------------|------------|
| Vecka – säsong | 5 %        |
| Dygn           | 3 %        |

Tabell 4:1, Spänningsvariationer på vecko- respektive dygnsbasis.

## 4.6 Snabba spänningsändringar

Regelbundet återkommande snabba spänningsvariationer förorsakar flicker genom att ljuset från glödlampor varierar med spänningen. I handledningen för Anslutning av elproduktion i elnätet används den engelska termen *flicker*, vilket har motsvarande innebörd som svenskans *flimmer*, och som även definieras i SS-EN 50160 som "visuellt intryck av instabilitet orsakat av ljusintryck som varierar intensitetsmässigt över tiden". Fenomenet flicker behandlas i flera standarder och rapporter, t.ex. för bedömning av inverkan från anläggningar IEC/TR 61000-3-7 och för flickermätare SS-EN 61000-4-15. Regelbundet återkommande stegvisa spänningsändringar kan bedömas med hjälp av kurvan i *figur 4.2*. Det bör i sammanhanget poängteras att en spänningsdip räknas som två ändringar, dvs. först sjunker spänningen (ändring nummer ett) sedan återgår spänningen (ändring nummer två).

Snabba spänningsändringar förorsakade av vindkraftverk uppstår både vid start och under drift. Spänningsförändringar vid drift beror i första hand på effektpulsationer orsakade av tornskugga och vindgradient, s.k. 3-p pulsationer. Om till exempel en turbin har tre blad och roterar med 30 varv per minut uppstår tre ändringar per sekund. Enligt *figur 4.2* får då inte spänningsändringen överstiga 0,65% för en flickeremission motsvarande  $P_{st}=1$  som ett viktat genomsnitt över 10 minuter. Kurvan i *figur 4:2* definierar flickeremissionen  $P_{st}=1$ . Enstaka snabb spänningsändring som förorsakas av strömändring i anslutningen får på motsvarande sätt uppgå till högst 3% om den inträffar högst en gång under två timmar.



Figur 4:2, Regelbundet återkommande stegvisa ändringar av spänningens effektivvärde i procent som ger flickervärdet  $P_{st} = 1,0$ .

Enligt IEC61000-3-7 bör flickeremissionen från en enstaka källa i sammankopplingspunkten inte överstiga  $P_{st}=0,35$  som ett viktat genomsnitt över 10 minuter eller  $P_{lt} = 0,25$  som ett viktat genomsnitt över 2 timmar. Detta innebär för planeringsändamål till exempel att det sammanlagrade flickret under drift emitterat från en vindkraftpark anslutet till regionnätet inte bör överskrida  $P_{lt}=0,1$ .

Effektpulsationer under drift förekommer i första hand hos vindkraftverk som arbetar med konstant varvtal, det vill säga som har en generator direkt ansluten till nätet. Ett uppmätt värde på flickerkoefficienten,  $c(\psi_k)$ , krävs enligt SS-EN 61400-21 från tillverkaren av vindkraftverket. Saknas värdet beräknas spänningsändringen förorsakat av effektpulsationer med en flickerkoefficient,  $c(\psi_k)=20$ .

Spänningsändringar vid start beror i första hand på magnetiseringen av generatoren. Vindkraftverk startar normalt sett automatiskt vid låga vindhastigheter och ger då en aktiv uteffekt lika med eller nära noll, däremot upptas en reaktiv effekt från nätet. Den reaktiva effekt som upptas vid magnetisering av generatoren beror till stor del på hur länge mjukstartaren körs. Normalt körs mjukstartartaren 2-3 sekunder på pitchreglerade vindkraftverk och 0,2 sekunder på stallreglerade vindkraftverk. Ett värde på spänningsändringsfaktorn,  $k_u(\psi_k)$ , krävs enligt SS-EN 61400-21 från tillverkaren av vindkraftverket. Spänningsändringsfaktorn är den uppmätta spänningsändringen under en linjeperiod som uppträder vid inkoppling av ett vindkraftverk. Den bestäms utifrån uppmätt ström och spänning mot ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel,  $\psi_k$ , som parameter. Vid avsaknad av värde beräknas spänningsändringen med en spänningsändringsfaktor,  $k_u(\psi_k)=3$ .

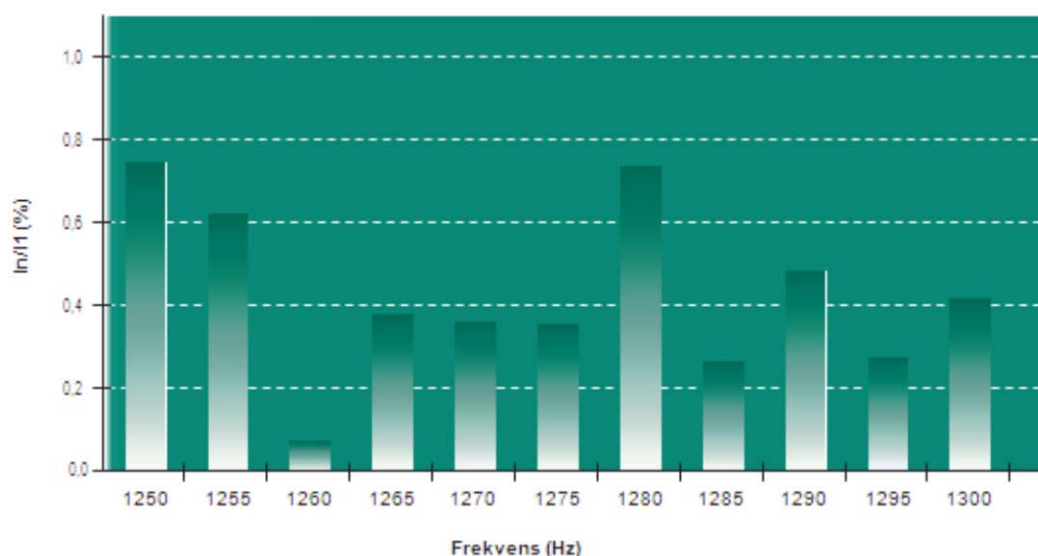
För en mer detaljerad beskrivning av de ekvationer som används för bedömning av elkvalitet hänvisas till bilaga 3.

## 4.7 Övertoner och mellantoner

Övertoner är periodiska ström- eller spänningskomponenter med en frekvens som är en heltalsmultipel av grundtonsfrekvensen. Övertoner (eng. harmonics) betecknas med sin heltalsmultipel, exempelvis kallas en överton med frekvensen 150 Hz för den 3:e tonen. Mellantoner (eng. interharmonics) är på motsvarande sätt periodiska ström- eller spänningskomponenter med en frekvens som inte är en heltalsmultipel av grundtonsfrekvensen.

Övertoner och mellantoner kan förekomma såväl i nätspänningen som i strömmen från anslutna objekt. Övertoner i nätspänningen anses uppkomma genom att en del anslutna objekt har s.k. olinjär karakteristik, dvs. genererar övertoner i den från nätet uttagna strömmen. Den samlade återverkan på nätet från olinjära anslutningsobjekt uppträder alltså som en förekomst av övertoner i nätspänningen, vars nivåer är elnätsföretagets ansvar.

Över- och mellantoner skall enligt Svensk Standard SS EN 61000-4-7 beräknas med hjälp av en diskret Fourier transform med en fönstervidd på 10 linjeperioder av systemets frekvens, 50 Hz. Fönstervidden ger en distans på 5 Hz mellan två på varandra följande toner. *Figur 4:3* visar som exempel periodiska strömkomponenter mellan 1250 Hz till 1300 Hz i den uppmätta strömmen från ett vindkraftverk med frekvensomriktare. De periodiska strömkomponenterna är angivna i procent i förhållande till grundtonens märkström.

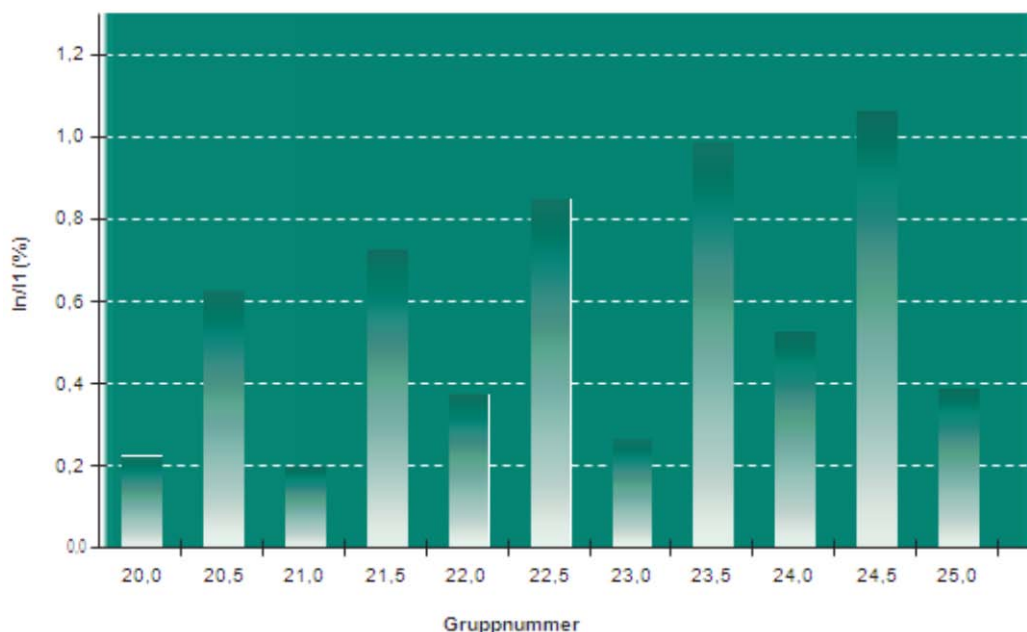


*Figur 4:3*, Periodiska strömkomponenter från ett vindkraftverk med frekvensomriktare.

Som framgår av figuren finns i det här fallet nio stycken mellantoner mellan varje överton. Dessa mellantoner kan indelas i mellantonsgrupper (eng. interharmonic groups). Mellantonsgrupperna betecknas med en halvtalsmultipel i förhållande till de övertoner den gränsar mot. Till exempel kallas mellantonsgruppen mellan 5:e och 6:e övertonen för 5,5.

*Figur 4:4* illustrerar över- och mellantonskomponenter i den uppmätta strömmen från ett vindkraftverk med frekvensomriktare. Mellantonsgrupperna blir i fallet med denna frekvensomriktare, där en varierande omkopplingsfrekvens används, större än övertonerna. När denna typ av teknik används begränsas de rena övertonerna medan mellantonerna och mellantonsgrupperna ökar. Över- och mellantoner i strömmen från

produktionsanläggningar förekommer i huvudsak hos generatorer som är utrustade med någon form av frekvensomriktare.



Figur 4:4, Övertoner och mellantonsgrupper i den uppmätta strömmen från ett vindkraftverk med frekvensomriktare.

Svensk standard SS-EN 50 160 anger för nätspänningens relativa övertonshalt nivåer enligt *tabell 4:2*. I standarden finns inte något gränsvärde för mellantonsgrupper angivet. Det bör poängteras att mellantoner inte ingår i THD (eng. Total Harmonics Distortion) eftersom det bara är ett mått på det totala övertonsinnehållet. Den totala harmoniska distortionen definieras som:

$$THD = \sqrt{\sum_{i=2}^{i=n} \left( \frac{U_i}{U_1} \right)^2}$$

där  $U_1$  är nätspänningens grundton och  $U_i$  är nätspänningens överton av ordning  $i$ . Enligt svensk standard för mellanspänning respektive lågspänning SS-EN 50160 och SS-EN 61000-2-2 skall övertoner upp till 40:e ordningen medtas.

erats:

| Udda övertoner     |                     |                |                     | Jämna övertoner |                     |
|--------------------|---------------------|----------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| Ickemultipler av 3 |                     | Multipler av 3 |                     |                 |                     |
| Ordning<br>h       | Relativ<br>spänning | Ordning<br>h   | Relativ<br>spänning | Ordning<br>h    | Relativ<br>spänning |
| 5                  | 6%                  | 3              | 5%                  | 2               | 2%                  |
| 7                  | 5%                  | 9              | 1,5%                | 4               | 1%                  |
| 11                 | 3,5%                | 15             | 0,5%                | 6.....24        | 0,5%                |
| 13                 | 3%                  | 21             | 0,5%                |                 |                     |
| 17                 | 2%                  |                |                     |                 |                     |
| 19                 | 1,5%                |                |                     |                 |                     |
| 23                 | 1,5%                |                |                     |                 |                     |
| 25                 | 1,5%                |                |                     |                 |                     |

Tabell 4:2, Nivåer för nätspänningens relativa övertonshalt enligt SS-EN 50160.

För spänning över 35 kV gäller "Kriterier för spänningsgodhet vid leveransspänning över 1000 V" som gavs ut av dåvarande Sveriges Elleverantörer (numera en del av Svensk Energi). Emission av mellantoner skall undvikas. Förekommer kännedom om att anläggningar kommer att avge mellantoner skall samråd med nätägaren ske redan i projekteringsstadiet.

För en mer detaljerad beskrivning av de ekvationer som används för bedömning av elkvalitet hänvisas till *bilaga 3*.

## 4.8 Faskompensering

En produktionsanläggning har i regel inverkan på elnätsföretagets råkraftuttag. Hög produktion ger lägre aktivt uttag men kan ge högre reaktivt uttag. Faskompenseringsutrustning installerad i produktionsanläggningen minskar behovet av ökat uttag av reaktiv effekt från ovanliggande nät. Svenska Kraftnäts föreskrifter SvKFS 2005:2 ställer krav på reaktiv förmåga för alla produktionsanläggningar från och med 1,5 MW. Inom ramen för Svenska Kraftnäts krav kan överenskommelse om hur mycket reaktiv effekt produktionsanläggningen får producera respektive konsumera regleras i nätavtalet som skrivs mellan elnätsföretaget och ägaren av produktionsanläggningen.

Svenska Kraftnäts föreskrifter SvKFS 2005:2 gäller oberoende av nätets spänningsnivå. Det lokala elnätsföretaget kan ställa krav på ytterligare reaktiv förmåga. Föreligger risk för resonans mot nätet skall anläggningen förses med lämpligt filter.

Ansluts produktionsanläggningen till mellanspänningsnätet ska den reaktiva effekten regleras mot noll om ingen annan överenskommelse görs med elnätsföretaget. Svenska Kraftnät har ett krav på nollutbyte av reaktiv effekt mot elnätsföretaget, vilket elnätsföretaget i sin tur även kan tillämpa för vindkraftsgrupper och mellanspänningsanslutna produktionsanläggningar.

Kraftverk med asynkrona maskiner förses vanligen med kondensatorer som faskompensering, som automatiskt kopplas in och ur i proportion till den aktiva effektens variationer. Faskompenseringsutrustningen skall alltid frångkopplas före frångkoppling av generatoren.

Används en aggregatkonstruktion med variabelt varvtal och kraftelektronik, finns större möjlighet att snabbt och kontinuerligt styra den reaktiva effekten. Metoden innebär även att det inom vissa ramar går att reglera spänningen för att uppnå önskad spänningsnivå i anslutningspunkten vid produktion.

Om flera vindkraftverk är placerade i grupp kan det bli aktuellt att komplettera med en gruppkompenseringsanläggning. Om man väljer att spänningsreglera med utrustningen måste reglerfunktionen koordineras med andra spänningsreglerande anläggningar, t.ex. lindningskopplarreglering i matande station.

Det kan även bli aktuellt att behöva kompensera för den reaktiva effekt som kablar i större uppsamlingsnät genererar. Beroende på var anslutningspunkten finns och hur nätet är konstruerat kan denna kompensering hamna antingen hos kunden eller hos elnätsföretaget.

## 4.9 Kommunikationskrav

I enlighet med Svenska Kraftnäts driftsäkerhetstekniska föreskrifter så skall vindkraftparker vara försedda med möjlighet till kommunikation för att externt kunna styra effekten. Hur denna signal skall vara utförd praktiskt är inte specificerat.

En kommunikationsstandard för vindkraftverk är definierat i *SS-EN 61400-25, Vindkraftverk - Kommunikation för övervakning och styrning av vindkraftverk*. Kommunikation enligt denna standard är kompatibel med *SS-EN 61850-7-serien* för kommunikation med fördelningsstationer och ställverk.

## 4.10 Drift- och underhållssäkerhet

Målet med en väl fungerande elproduktionsanläggning med hög drift- och underhållsmässighet är att till så låg kostnad som möjligt se till att utrustningen håller en så hög tillgänglighet och driftsäkerhet som möjligt. För att uppnå hög driftsäkerhet bör hänsyn tas till de tre centrala begreppen underhållsmässighet, underhållssäkerhet och funktionssäkerhet.

Det är mycket viktigt att det ställs höga krav på personsäkerhet, anläggningssäkerhet och elsäkerhet redan i projekteringsstadiet och att samma höga nivå behålls genom anläggningens hela livstid. Detta innebär att en produktionsanläggning måste planeras och utformas för en hög drift- och underhållsmässighet redan från drifttagningen. Produktionsanläggningen ska sedan kunna underhållas så att den bibehåller sin kvalitetsnivå under hela sin tekniska livslängd. Det innebär även att man måste beakta hur vindkraftverk och tillhörande transformatorkiosker, kopplingsutrustning och apparater skall fjärrkontrollanpassas för att kunna övervakas och styras.

### 4.10.1 Underhållsmässighet

En utrustnings underhållsmässighet kan påverkas i konstruktionsfasen eftersom det är ett mått som karakteriserar en utrustnings anpassning för underhåll. För att öka underhållsmässigheten är det viktigt att påpeka de modifieringar som är nödvändiga i god tid så att konstruktörer kan anpassa utrustningen till ställda krav.

### 4.10.2 Underhållssäkerhet

Underhållssäkerhet är ett mått på hur väl underhållsorganisationen kan utföra de underhållsåtgärder som krävs för att hålla utrustningen i gott skick.

En förutsättning för god underhållssäkerhet är ett väl fungerande underhållssystem där information om underhållsintervall samt underhållsinstruktioner och dokumentation om komponenter finns tillgängligt.

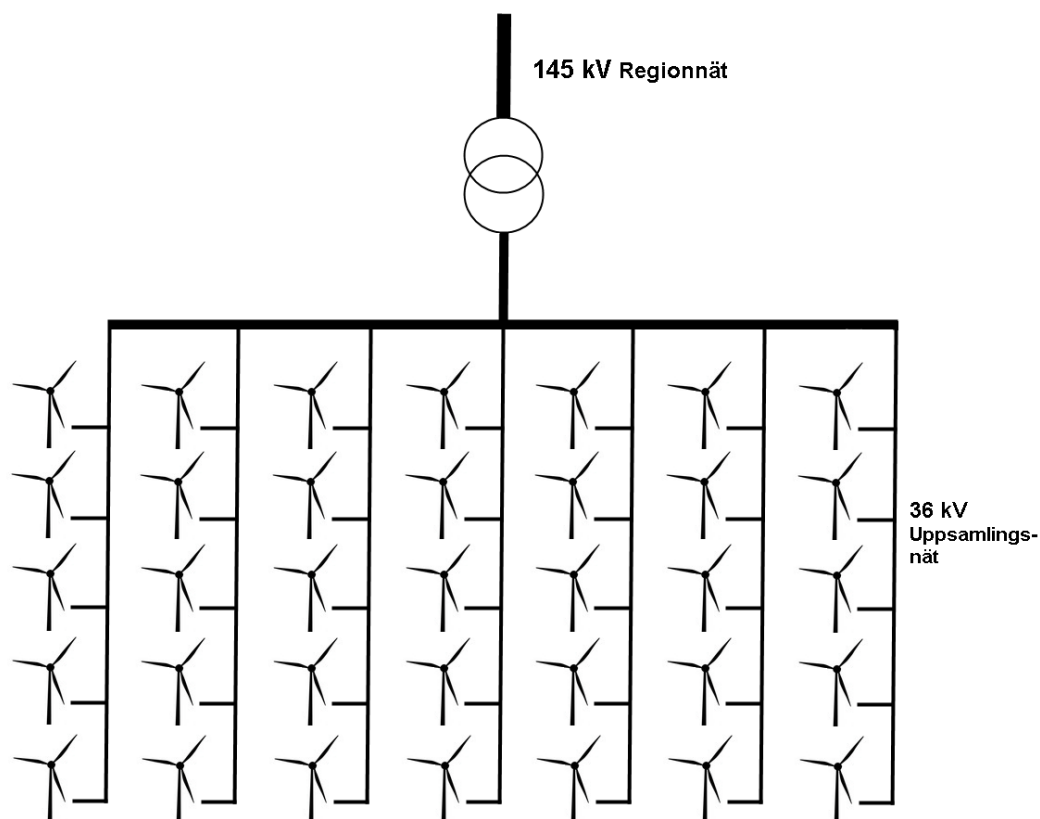
Det innebär också att elnätsföretaget ska ha möjlighet att kunna göra erforderligt underhålls- och förnyelsearbete på sina anläggningsdelar, t.ex. att vid behov ta anslutningsledning och/eller transformator ur drift för arbete.

### 4.10.3 Funktionssäkerhet och tillgänglighet

Ett elkraftsystems komponenter, såsom transformatorer, brytare och ledningar, kan befinna sig i ett av två tillstånd, antingen i drift eller ur drift.

Normalt dimensioneras stam- och regionnät enligt det s.k. N-1 kriteriet. Det innebär att en godtycklig komponent, ledning, samlingsskena eller transformator, ska kunna kopplas ur utan att någon elkund får sin matning bortkopplad. Tanken är att reparationstiden inte ska vara längre än att den felaktiga komponenten hinner komma i drift innan nästa fel inträffar.

Däremot så konstrueras många uppsamlingsnät, anslutningsledningar och regionnät för anslutning av produktion som radialledningar, som i de flesta fall saknar redundans. Det innebär att produktionsbortfallet kan bli stort vid längre avbrott t.ex. vid ett transformatorhaveri, se *figur 4:5*. Även vid normala underhållsåtgärder av ledningar och stationer som t.ex. brytarunderhåll, stolpbyten, etc. så kan det innebära begränsningar eller stopp i produktionen kortare eller längre tid beroende på åtgärd. Planerade underhållsåtgärder bör samordnas mellan innehavarna av de olika anläggningarna som t.ex. innehavaren av produktionsanläggningen och elnätsägarna så att det påverkar tillgängligheten minimalt. Med maskad nätstruktur, öppna slingor och parallella ledningar kan tillgängligheten på nätanslutningen öka, men det innebär vanligtvis en högre anslutningskostnad.



*Figur 4:5*, Radialledningar innebär ökad risk för produktionsbortfall under längre tid vid störningar eller underhåll på elnätet.

## 5 Säkerhet och skydd

Ellagen kräver att elektriska anläggningar ska vara så beskaffade och placerade samt brukas på ett sådant sätt att betryggande säkerhet ges mot person- eller sakskada eller störning i driften vid den egna anläggningen eller vid andra elektriska anläggningar.

Arbetsmiljölagen anger att arbetsgivare ska vidta alla åtgärder som behövs för att förebygga att arbetstagare utsätts för ohälsa eller olycksfall. Lagen anger även att betryggande skyddsåtgärder vidtas mot skada som orsakas av elektrisk ström. Arbetsmiljölagen hänvisar till ellagstiftningen för detaljfrågor.

Det viktiga elsäkerhetsarbetet brukar ofta delas upp i tre olika ansvarsområden; personsäkerhetsansvar, anläggningsansvar och behörighetsansvar.

### 5.1 Personsäkerhetsansvar

Arbetsgivaren har ansvar för sina anställdas personsäkerhet enligt arbetsmiljölagstiftningen, där Arbetsmiljöverket är tillsynsansvarig myndighet. Utöver arbetsmiljölagstiftningen finns föreskriften *ELSÄK-FS 2006:1*, vilken reglerar elsäkerhet vid arbete i yrkesmässig verksamhet. Anläggningsinnehavaren ska kunna ge svar på vem i organisationen som har personsäkerhetsansvaret. Detta kan lösas genom olika delegationsordningar som passar den enskilda organisationen.

#### 5.1.1 Arbetsmiljölagen - Allmänna skyldigheter

Arbetsgivaren ska vidta alla åtgärder som behövs för att förebygga att arbetstagare utsätts för ohälsa eller olycksfall. Detta enligt arbetsmiljölagen 3 kap "Allmänna skyldigheter". Det är därför arbetsgivarens skyldighet att se till att allt arbete planläggs och anordnas så att en tillfredsställande arbetsmiljö skapas. Kravet på ett systematiskt arbetsmiljöarbete finns konkretiserat i Arbetarskyddsverket författning om "*Systematiskt arbetsmiljöarbete AFS 2001:1*"

Enligt arbetsmiljölagen 1977:1160 och dess föreskrifter har Byggarbetsmiljösamordnaren (BAS) en viktig funktion. Arbetsmiljölagen säger följande: *Det är den som låter utföra ett byggnads- eller anläggningsarbete ("byggherren") som har det grundläggande ansvaret för att under förberedelsen av byggprojektet (planeringen och projekteringen) beakta arbetsmiljön under byggskedet, han ska:*

- *under varje skede av planeringen och projekteringen se till arbetsmiljösynpunkter beaktas när det gäller såväl byggskedet som det framtida brukandet,*
- *utse en lämplig byggarbetsmiljösamordnare för planering och projektering av arbetet, BAS-P,*
- *utse en lämplig byggarbetsmiljösamordnare för utförande av arbetet, BAS-U."*

För vägledning om byggherreansvar se EBR publikation *HMS 6:09, Byggherreansvar-Byggarbetsmiljösamordning för nät och produktion.*

### 5.1.2 Elsäkerhet vid elarbeten i produktionsanläggning

Ett kraftverk är en elektrisk anläggning, som ur vissa aspekter kan betraktas som en maskin eller en anordning vilket gör att den faller under både Maskindirektivet och *Elmaterieförordningen*. Arbetsmiljöverket har till uppgift att kontrollera att *Maskindirektivets* krav efterlevs, framförallt vad gäller arbetsmiljösäkerheten. Elsäkerhetsverket kontrollerar framförallt elsäkerheten och elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) enligt *Elmaterieförordningen*.

Drift- och underhållsarbeten som utförs av elnätsföretagets personal måste kunna utföras på ett säkert och effektivt sätt. Säkerhetsavstånd, utrymningsvägar, etc., måste vara tillfredsställande, så att krav och praxis avseende arbetsmiljö och elsäkerhet efterlevs. Detta kan t.ex. innebära att transformator och mätarutrustning måste placeras i en egen station utanför ett vindkraftverket för att t.ex. kunna uppfylla krav på utrymningsvägar, etc.

Inför inkoppling av en elektrisk anläggning, en elektrisk maskin eller en elektrisk anordning, skall anläggningsägaren intyga att anläggningen (maskinen eller anordningen) uppfyller alla vid tidpunkten gällande krav och riktlinjer avseende personsäkerhet, anläggningssäkerhet och driftsäkerhet.

## 5.2 Anläggningsansvar

Huvudansvaret för elsäkerheten vilar enligt *starkströmsförordningen* (2009:22) på innehavaren av starkströmsanläggningen. För att uppfylla ansvaret måste innehavaren följa de föreskrifter om starkströmsanläggningars utförande och skötsel som finns.

Det ska vara fastställt vem eller vilka som bär anläggningsinnehavaransvaret. I en stor organisation kan innehavaransvaret vara uppdelat mellan olika organisatoriska enheter för olika anläggningsdelar.

Elektriska anordningar som är anslutna till elanläggningen innefattas också av anläggningsansvaret.

Elsäkerhetsverkets föreskrift *ELSÄK-FS 2008:3* med tillhörande ändringsföreskrift *ELSÄK-FS 2010:3* reglerar anläggningsinnehavarens ansvar för kontroll av elektriska starkströmanläggningar och elektriska anordningar. Föreskriften är ingen ramföreskrift utan ska följas utan hänvisning till någon standard.

## 5.3 Behörighetsansvar

Om organisationen utför behörighetskrävande elarbeten som faller in under *elinstallatörsförordningen* (1990:806), ska en behörig elinstallatör vara anställd i organisationen. Det är elinstallatören som har ansvaret för att alla elarbeten utförs i enlighet med gällande regelverk. Elinstallatören ska kunna redovisa vilken standard och eventuella egna kompletterande anvisningar som elinstallatören arbetar efter i syfte att uppfylla kraven i utförandeföreskriften *ELSÄK-FS 2008:1* och dess ändringsföreskrift *ELSÄK-FS 2010:1*.

Den som är arbetsgivare, anläggningsinnehavare, eller elinstallatör förväntas alltså ha en eller flera personer anställda med ansvar för personsäkerhet, anläggningssäkerhet och behörighet. Det kan vara samma befattning i form av en elchef eller flera olika. Den behörighetsansvarige ska alltid ha allmän

behörighet AB eller i förekommande fall ABL. Behörigheten är personlig i Sverige.

## 5.4 ESA – Elsäkerhetsanvisningar

I Elsäkerhetsverkets föreskrifter om elsäkerhet vid arbete, *ELSÄK-FS 2006:1*, *ELSÄK-FS 2008:3* med tillhörande ändringsföreskrift *ELSÄK-FS 2010:3*, finns regler för hur arbete på elanläggningar ska utföras. Föreskrifterna innehåller även regler om hur en elanläggning ska skötas, samt hur innehavaren ska utföra tillsyn. I vissa fall hänvisar Elsäkerhetsverkets föreskrifter till svensk standard eller annan erkänd standard alternativt god elsäkerhetsteknisk praxis.

Innehavaren av en produktionsanläggning ska fastställa anvisningar för att förebygga skada orsakad av el, i de fall då svensk standard måste kompletteras där anläggningens beskaffenhet eller skötsel så kräver det.

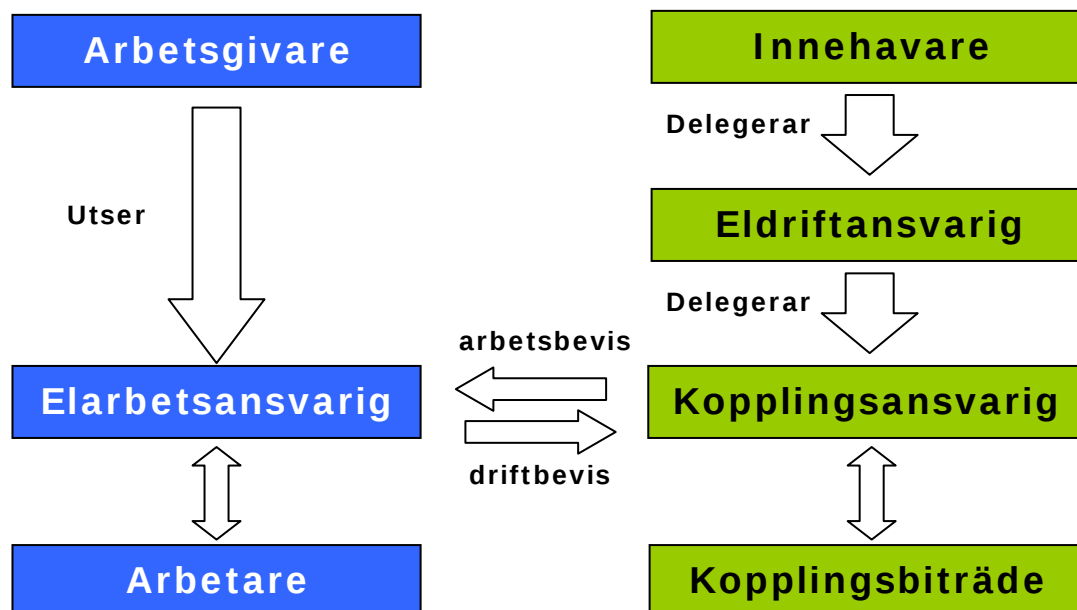
*Elsäkerhetsanvisningarna (ESA)* är ett exempel på sådana anvisningar (dvs. annan erkänd standard/praxis) som avses i föreskrifterna för såväl skötsel som arbete. *ESA* är kraftindustrins gemensamma anvisningar som täcker sådana anläggningar som är vanliga inom branschen. Arbetsgivaren fastställer om arbetet ska utföras enligt dessa anvisningar med hänsyn till arbetets karaktär och där anläggningens beskaffenhet eller skötsel så kräver det.

Företagets ESA-organisation ska vara tydlig, se *figur 5:1*. Ett sätt att uppnå tydlighet är att använda ESA Grund med komplement, för arbete utan, med eller nära spänning, som Svensk Energi har tagit fram och som är vedertagen praxis inom elbranschen i Sverige.

### Driftorganisation

Utbyte av kontaktvägar mellan kundens driftorganisation och nätägarens driftorganisation skall ske före inkoppling av produktionsanläggning. Denna bör följa vedertagen praxis enligt *ESA*.

### ESA Organisation



Figur 5:1, Ansvarsfördelning, kontaktvägar och relationer enligt ESA-Organisation.

### **Arbetsgivare / Innehavare**

Arbetsgivaren/innehavaren är ansvarig för att nödvändiga funktioner utses och tillämpas.

### **Elarbetsansvarig**

Arbetsgivaren skall för varje arbete utse en för arbetet ansvarig person, den elarbetsansvarige, som antingen är en skriftligt namngiven person eller en person som kan namnges med hjälp av en för varje tidpunkt aktuell vaktlista, beredskapsförteckning eller liknande. Elarbetsansvarig ska alltid befinna sig på eller i anslutning till arbetsplatsen (se ESA grund).

### **Arbetare**

Arbetare är den person, oberoende av tjänsteställning, som under ledning av en elarbetsansvarig, utför arbete.

### **Eldriftansvarig**

Innehavaren skall ha utsett en eldriftansvarig för varje anläggnings skötsel. Med skötsel avses all verksamhet som behövs för att ett arbete skall kunna genomföras på ett säkert sätt - eller för att en anläggning eller anordning skall vara säker. Detta innefattar allt arbete där det kan finnas elektrisk fara. Enligt ESA så avser det arbete som bedrivs enligt någon av arbetsmetoderna: Arbete utan spänning, Arbete med spänning eller Arbete nära spänning.

### **Kopplingsansvarig**

Person som planlägger och svarar för kopplingar inom, av eldriftansvarig, angivet område är kopplingsansvarig.

### **Kopplingsbiträde**

Person som på order av kopplingsansvarig utför kopplingar benämns kopplingsbiträde.

## **5.5 Reläskydd och felbortkoppling**

Elektriska anläggningar kan drabbas av fel av olika slag och kan av varierande orsaker hamna i onormala drifttillstånd. Felströmmar såväl som onormal frekvens eller spänning kan orsaka personskador, skador eller haveri på utrustning eller anläggningsdelar eller störa driften. För att minimera skadeverkningarna i samband med fel och onormala drifttillstånd förses elkraftssystemet och dess komponenter med reläskydd av olika slag, för att isolera felbehäftade anläggningsdelar och för att skydda icke-felbehäftade anläggningsdelar mot skada vid onormala drifttillstånd. Kraven på felbortkoppling är beskrivna i föreskrifterna (*ELSÄK-FS 2008:1*). En starkströmsanläggning ska enligt föreskrifterna vara utförd enligt god elsäkerhetsteknisk praxis så att den ger betryggande säkerhet mot person- eller sakskada på grund av el. För att uppfylla föreskriftens krav på betryggande säkerhet måste felbortkopplingssystemet var snabbt och tillförlitligt. Reläskyddssystemen ska utformas så att de skyddar såväl produktionsanläggningen som elnätet, oavsett var felet inträffar. God elsäkerhetsteknisk praxis i fråga om utformning av felbortkopplingssystemet innebär normalt att alla fel, oavsett feltyp (jordfel eller kortslutning) och felläge, ska ha både ordinarie bortkoppling och reservbortkoppling.

För att upprätthålla en hög driftsäkerhet i det sammankopplade nationella systemet ställer Svenska Kraftnät krav på bibehållen nätanslutning och effektutmatning, dels för stationära avvikelser, från nominella värden, i

spänning och frekvens, dels för spänningsprofiler i stamnätet i samband med störningar. Det är viktigt att reläskyddsinställningarna inte strider mot föreskriften SvKFS 2005:2.

I elektriska kraftsystem med omriktarstyrda produktionsenheter blir felströmsnivåerna lägre och ibland obetydligt högre än de normala belastningsströmmarna. Sådana system kräver särskild uppmärksamhet vid utformningen av felbortkopplingen.

Varje produktionsanläggning som ansluts till elnätet skall, som skydd för **elnätet**, förses med nedanstående skyddsfunktioner:

- över- och underfrekvensskydd
- trefasigt över- och underspänningsskydd
- kortslutningsskydd
- skydd för oönskad ödrift
- jordfelsskydd (i förekommande fall, se KP 5.5.6, *Jordfelsskydd*)

Varje produktionsanläggning bör, som skydd för **produktionsanläggningen** och dess komponenter, förses med nedanstående skyddsfunktioner:

- över- och underfrekvensskydd
- trefasigt över- och underspänningsskydd
- kortslutningsskydd
- överströmsskydd
- jordfelsskydd (i förekommande fall, se KP 5.5.6, *Jordfelsskydd*)
- effektriktrelä (bakeffektskydd)
- osymmetriskydd

Skydden enligt ovan ska tolkas som den nödvändiga uppsättningen, som i de flesta fall även bör vara tillräcklig. I vissa fall kan skyddsuppsättningen behöva kompletteras. Det kan t.ex. vara olämpligt med överströmsskydd och man tvingas anskaffa underimpedansskydd.

Rekommenderade funktionsvärden i nedanstående skydd skall kunna justeras utifrån de yttre förutsättningarna.

### 5.5.1 Över- respektive underfrekvensskydd

Skyddet är i första hand till för att förhindra önätsdrift samt för att inte förvärra uppkomna systemfel i nätet. Förutom att det skyddar elnätet fungerar det också som ett internt skydd i kraftverket genom att skydda generatoren mot onormal drift.

*Rekommenderade inställningar för underfrekvensskyddet:*

- Skyddet skall bryta aggregatets förbindelse med nätet vid en frekvens understigande 47,5 Hz, med 0,5 sekunders fördröjning.

*Rekommenderade inställningar för överfrekvensskyddet:*

- Skyddet skall bryta aggregatets förbindelse med nätet vid en frekvens överstigande 52,5 Hz (för vindkraftgrupper gäller 52,0 Hz), med en tidsfördröjning av 0,5 s.

### 5.5.2 Trefasigt över- respektive underspänningsskydd

Spänningsskyddet skyddar mot över- respektive underspänning i elnätet samt minskar påverkan på kraftverket vid fel eller onormala förhållanden i elnätet. Överspänning i kombination med normal eller låg frekvens kan leda till skadlig övermagnetisering av generatoren eller aggregattransformatorn.

Underspänningsskyddet kan även indirekt skydda mot överström i vissa

lägen. Spänningsskydden bör, så långt möjligt, ställas selektivt mot övriga skydd i nätet.

*Rekommenderade inställningar:*

Minst två olika nivåer med separat tidsfördröjning för över- och underspänning:

- Ett snabbt skydd som frångör anläggningen för en spänning överstigande 120%, med en tidsfördröjning om 0,2 s.
- Ett snabbt skydd som frångör anläggningen för en spänning understigande 80%, med en tidsfördröjning om 0,5 s. Speciellt underspänningsskyddet kan kräva uppmärksamhet för att inte riskera att ge oönskad selektiv bortkoppling.

### 5.5.3 Effektriktrelä (bakeffektskydd)

Skyddet skall skydda mot mekaniska påfrestningar i kraftverket, slitage, önskad effektförbrukning och onormal drift.

*Rekommenderade inställningar:*

- Frångör inom 5 sekunder efter att generatoren börjat gå som motor. Effektförbrukningen vid motordrift varierar beroende på kraftverkstyp, men brukar vara någon eller några procent av märkeffekten. Effektinställningen väljs vanligen till halva värdet för effektförbrukningen vid motordrift.

### 5.5.4 Osymmetriskydd

Osymmetriskyddet skall vid bortfall av en eller två faser frångöra aggregatet från nätet innan ledningsskyddet i fördelningsstationen löser.

*Rekommenderade inställningar:*

- Mindre osymmetrier i produktionsanläggningens strömvärden skall kunna detekteras (med "mindre" menas att det inte får uppstå, eller riskeras att uppstå, större osymmetri i anslutande elnätet än totalt 2% minusföljdsspänning, enligt SS-EN-61000-2-2). Normalt ställs osymmetriskyddet efter vad generatoren tål.

### 5.5.5 Kortslutningsskydd

För skydd mot kortslutning i en produktionsanläggning, bestående av ett enstaka kraftverk, som matas från nätet kan överströmsskydd i kombination med effektbrytare ofta användas. Storleken på aggregaten eller nätimpedansen får avgöra valet av kortslutningsskydd. För produktionsanläggningar eller vindkraftgrupper, bestående av flera aggregat, kan mer sofistikerade kortslutningsskydd erfordras, t.ex. längsdifferentielskydd, impedansmätande skydd eller skyddslösningar med kommunikation. Det är anläggningsinnehavaren som ansvarar för att rätt typ av kortslutningsskydd väljs och att utlösning villkor enligt föreskrifterna uppfylls. Aktuell nätimpedans erhålls av elnätsföretaget vid förfrågan. Används gångsäkringsapparater skall dessa monteras så att bottenplattan ansluts till nätsidan i anläggningen.

För bortkoppling av felströmsbidrag från produktionsanläggningen vid kortslutning i nätet är felströmmens storlek beroende på produktionsanläggningens utformning och kan i vissa fall bli av samma storleksordning som den normala driftströmmen, varvid överströmskriterier inte är tillräckliga för att detektera kortslutning. Bortkoppling av

produktionsanläggningen kan därför istället ske av distansskydd, av enklare underimpedansskydd eller via fjärrutlösning.

*Rekommenderade inställningar för skydd av aggregatet:*

- Vid aggregattransformatorer >800 kVA ska överströmsskyddet för produktionsanläggningen utgöras av reläskydd och effektbrytare. Lämpliga inställningsvärden väljs i samförstånd med elnätsföretaget för att erhålla selektivitet gentemot överströmsskydd i anslutande nät.

*Rekommenderade inställningar för skydd av anslutande nät:*

– Kortslutningsskydd av lämplig typ, baserat på produktionsanläggningens förmåga att mata ut felström, väljs i samförstånd med elnätsföretaget.  
- Inställningsvärden väljs så att selektivitet så långt möjligt erhålles gentemot skydd i anslutande nät.

### 5.5.6 Jordfelsskydd

I *Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda, ELSÄK-FS 2008:1*, redovisas allmänna bestämmelser, god elsäkerhetsteknisk praxis, grundläggande säkerhetskrav och särskilda säkerhetskrav för olika anläggningstyper. Av speciellt intresse är att:

- En högspänningsanläggning som ingår i ett direktjordat system ska vara så utförd att jordslutningar kopplas ifrån automatiskt inom högst 0,5 sekunder (5 kap., 8 §).
- En högspänningsanläggning i ett icke direktjordat system ska vara utförd så, att en- eller flerpoliga jordslutningar kopplas ifrån snabbt och automatiskt. Härmed menas fränkoppling inom 2 eller 5 sekunder beroende på storleken av spänningssättningen av jordade delar. Undantag gäller för en anläggning för högst 25 kV nominell spänning som inte innehåller någon luftledning. En sådan anläggning får vara utförd så, att en enpolig jordslutning enbart signaleras automatiskt (5 kap., 3 §).
- En högspänningsanläggning i ett icke direktjordat system i vilken det ingår
  - en friledning i förstärkt utförande,
  - en friledning med plastbelagda ledare eller,
  - en luftledning utförd med kabel utan metallmantel eller skärmska jordfelsskydden ha högsta möjliga känslighet vid detektering av jordfel. Reläfunktionen för fränkoppling ska vara säkerställd för resistansvärden upp till 5 000  $\Omega$  (5 kap., 4 §).
- En högspänningsanläggning i ett icke direktjordat system för högst 25 kV nominell spänning, i vilken det ingår luftledningar av något annat slag än vad som anges i 4 §, ska ha jordfelsskydden anordnade så, att reläfunktionen för fränkoppling är säkerställd för resistansvärden upp till 3 000  $\Omega$ . Inom områden som inte omfattas av detaljplan får en sådan anläggning innehålla ett fåtal spann friledning med plastbelagda ledare (5 kap., 5 §).

*Rekommenderade inställningar:*

- Vid jordfel i direktjordade system säkerställs frångkoppling inom 0,5 s.
  - Vid jordfel i icke direktjordade system säkerställs frångkoppling inom 2 s.
- I de fall man får problem med selektiviteten i icke direktjordade system konsulteras starkströmsföreskrifterna (*ELSÄK-FS 2008:1*, Tabll 1) för att utvärdera huruvida felbortkopplingstiden kan utsträckas till 5 s.

I de fall det föreligger risk för att anläggningen kan gå i ödrift, skall ett jordfelsskydd, som mäter nollföljdsspänningen i elnätsföretagets nät, monteras i anslutningspunkten.

### **5.5.7 Skydd mot oönskad ödrift**

Ödrift, ibland även kallad önätsdrift, uppstår när en mindre del av ett elkraftssystem, innehållande både produktion och belastning, förlorar den elektriska kopplingen till ett större elkraftssystem, spontant, i samband med fel eller som en planerad driftåtgärd. Vid oplanerad övergång till ödrift kommer frekvensen eller spänningen i de allra flesta fall att snabbt gå utanför reläskyddens inställningsvärden och produktionsanläggningar i önätet kopplas bort, varvid önätet blir spänningslöst. För det fall att såväl aktiv som reaktiv effektbalans råder i önätet, förhållanden som säkerställs vid planerad övergång till ödrift, kommer inga frekvens- eller spänningsskydd att detektera ödriften. Problemet med oplanerad ödrift, där önätet är i såväl aktiv som reaktiv balans, är att felbortkoppling inte är säkerställd. Det kan t.ex. bli så att nollpunktsutrustning för jordfelsdetektering hamnat utanför önätet.

För att förhindra oplanerad ödrift är de skydd som beskrivits tidigare i detta avsnitt tillräckliga, i de flesta fall. Aktivering av över- eller underspänningsskydd eller över- eller underfrekvensskydd innebär att produktionsanläggningarna i önätet frångkopplas och därmed också matningen till önätet.

I de fall där aktiv och reaktiv effektbalans råder i önätet vid övergången kan det ta lång tid innan avvikelserna mellan produktion och konsumtion blir tillräckligt stora för att spännings- eller frekvensskydden skall koppla från produktionsanläggningarna. I de fall där önätet har såväl frekvensreglerförmåga som spänningsreglerförmåga kan önätet drivas under mycket lång tid, utan att något reläskydd detekterar ödriften.

Fasskiftsskydd eller frekvensderivatskydd har ibland använts för att få en snabbare frångkoppling än vad frekvens- och spänningsskydden ger. Fasskiften uppstår i samband med fel och kopplingar, men inte med säkerhet vid övergång till ödrift, varför skyddet får betraktas som irrelevant för ödriftsdetektering. I samband med stora störningar blir, enligt Svenska Kraftnät, beloppet av frekvensderivatan upp mot 0,5 Hz/s omedelbart efter störningen (-0,15 och +0,10 Hz/s har uppmätts) omedelbart efter störningen. Svenska Kraftnät ställer krav på bibehållen nätanslutning så länge frekvensen ligger i intervallet 47,5-52,5 Hz (övre gränsen är för vindkraft 52,0 Hz) och spänningen ligger i intervallet 90-105%, oavsett vilket värde frekvensderivatan har. Skulle en systemseparation uppstå kan frekvensderivatan bli ännu större. För ett fall där övergången till ödrift skulle leda till en frekvensderivata som ligger utanför vad som kan erhållas i samband produktions- eller lastfrånslag, skulle man kunna tänka sig att använda ett frekvensderivatskydd för att detektera ödriften. Med de inställningsvärden som kan bli aktuella skulle ödriften ändå detekteras av över- eller underfrekvensskydden inom maximalt 5 s.

Med modern GPS-teknik för noggrann tidssynkronisering finns metoder och produkter, så kallade PMU:er (Phasor Measurement Unit), för att med hög noggrannhet kunna jämföra fasläget för växelströmsstorheter, som uppmäts på geografiskt skilda platser. Även om det finns en icke försumbar sannolikhet att ett oplanerat önät förblir i aktiv och reaktiv balans, är det ytterst osannolikt att spänningen i önätet, sedan önätet förlorat synkronismen med det övriga nätet, även bibehåller sitt fasläge relativt spänningarna i det övriga nätet. Med hjälp av en PMU i produktionsanläggningen och en eller flera PMU:er, som representerar fasläget i det övriga nätet, så går det att konstruera en önätsdetekteringsfunktion med stor tillförlitlighet (dvs. stor sannolikhet för funktion vid ödrift och liten sannolikhet för funktion när ödrift inte råder).

I vissa elnätsstrukturer skulle olika kombinationer av brytar- och frånskiljarlägen kunna utnyttjas för att detektera ödrift och via fjärrfrånkoppla produktionsanläggningar i önätet.

För att säkerställa att önätet och produktionsanläggningen inte drivs med ett bestående jordfel gäller kravet ovan under rubriken "Jordfelsskydd", d v s mätning av nollföljdsspänning i önätet.

## 5.6 Övriga skyddskrav och skyddsanordningar

Om produktionsanläggningen är ansluten till elnätsföretagets högspänningsnät skall låsbar elkopplare med brytförmåga för anläggningens totala märkeffekt monteras i anslutningspunkten till elnätsföretagets nät.

För att möjliggöra byte av mättransformatorer skall jordningsmöjlighet genom kulbult alternativt fasta jordningskopplare finnas på båda sidor om mättransformatorerna.

Enligt SS 4362104 ska godkänd nödöppnare finnas på dörr ut från ställverksrum.

Elnätsföretaget eller någon denne anlitat ska efter samråd med producenten lämna tillträde till producentens anläggning. Elnätsföretaget har också rätt att göra en besiktning av kundens anläggning enligt de Allmänna avtalsvillkoren Nät 2009 H.

Anpassning av reläskyddsanläggningen som möjliggör reläskyddsprovning under drift, t. ex. genom användning av standardiserat provdon, rekommenderas, för att minska produktionsbortfallet.

Reläskyddsanläggningen ska vara provad och driftsatt innan produktionsanläggningen spänningssätts, så att reläskydden kan koppla bort eventuella fel i anläggningen i samband med den första spänningssättningen.

Modern numerisk skyddsutrustning har ofta självövervakning och möjlighet att sända larmsignal för vissa typer av signalbortfall eller interna fel. Vidare utrustas allt fler skyddsterminaler standardmässigt med störningsskrivare. Det är önskvärt att utnyttja den moderna teknikens möjligheter till larm och registrering.

Produktionsanläggningen skall vara utförd för att kunna hantera automatisk återinkoppling av mottagande anslutningsledning i förekommande fall.

## 6 Mätning

Innehavare av nätkoncession är enligt 3 kap 10 § *ellagen* (1997:857) skyldig att utföra mätning och rapportering av överförd el. Vid mätning av inmatning ska mätarna utgöras av energimätare i kombiutförande med mätterminal för 1-timmesvärden som registrerar uttagen respektive inmatad aktiv och reaktiv effekt.

### 6.1 Myndighetskrav

Föreskrifter och råd gällande krav på mätsystemet meddelas av SWEDAC, Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll. SWEDAC:s regelverk omfattar alla mätare och mätsystem i in- och utmatningspunkter till koncessionspliktigt nät samt i gränspunkter mellan nät med olika ägare. Det betyder att endast mätare som används av ett elnätsföretag omfattas av reglerna.

Kundanläggningarna delas upp i fem kategorier med avseende på storlek. Största tillåtna fel i mätsystemet skall vid normala driftförhållanden inte överstiga angivna värden i *tabell 6:1*.

| Mätsystem för mätning av överförd el indelas i följande kategorier: |                                                                                 |        |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Kategori 1                                                          | Lågspänning utan mättransformator – direktmätning                               | ± 5%   |
| Kategori 2                                                          | Lågspänning med strömtransformator (>63A)                                       | ± 2%   |
| Kategori 3                                                          | Högspänning med ström- och spänningstransformator med mätsystemeffekt < 2MW     | ± 2%   |
| Kategori 4                                                          | Högspänning med ström- och spänningstransformator med mätsystemeffekt 2 – 10 MW | ± 1%   |
| Kategori 5                                                          | Högspänning med ström- och spänningstransformator med mätsystemeffekt > 10 MW   | ± 0,5% |

Tabell 6:1, Kategorier av mätsystem samt största tillåtna fel i procent.

Elmätare omfattas av *Mätinstrumentdirektivet*, 2004/22/EG, vars tillämpningsområde är begränsat till elmätare i mätpunkter med säkringsstorlek upp till och med 63 A, dvs. för kategori 1. För övriga mätsystem gäller nationella regler. SWEDAC:s föreskrifter om elmätning och elmätare visas i *tabell 6:2*.

| SWEDAC:s föreskrifter som rör elmätning |                                                       |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Författning                             | Beskrivning                                           |
| STAFS 2009:8                            | Om mätsystem för mätning av överförd el               |
| STAFS 2009:9                            | Om återkommande kontroll av mätare för aktiv elenergi |

Tabell 6:2, SWEDAC:s föreskrifter som rör elmätning.

STAFS 2009:8 kan ses som den övergripande författningen som omfattar alla mätsystem vad gäller mätvärdesregistrering. Därutöver finns i huvudsak bestämmelser om mätsystem i kategori 2 - 5 vad avser krav på delkomponenter, största tillåtna fel för mätsystemet, kontroll vid idrifttagande samt återkommande kontroll.

STAFS 2009:9 tillämpas endast på elmätare i kategori 1 upp till och med 63A.

#### 6.1.1 Installationsbestämmelser

Installation av mätanläggning vid lågspänning ska utföras av behörig installatör och enligt Svensk Standard, SS 4370140. Svensk Energis

webbaserade handbok *AMI* (Anslutning-Mätning-Installation) innefattar även branschöverenskommelser inom området som tidigare var standardiserade i *SS 4370140*, t.ex. hanteringen av för- och färdiganmälan.

Installation av mätanläggning vid högspänning ska utföras av behörig installatör. Installation av mätanordning ska vid inomhus kundanläggning för 3,3-22 kV utföras enligt *Installationsbestämmelser för högspänningsanläggningar - IBH 04*. I bestämmelserna *IBH 04* finns bl. a. tekniska regler och krav för mätinstallationens utförande och tillhörande utrustning och apparater. Det bör dock observeras att i *IBH 04* krävs bara 2-systemig mätning men idag rekommenderas alltid 3-systemig.

### 6.1.2 Arbete enligt ESA (Elsäkerhetsanvisning)

I de flesta fall är kontroll och revision att betrakta som en normal skötselåtgärd enligt *ESA-G:05*. Varje person som deltar i arbetet ska vara en fackkunnig eller instruerad person eller övervakas av en sådan person.

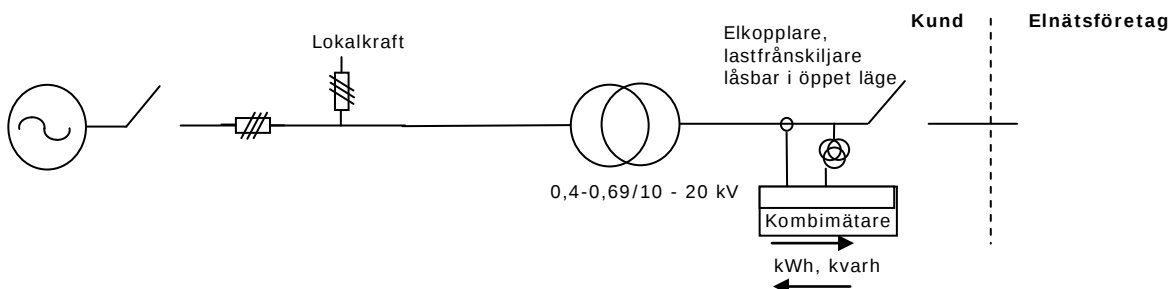
### 6.1.3 Personsäkerhet vid användning av mätutrustning

Instrument och mät hjälpmedel ska kontrolleras regelbundet med avseende på elsäkerhet. Mätinstrument och mätledningar bör vara utförda enligt gällande standard, t.ex. *SS EN 61010-1*, avseende tålighet mot förväntade transienta överspänningar enligt Cat II, III eller IV (framgår av bruksanvisning och av märkning på instrumentet).

## 6.2 Mätning av överförd el

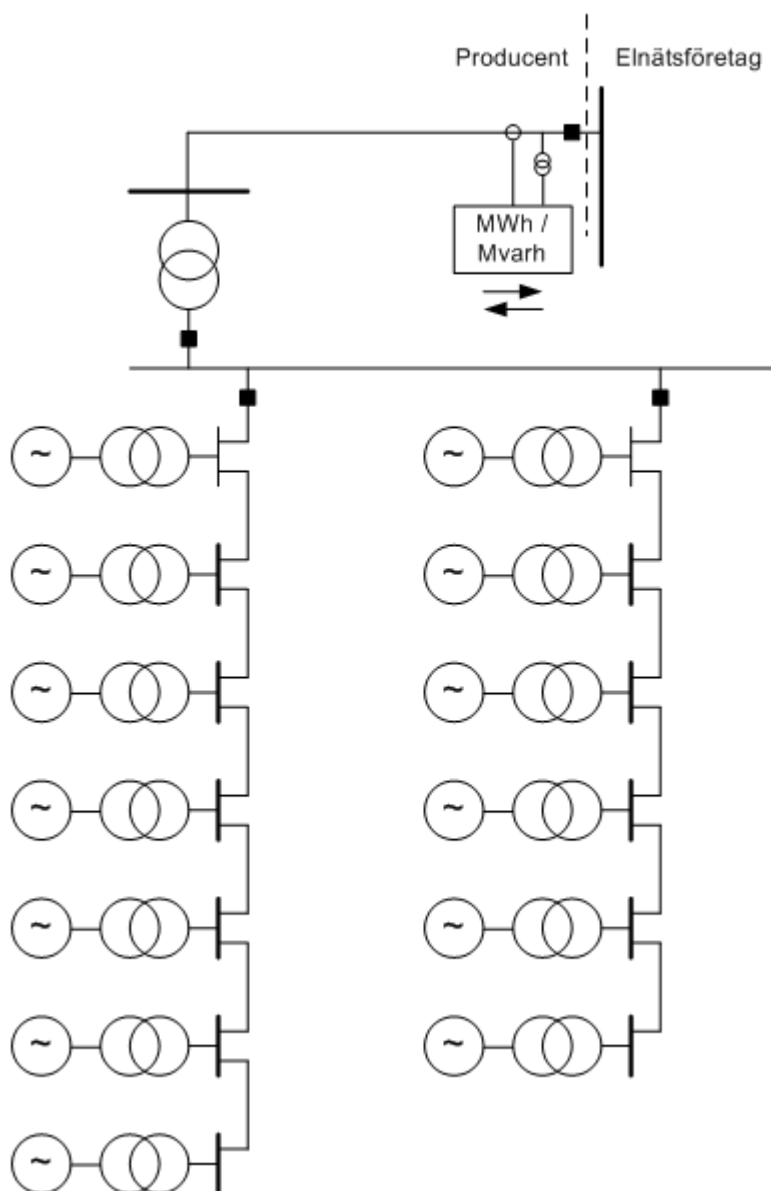
Mätning av elleveransen skall ske i inmatningspunkten, dvs. i den punkt där elproducenten är ansluten till och matar in på elnätsföretagets nät.

Äger producenten t.ex. en transformator till 10 kV sker mätningen på uppsidan av transformatorn, se *figur 6:1*.



*Figur 6:1*, Ren inmatning alternativt kombinerad inmatning och uttag på 10 eller 20 kV.

Större anläggningar med egen transformering till regionnätetsnivå kan vara anslutna radiellt via en ledning som antingen ägs av producenten eller av ett särskilt elnätsföretag för just den ledningen. Anslutningen till regionnätet sker i elnätsföretagets regionnätstation, där även mätningen sker, se *figur 6:2*.



Figur 6:2, Större produktionsanläggning med anslutning i regionnätsstation.

En produktionsanläggning har normalt ett nettouttag i anslutningspunkten vid låg eller ingen produktion varför den aktiva effekten mäts i båda riktningarna. Normalt mäts även den reaktiva effekten i båda riktningarna.

Plats ska finnas för elnätsföretagets mätutrustning inklusive hjälpkraft 230 V.

Ett mätsystem enligt kategorierna 2-5 ska enligt STAFS 2009:8 kontrolleras i sin helhet innan det tas i drift. Mätsystemets funktion och största fel ska fastställas och kontrollrapport upprättas. Elnätsföretaget har för kategorierna 2-5 dessutom en skyldighet att fortlöpande kontrollera och verifiera mätsystemet vart 6:e år varför mättransformatorernas primär- och sekundäranslutningar måste vara enkelt åtkomliga.

Mätsystemet och elmätaren måste utformas så att de fungerar på avsett sätt i den miljö där de installeras.

Många elnätsföretag har arbetat fram rutiner och utrustning för att underlätta installation, utbyte och kontroll av mätare samt tillhörande mättransformatorer.

### **6.3 Ackreditering för kontroll av mätare och mätsystem**

Den som utför kontroll av mätsystem i samband med drifttagning eller återkommande kontroll ska vara ett ackrediterat kontrollorgan av typ A, B eller C. Kontrollorganet ska därvid uppfylla kvalitetsstandarden *SS-EN ISO/IEC 17020*, och rapporterna ska vara försedda med information om att kontrollen utförts i organisationens egenskap av kontrollorgan.

### **6.4 Mätning för elcertifikat**

För producenter anslutna till elnät som används med stöd av koncession svarar elnätsföretaget för mätning och rapportering till Svenska Kraftnät. För producenter anslutna till nät som används utan stöd av koncession ska anläggningens innehavare mäta och rapportera den certifikatsberättigande produktionen till Svenska Kraftnät.

### **6.5 Byte av effektriktning**

Vid anslutning av produktion inom ett nätavräkningsområde kan inmatad effekt bli så pass stor att effekten under delar av året byter riktning i gränspunkten till överliggande eller angränsande nät. I sådana fall krävs en dubbelriktad mätning i gränspunkten. Finns det flera gränspunkter som kan få en ändrad effektriktning, t.ex. i samband med ändrad driftläggning, krävs dubbelriktad mätning även i dem.

## 7 Drift av produktionsanläggning

Elleverans från en produktionsanläggning skall ha en sådan kvalitet att elnätsföretaget, på kort såväl som på lång sikt, kan uppfylla elkvalitetskraven i tillämpliga standarder till anslutna kunder, t.ex.:

- *SS-EN 61000-2-2 Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)– Del 2-2: Miljöförhållanden - Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer på elnät (för lågspänning)*
- *SS-EN 50160 Spänningens egenskaper i elnät för allmän distribution (upp till 35 kV)*

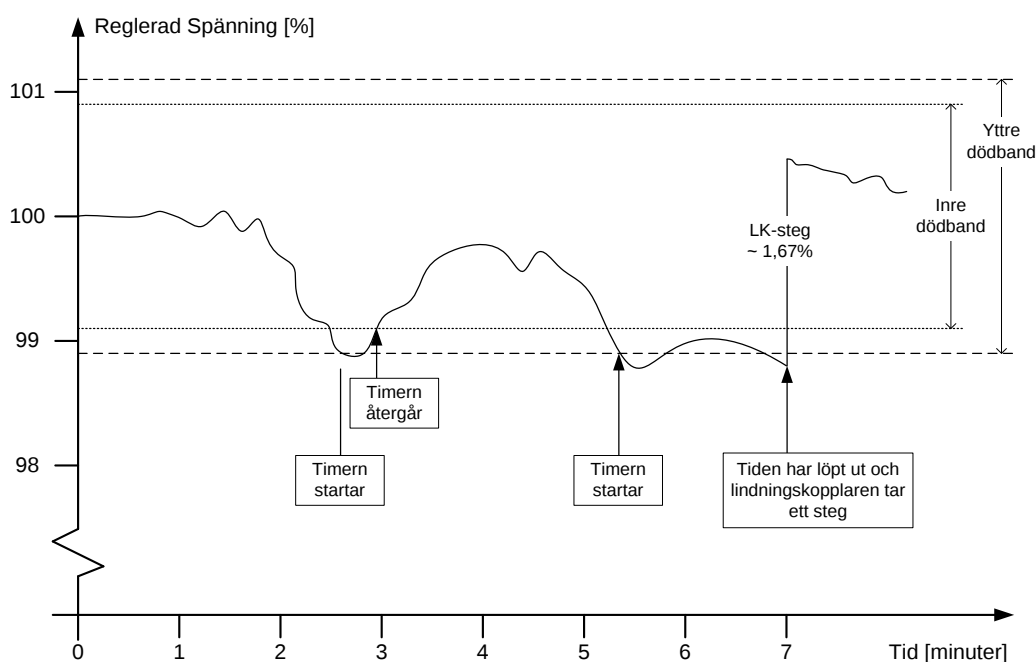
För att Elnätsföretagen ska kunna säkerställa att elkvalitetskraven uppfylls tilldelas respektive produktionsanläggning bara en del av störningsutrymmet som anges i standarder. Vilka nivåer som gäller finns beskrivet i KP 4, *Dimensionering av produktionsanslutning*.

För stamnätet har Svenska Kraftnät tagit fram tekniska riktlinjer för elkvalitet, *Spänningens egenskaper i stamnätet (TR6-01)* respektive *Planerings- och emissionsnivåer, mätmetoder och ansvarsfördelning avseende elkvalitet i stamnätet (TR6-02)*. I tillämpliga delar kan dessa riktlinjer direkt appliceras på regionnätetsnivå och i andra delar tjäna som vägledning för vilka krav och planeringsnivåer som ska gälla för elkvaliteten i regionnäten.

### 7.1 Reaktivt effektutbyte och spänningshållning

Utgångspunkten är att reaktivt effektutbyte mellan en produktionsanläggning och ett anslutande nät skall hållas på ett minimum för att förhindra onödiga förluster i nätet. I vissa fall kan elnätsföretaget villkora anslutningen med att produktionsanläggningen på lämpligt sätt bidrar till spänningsregleringen. Detta kan t.ex. ske genom att kompensera för spänningspåverkan av den egna effektproduktionen eller den reaktiva produktionen i uppsamlingsnätet.

Spänningshållning i regionnätet sköts normalt med hjälp av lindningskopplare på matande systemtransformator och med shuntkompensering. Spänningsregleringen sker med tidsfördröjningar på 10-tals sekunder. *Figur 7:1* visar ett typiskt scenario för lindningskopplarreglering, där börvärdet för den reglerade spänningen är 100%. Regionnätet befinner sig under pålastning med sjunkande spänning. När spänningen sjunker under nedre nivå för det yttre dödbandet startar en timer. Om spänningen stiger till värden över nedre nivå för det inre dödbandet så återgår timern. Om däremot timern löper ut beordras ett lindningskopplarsteg (i riktning mot börvärdet). Det yttre dödbandet väljs ungefär 120% av lindningskopplarsteget och det inre dödbandet väljs något mindre.



Figur 7:1, Lindningskopplarreglering med typiska steg och tidsfördröjningar.

I fall då en generator används för spänningsreglering saknar normalt transformatorn lindningskopplare, alternativt är lindningskopplaren låst i ett bestämt läge. Om både lindningskopplare och generator ska reglera spänningen eller om det finns flera spänningsreglerande generatorer anslutna alltför nära varandra finns en risk att de börjar arbeta mot varandra, varför en koordination mellan de olika enheterna krävs.

Spänningshållningen på stamnätet sköts normalt med hjälp av shuntkompensering och förändringar i driftläggning. Ägare av regionnät som ansluter till stamnätet är ansvarig för att hålla utbytet av reaktiv effekt så nära noll som möjligt i utbytespunkten med stamnätet.

## 7.2 Störningstålighet

Svenska Kraftnäts föreskrift SvKFS 2005:2 definierar små anläggningar som anläggningar med en installerad effekt mellan 1,5 och 25 MW, medelstora anläggningar 25-100 MW och stora anläggningar större än 100 MW.

Störningstålighet för produktionsanläggningar kan delas in i tre kategorier:

- Vid *kortslutningar eller jordfel* i kraftverket eller i anslutande nät är det av yttersta vikt att felströmsbidraget från kraftverket kopplas bort snabbt och säkert.
- *Kopplingar* eller liknande som utförs av elnätsföretaget kan ge upphov till transienter i nätet. För att undvika onödig frångkoppling och därtill kopplat produktionsbortfall bör produktionsanläggningen vara utrustad så att den klarar att bibehålla nätanslutningen och fortsätta effektutmatningen vid sådana händelser.

- *Åskstörningar* i nätägarens nät kan ge upphov till spänningsdippar eller överspänningar. För dessa händelser måste innehavaren av produktionsanläggningen säkerställa att SvKFS 2005:2 uppfylls.

### 7.3 Start och stopp av elproduktionen

För att kraven på spänningsvariationer skall kunna uppfyllas krävs att elproduktionsanläggningar inte startas eller stoppas för snabbt utan att lindningskopplarna i anslutande nät hinner reglera spänningen. Detta kan vara ett problem exempelvis vid upprepade start och stopp vid maxproduktion. För vindkraftverk motsvarar detta start och stopp vid märkvind. Vindkraftparker måste följa SvK:s krav att högst 30 MW/minut får kopplas bort.

Vid behov skall vindkraftaggregat förses med anordning för begränsning av antal inkopplingar till nätet per tidsenhet. Den skall vara utförd så att nytt inkopplingsförsök fördröjs i 10 – 60 minuter räknat från senaste inkoppling. Inställningen får ej ändras utan elnätsföretagets medgivande.

### 7.4 Nedstyrning vid nätproblem

Produktionsanläggningar är ofta radiellt anslutna till nätet. Vid fel på anslutande ledning eller transformator bortkopplas i sådana fall hela produktionsanläggningen av brytare.

Vid onormal koppling eller störd drift i angränsande delar av elnätet kan det vara nödvändigt att styra ned eller fränkoppla elproduktionsanläggningar. Kontrollerad nedstängning eller nedstyrning är skonsammare för produktionsanläggningen än brytarfränkoppling. Det kan därför vara av intresse för kraftverksinnehavaren att särskilt avtala med elnätsföretaget om att styra ner effekten istället för att fränkoppla i de fall där det är möjligt.

Nedstyrning av effekt kan ske genom att elnätsföretaget kontaktar driftcentralen för respektive elproduktionsanläggning eller att elnätsföretaget har möjlighet att sända nedstyrningssignal direkt till anläggningen. För vindkraftparker finns det definierade kommandon för effektbegränsning och nedstängning i standarden SS-EN 61400-25 Vindkraftverk - Kommunikation för övervakning och styrning av vindkraftverk.

Kravet på nedreglering i Svenska Kraftnätets föreskrift SvKFS 2005:2 är att vindkraftgrupper skall kunna regleras så snabbt att effekten reduceras till under 20% av maximal effekt inom 5 sekunder.

I avtalet mellan elnätsföretaget och anläggningsägaren bör det framgå vilka kommandon som ska vara tillgängliga och vilken information som skall vara tillgänglig för nätägaren samt vilka åtgärder som skall vidtas för att upprätthålla god IT-säkerhet.

### 7.5 Ödrift

Leverans till elnätet får normalt inte ske om nätet tappat sin ordinarie spänningsmatning. Föreligger möjlighet till ödrift, där elnätsföretagets nät ingår i önätet, skall ödrift genomföras i samförstånd mellan elnätsföretaget och driftansvarig för produktionsanläggningen.

Uppkommer ett spontant önat där elnät eller produktionsanläggningar, som inte särskilt är anpassade för ödrift, ingår, skall produktionsanläggningen frånkopplas.

## 8 Bilagor

**Bilaga 1** Ordförklaring

**Bilaga 2** Sammanställning av regelverk, standarder och branschpraxis

**Bilaga 3** Härledning av ekvationer för dimensionering av elnätet

**Bilaga 4** Analysmetoder

**Bilaga 5** Offertförfrågan för anslutning av vindkraftverk / AMP-blanketten

## Bilaga 1 - Ordförklaringar

|                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anläggning                          | En anläggning är en fast konstruktion som tillhör fastigheten där den ligger, om den inte är anlagd på ofri grund. (fastighet och ofri grund beskrivs i jordabalken; konstruktion är sammansättning eller dimensionering av komponenter mänskligt utförda för visst ändamål)                                                                                                                                                          |
| Anslutningspunkt                    | Den punkt i vilken elektrisk energi kan överföras mellan en kundanläggning och ett koncessionspliktigt nät.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Faktorn p                           | Förhållandet mellan det maximala 10 minuters medelvärdet av ett vindkraftverks produktion av aktiv effekt och vindkraftverkets referenseffekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Flicker/flimmer                     | Subjektiva intrycket av spänningsfluktuationer i en glödlampa, det vill säga hur hjärnan och ögat uppfattar flimmer, definierade enligt SS-EN-61000-4-15 med tillägg.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Flickerkoefficienten, $c_f(\Psi_k)$ | Bestäms av uppmätta momentanvärden för strömmar och spänningar eller aktiv och reaktiv effekt samt ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel, $\Psi_k$ , som parameter (se IEC 61400-21).<br>Flickerkoefficienten används för att beräkna flickernivån under drift i den första anslutningspunkten i det nät till vilket vindkraftverket ansluts. Den anger ej flickerbidraget vid inkoppling av vindkraftverkets generator(er). |
| Flickerstegfaktor, $k_f(\Psi_k)$    | Bestäms av uppmätta momentanvärden för strömmar och spänningar eller aktiv och reaktiv effekt samt ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel, $\Psi_k$ , som parameter, se (IEC 61400-21).<br>Flickerstegfaktorn används för att beräkna flickernivån inom det vindområde där generatorkopplingar bidrar mest till flickernivån.                                                                                                 |
| Frånkoppling                        | Kopplingsåtgärd för att erhålla erforderlig fränskiljningssträcka – ESA-99                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| FÅI                                 | Fördröjd ÅterInkoppling: Automatisk återinkoppling med öppethållningstid längre än 10 sekunder.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Idrifttagning (driftsättning)       | Spänningssättning av färdigställd anläggning eller anläggningsdel vid nybyggnad eller efter större om- eller tillbyggnad – SS 437 01 40                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Inkoppling                          | Se tillkoppling                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Kortslutningsförhållandet           | $\frac{S_k}{S_{ref}}$ där $S_k$ är kortslutningseffekten i första anslutningspunkten och $S_{ref}$ är vindkraftverkets skenbara referenseffekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kortslutningsvinkel, $\Psi_k$        | <p>Nätets kortslutningsvinkel i första anslutningspunkten kan bestämmas av uttrycket:</p> $\Psi_k = \arctan \frac{X_k}{R_k}$ <p>där <math>R_k</math> och <math>X_k</math> är nätets kortslutningsresistans och kortslutningsreaktans i anslutningspunkten.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Maximal avgiven effekt, $P_{\max}$   | Den maximala effekt, mätt som ett 10 minuters medelvärde, som vindkraftverket inte överskrider oberoende av väder- och nätförhållanden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Pitchreglering (bladvinkelreglering) | Reglermetod för att, vid höga vindhastigheter, begränsa uteffekten från turbinen genom att vrida (eng. pitch) bladen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| $P_{st}$ , $P_{lt}$                  | <p>Den internationella flickermetern, definierad enligt IEC 61000-4-15, anger de två storheterna <math>P_{st}</math> ("short term") respektive <math>P_{lt}</math> (long term) för att beskriva flicker. <math>P_{st}</math> och <math>P_{lt}</math> definieras i IEC TR 61000-3-7.</p> <p><math>P_{st}</math> anger de regelbundna snabba spänningsändringarnas storlek, i förhållande till den så kallade flickerkurvan, se <i>figur 4:2 i ASP</i>. Flickerkurvan definieras av <math>P_{st}=1</math>, mätt som ett viktat medelvärde över en 10-minutersperiod. <math>P_{st}</math> beräknas enligt:</p> $P_{st} = \sqrt[\alpha]{\sum_j P_{st,j}^\alpha}, \text{ där}$ <p><math>P_{st,j}</math> är amplituden för en enskild flickerkälla, <math>\alpha</math> är en exponent, ofta vald till 3</p> <p><math>P_{lt}</math> mäts över en 2-timmarsperiod, utgående från 12 konsekutiva <math>P_{st}</math>-värden enligt:</p> $P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \cdot \sum_{j=1}^{12} P_{st,j}^3}$ |
| Referenseffekt, $P_{ref}$            | <p>Den maximala effekt som kan avläsas på ett vindkraftverks effektkurva uppmätt som angivits i IEC 61400-12.</p> <p>Referenseffekten är ett 10 minuters medelvärde av effekten vid en lufttemperatur på 15°C och ett lufttryck på 1013,3 mbar.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Referensström, $I_{ref}$             | 10 minuters medelvärde av strömmens effektivvärde när vindkraftverket producerar skenbar referenseffekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Sammankopplingspunkt (PCC)           | Punkten i ett elnät, elektriskt närmast till en specifik anläggning, och till vilken andra installationer är eller kommer att anslutas. Installationen tillåts både att tillföra och att konsumera elektricitet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Skenbar referenseffekt,              | 10 minuters medelvärde av skenbar effekt när                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $S_{ref}$                               | vindkraftverket producerar referenseffekt vid nominell spänning och frekvens med eventuellt kondensatorbatteriet inkopplat.                                                                                                                                                                             |
| Rotorströmsreglering                    | Reglering av rotorvarvtalet genom variation av asynkrongeneratorns rotorström.                                                                                                                                                                                                                          |
| Spänningsregulatorns dödband            | Bestäms av storleken på stegen i transformatorns lindningskopplare. Till exempel är dödbandet för en transformator vars lindningskopplare har stegen $\pm 1,67\%$<br>$(\pm 1,67 * 1,2) / 2 = \pm 1\%$<br>faktorn 1,2 är en säkerhetsfaktor för att inte lindningskopplaren skall reglera kontinuerligt. |
| Spänningsändringsfaktorn, $k_u(\Psi_k)$ | Bestäms utifrån uppmätt ström och spänning samt ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel, $\Psi_k$ , som parameter, se IEC 61400-21.<br>Faktorn används för att beräkna den största spänningsändringen som uppträder vid inkoppling av ett vindkraftverks generator(er).                          |
| Stallreglering (överstegsreglering)     | Reglermetod för att begränsa effekten från turbinen vid höga vindhastigheter. Bladens aerodynamiska utformning åstadkommer turbulens och därigenom en effektminskning vid höga vindhastigheter. Turbinen sägs då överstegra (eng. stall).                                                               |
| SÅI                                     | <u>Snabb Åter</u> inkoppling: Automatisk återinkoppling med öppethållningstid kortare än 1 sekund. (Anm: Inom branschen förekommer tider $\leq 5$ sekunder)                                                                                                                                             |
| Tillkoppling                            | Åtgärd varigenom elektrisk anläggningsdel spänningssätts                                                                                                                                                                                                                                                |
| ÅI                                      | <u>Åter</u> inkoppling: Tillslag av elkopplare efter fel.                                                                                                                                                                                                                                               |
| Ödrift                                  | Produktionskälla som matar lokalt nät fränkopplat från ett starkt frekvensstyrande nät.                                                                                                                                                                                                                 |

Fotnot: Beträffande övriga definitioner hänvisas till gällande Standard, starkströmsföreskrifter och Elordlistan (SEK-handbok 417).

## Bilaga 2 - Sammanställning av regelverk, standarder och branschpraxis

### 1 Lagar och direktiv

| Namn                                                                                                                                                               | Utgivare                               | År                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Elmarknadsdirektivet</b> (2009/72/EG) - om gemensamma regler för den inre marknaden för el och om upphävande av direktiv 2003/54/EG                             | Europaparlamentets och rådets direktiv |  2009   |
| <b>Maskindirektivet</b> (2006/42/EG) - om maskiner och om ändring av direktiv 95/16/EG                                                                             | Europaparlamentets och rådets direktiv |  1996   |
| <b>Mätinstrument direktivet</b> - EG-direktiv (2004/22/EG) om mätinstrument (MID)                                                                                  | Europaparlamentets och rådets direktiv |  2004   |
| <b>EMC-direktivet</b> (2004/108/EG) - om tillnärmning av medlemsstaternas lagstiftning om elektromagnetisk kompatibilitet och om upphävande av direktiv 89/336/EEG | Europaparlamentets och rådets direktiv |  2004   |
| <b>Ellag</b> (1997:857)                                                                                                                                            | Näringsdepartementet                   |  1997 |
| <b>Lag om elcertifikat</b> (2003:113)                                                                                                                              | Näringsdepartementet                   |  2003 |
| <b>Arbetsmiljölagen</b> (1977:1160)                                                                                                                                | Arbetsmiljöverket                      |  1977 |
| <b>Miljöbalk</b> (1998:808)                                                                                                                                        | Naturvårdsverket                       |  1999 |

### 2 Förfordningar och föreskrifter

| Namn                                                                                      | Utgivare             | År                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elförfordning (1994:1250)                                                                 | Näringsdepartementet |  1994 |
| Starkströmsförfordning (2009:22)                                                          | Näringsdepartementet |  2009 |
| Förfordning (1999:716) om mätning, beräkning och rapportering av överförd el              | Näringsdepartementet |  1999 |
| Förfordning (2003:120) om elcertifikat                                                    | Näringsdepartementet |  2003 |
| Förfordning (2007:215) om undantag från kravet på nätkoncession enligt ellagen (1997:857) | Näringsdepartementet |  2007 |
| Förfordning (1998:905) om miljökonsekvensbeskrivningar                                    | Miljödepartementet   |  1998 |
| Elinstallatörsförfordning (1990:806)                                                      | Näringsdepartementet |  1990 |
| NUTFS 1998:1 - Föreskrifter och                                                           | Närings- och         |  1998 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                       |                                                                                       |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <i>allmänna råd om redovisning av nätverksamhet</i>                                                                                                                                                                                                                                                          | teknikutvecklingsverkets              |                                                                                       |      |
| NUTFS 1999:1 - Föreskrifter om offentliggörande av avgifter och övriga villkor för överföring av el                                                                                                                                                                                                          | Närings- och teknikutvecklingsverkets |    | 1999 |
| STEMFS 2009:3 - Föreskrifter och allmänna råd om elcertifikat                                                                                                                                                                                                                                                | Energimarknadsinspektionen            |    | 2009 |
| STEMFS 2007:5 - Föreskrifter och allmänna råd om mätning, beräkning och rapportering av överförd el                                                                                                                                                                                                          | Energimarknadsinspektionen            |    | 2007 |
| STAFS 2009:8 - Föreskrifter och allmänna råd om mätsystem för mätning av överförd el                                                                                                                                                                                                                         | SWEDAC                                |    | 2009 |
| STAFS 2009:9 - Föreskrifter och allmänna råd om återkommande kontroll av mätare för aktiv elenergi                                                                                                                                                                                                           | SWEDAC                                |    | 2009 |
| SvKFS 2005:2 - Föreskrifter och allmänna råd om driftsäkerhetsteknisk utformning av produktionsanläggningar                                                                                                                                                                                                  | Svenska Kraftnät                      |    | 2005 |
| ELSÄK-FS 2006:1 – Föreskrifter och allmänna råd om elsäkerhet vid arbete i yrkesmässig verksamhet                                                                                                                                                                                                            | Elsäkerhetsverket                     |    | 2006 |
| ELSÄK-FS 2008:1 - Föreskrifter och allmänna råd om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda                                                                                                                                                                                                   | Elsäkerhetsverket                     |    | 2008 |
| ELSÄK-FS 2010:1, ändringsföreskrift till ELSÄK-FS 2008:1. De viktigaste ändringar berör det sjätte och sjunde kapitlet och innebär en återgång till de bestämmelser som fanns i ELSÄK-FS 1999:5 för byggnader under högspänningsledningar och kontaktledningsanläggningar för högst 750 V nominell spänning. |                                       |  | 2010 |
| ELSÄK-FS 2008:2 - Föreskrifter och allmänna råd om varselmärkning vid elektriska starkströmsanläggningar                                                                                                                                                                                                     | Elsäkerhetsverket                     |  | 2008 |
| ELSÄK-FS 2010:2, ändringsföreskrift till ELSÄK-FS 2008:2. Ändringen är en uppdatering till den nya starkströmsförordningen (2009:22) och till Arbetsmiljöverkets föreskrifter.                                                                                                                               |                                       |  | 2010 |
| ELSÄK-FS 2008:3 - Föreskrifter och allmänna råd om innehavarens kontroll av elektriska starkströmsanläggningar och elektriska anordningar                                                                                                                                                                    | Elsäkerhetsverket                     |  | 2008 |
| ELSÄK-FS 2010:3, ändringsföreskrift till ELSÄK-FS 2008:3, ändringen är en uppdatering till den nya starkströmsförordningen (2009:22).                                                                                                                                                                        |                                       |  | 2010 |
| ELSÄK-FS 2007:1 - Föreskrifter om elektromagnetisk kompatibilitet                                                                                                                                                                                                                                            | Elsäkerhetsverket                     |  | 2007 |



### 3 Svensk och Internationell Standard

Svensk Energi garanterar inte att uppgiven standard är den senaste utgåvan av respektive standard.

Standarder revideras med jämna mellanrum och förses då med ett nytt utgåvenummer efter standardbeteckningen. Handläggare bör kontrollera vilken utgåva som är gällande vid användartillfället. Säkrast görs detta via [SEK](#), Svensk Elstandard, eller SIS-förlags [hemsida](#) för kontroll av standardförteckningen.

| Beteckning       | Fastställd | Beskrivning                                                                                                                                            |
|------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SS-EN 62056-62   | 2007       | Elmätare - Datakommunikation för avläsning av elmätare - Del 62: Gränssnittsklasser                                                                    |
| SS-EN 62056-31   | 2000       | Elmätare - Datakommunikation för avläsning av elmätare och för styrning av tariff och belastning - Del 31: Lokala nät (LAN) med tvinnad parkabel       |
| SS-EN 62056-21   | 2003       | Elmätare - Datakommunikation för avläsning av elmätare och för styrning av tariff och belastning - Del 21: Lokal dataöverföring                        |
| SS-EN 62053-61   | 1998       | Elmätare – Del 61: Fordringar på spänning och effektförbrukning                                                                                        |
| SS-EN 62053-31   | 1998       | Elmätare - Del 31: Fordringar på pulsgivare för elektromekaniska eller elektroniska mätare                                                             |
| SS-EN 62052-11   | 2003       | Elmätare - Allmänna fordringar och provning - Del 11: Mätare                                                                                           |
| SS-EN 61850-7-xx | 2004       | System och nät för kommunikation i stationer och ställverk                                                                                             |
| SS-EN 61000-4-30 | 2009       | Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)- Del 4-30: Mät- och provningsmetoder – Mätning av spänningsgodhet och elkvalitet                                 |
| SS-EN 61400-25   | 2009       | Vindkraftverk - Kommunikation för övervakning och styrning av vindkraftverk                                                                            |
| SS-EN 61400-21   | 2002       | Vindkraftverk – Del 21: Mätning och bedömning av elkvalitet för nätanslutna aggregat                                                                   |
| SS-EN 61010-1    | 2002       | Elektrisk utrustning för mätning, styrning och för laboratorieändamål - Säkerhet - Del 1: Allmänna fordringar                                          |
| SS EN 61000-4-7  | 2002       | Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) - Del 4-7: Mät- och provningsmetoder - Vägledning vid övertonsmätning på elnät och på nätansluten utrustning     |
| SS-EN 61000-2-2  | 2002       | Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) – Del 2-2: Miljöförhållanden – Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer |

|                     |      |                                                                                                       |
|---------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     |      | på elnät                                                                                              |
| SS 4370140          | 2006 | Anslutning av lågspänningsinstallationer till elnätet                                                 |
| SS 436 21 04        | 1984 | Nödöppnare för dörrar till ställverksrum                                                              |
| SS 430 01 10        | 2005 | Mätarskåp                                                                                             |
| SS 430 01 01        | 2005 | Mätartavlor                                                                                           |
| SS 406 01 73        | 1987 | Provningsutrustning för elmätare                                                                      |
| SS 406 01 08        | 1988 | Elmätare - Fjärrmätning av energi och medeleffekt                                                     |
| SS-EN 50308         | 2005 | Vindkraftverk – Säkerhet och skydd vid skötsel och underhåll                                          |
| SS-EN 50160         | 2008 | Spänningens egenskaper i elnät för allmän distribution (upp till 35kV)                                |
| SS-EN ISO/IEC 17020 | 2005 | Allmänna krav på verksamhet hos olika typer av organisationer som utför kontroll (ISO/IEC 17020:1998) |

#### 4 Praxis och riktlinjer

| Namn/Beteckning                                                | Länk                                                                                | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ESA (Elsäkerhetsanvisningar)                                   |    | Anvisningar (dvs. annan erkänd standard) som avses i ELSÄK-föreskrifterna för så väl skötsel som arbete. ESA är kraftindustrins gemensamma anvisningar som täcker sådana anläggningar som är vanliga inom branschen. I AMP hänvisas bla. till: ESA-G:05 |
| EBR(E)bygggnadsrationalisering)                                |  | EBR är ett system för rationell planering, byggnation och underhåll av eldistributionsanläggningar på 0,4-145 kV. I AMP hänvisas bla. till: EBR U303H:10(jordtag) och HMS 6:09 (Byggherreansvar-Byggarbetsmiljösamordning för nät och produktion)       |
| Kriterier för spänningsgodhet vid leveransspänning över 1000 V |  | Svensk Energis (tidigare Sveriges Elleverantörers) rekommendation och förslag till standardiserade avtalspunkter som kan användas för att specificera elkvaliteten vid högspänningsleveranser.                                                          |
| Anslutning av kundanläggningar 1-36 kV till elnätet - IBH 04   |  | Publikation och handling som gäller för anslutning av nya högspänningsanläggningar (1-36kV) samt ändring av befintliga, Utgiven av Svensk Energi 2004.                                                                                                  |
| Anslutning Mätning Installation (AMI)                          |  | Ett webb-baserat arbetsredskap och handbok för den personal på elnätsföretagen som arbetar med kundnära arbetsuppgifter inom områdena Anslutning, Mätning och Installation. Utgiven av Svensk                                                           |

|                                                                                                                  |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Energi och uppdateras regelbundet                                                                                |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Krav, Råd och Rekommendationer om mätning på elmarknaden (KRR-handboken)                                         |    | En handbok utgiven av Svensk Energi för personal på elnätsföretagen som arbetar med dimensionering och kontroll av mätsystem. KRR-handboken ingår i Svensk Energis webbaserade handbok <i>AMI (Anslutning Mätning Installation)</i> men finns även att tillgå separat. |
| Tekniska anvisningar för anslutning av reservkraftaggregat i kundanläggningar                                    |    | Anvisningarna gäller för såväl stationära som mobila reservkraftaggregat om högst 1500 kVA avsedda att anslutas till kundanläggning som är skild från det matande nätet. Utgiven av Svensk Energi 2005.                                                                |
| "EMC, elkvalitet och elmiljö: guide för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet" ELFORSK rapport 07:40 |    | EMC, elkvalitet och elmiljö – guide för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet. Utgiven av ELFORSK 2007                                                                                                                                                     |
| Svensk Elmarknadshandbok                                                                                         |    | En handbok och uppslagsbok som beskriver rutiner och arbetssätt på den svenska elmarknaden. Ett samarbetsprojekt mellan Svensk Energi, SvK & Oberoende elhandlare                                                                                                      |
| Svenska Kraftnäts Tekniska riktlinjer för elkvalitet Del 2: TR6-02                                               |  | Planerings- och emissionsnivåer, mätmetoder och ansvarsfördelning avseende elkvalitet i stamnätet                                                                                                                                                                      |

## Bilaga 3 - HÄRLEDNING AV EKVATIONER FÖR BEDÖMNING AV ELKVALITET

### Beteckningar

|               |                                                           |
|---------------|-----------------------------------------------------------|
| $S_k$         | kortslutningseffekt i anslutningspunkten                  |
| $S_{ref}$     | vindkraftverkets skenbara referenseffekt                  |
| $k_u(\Psi_k)$ | spänningsändringsfaktor vid nätvinkel $\Psi_k$            |
| $k_f(\Psi_k)$ | flickerstegfaktor vid nätvinkel $\Psi_k$                  |
| $c_f(\Psi_k)$ | flickerkoefficient vid nätvinkel $\Psi_k$                 |
| $N_{120}$     | maximalt antal inkopplingar under ett 2 timmars intervall |
| $F$           | formfaktor, def. enligt IEC 61000-3-7                     |
| $d$           | spänningssteg i procent, $d=\Delta U/U$ (%)               |
| $T$           | tid i sekunder                                            |

### Spänningsfall vid start

Spänningsändringsfaktorn vid inkoppling av vindkraftverket beräknas ur den uppmätta spänningsändringen under en linjeperiod enligt:

$$k_u = \frac{\Delta U}{U} \cdot \frac{S_k}{S_{ref}} \quad (B3.1)$$

det relativa spänningsändringen kan då skrivas som:

$$\frac{\Delta U}{U} = k_u \frac{S_{ref}}{S_k} \quad (B3.2)$$

Om ett relativt spänningssteg på 4% tillåts fås:

$$\frac{4}{100} \geq k_u \frac{S_{ref}}{S_k} \quad (B3.3)$$

Erforderlig kortslutningseffekt i anslutningspunkten vid inkoppling kan då skrivas som:

$$S_k \geq 25 k_u S_{ref} \quad (B3.4)$$

### Flickeremission vid start

Enligt IEC 61000-3-7 kan flickeremissionen orsakat av enstaka stegformade spänningsändringar beräknas enligt:

$$P = \sqrt[3,2]{\frac{\sum_i^N 2,3(F_i D_i)^{3,2}}{T}} \quad (B3.5)$$

om spänningsändringarna har samma form kan (B3.5) uttryckas som:

$$P_{lt} = \left( \frac{2,3 N_{120}}{T} \right)^{\frac{1}{3,2}} F d \quad (B3.6)$$

spänningsändringen  $d$  kan uttryckas som

$$d = \frac{\Delta U}{U} = k_f \frac{S_{ref}}{S_k} \quad (B3.7)$$

där  $k_f$  är flickerstegsfaktorn beräknad ur spänningsändringen under startförloppet, ekvation (B3.7) insatt i (B3.6) ger:

$$P_{lt} = \left( \frac{2,3N_{120}}{T} \right)^{\frac{1}{3,2}} F d \frac{\Delta U}{U} \quad (B3.8)$$

Om approximationen

$$\frac{\Delta U}{U} (\%) = \frac{k_f S_{ref}}{S_k} 100 \quad (B3.9)$$

insättes i (B3.8) fås

$$P_{lt} = \left( \frac{2,3N_{120}}{T} \right)^{\frac{1}{3,2}} F k_f \frac{S_{ref}}{S_k} 100 \quad (B3.10)$$

Flickeremissionen  $P_{lt}$  beräknas för 2 timmar, det vill säga  $T=7\,200$  sekunder. Om spänningsändringens formfaktor antas vara  $F=1$  kan (B3.10) skrivas:

$$P_{lt} = \left( \frac{2,3N_{120}}{7200} \right)^{\frac{1}{3,2}} 1 k_f \frac{S_{ref}}{S_k} 100 \approx 8 N_{120}^{\frac{1}{3,2}} k_f \frac{S_{ref}}{S_k} \quad (B3.11)$$

Erforderlig kortslutningseffekt i anslutningspunkten vid upprepade inkopplingar kan således skrivas som:

$$S_k \geq 8 \frac{1}{P_{lt}} N_{120}^{\frac{1}{3,2}} k_f S_{ref} \quad (B3.12)$$

En enskild last i 10-20 kV nät skall enligt IEC 61000-3-7 ej ge upphov till en flickeremission överstigande  $P_{lt}=0,25$ . Om  $P_{lt}=0,25$  insättes i (B3.12) fås erforderlig kortslutningseffekt som:

$$S_k \geq 32 N_{120}^{\frac{1}{3,2}} k_f S_{ref} \quad (B3.13)$$

### Flickeremission under drift

Flickerbidraget från ett vindkraftverk under drift kan beräknas utifrån flickerkoefficienten,  $c_f(\Psi_k)$ :

$$P_{lt} = c_f(\Psi_k) \frac{S_{ref}}{S_k} \quad (B3.14)$$

vilket ger en kortslutningseffekt på:

$$S_k \geq \frac{c_f(\Psi_k) S_{ref}}{P_{lt}} \quad (B3.15)$$

Om  $P_{lt}=0,25$  insättes får erforderlig kortslutningseffekt som:

$$S_k \geq 4 c_f(\Psi_k) S_{ref} \quad (B3.16)$$

Vid anslutning av flera likadana vindkraftverk till samma punkt beräknas erforderlig kortslutningseffekt som:

$$S_k \geq 4 c_f(\Psi_k) S_{ref} \sqrt{k} \quad (B3.17)$$

där  $k$  är antalet vindkraftverk.

Sammanlagd flickeremission från flera olika vindkraftverk kan summeras enligt:

$$P_{lt,tot} = \sqrt[2]{\sum_k P_{lt,k}^2} \quad (B3.18)$$

### Övertoner

I en given punkt på radialen kan nätipedansen,  $Z_n$ , för övertonen med ordningstalet  $n$  med god approximation skrivas:

$$Z_n \cong n (X_k + X_l) \quad (B3.19)$$

där  $X_k$  är transformatorns kortslutningsreaktans för grundtonen,  $X_l$  är reaktansen i ledningen för grundtonen och  $n$  är övertonens ordningstal. Förhållandet mellan en övertonsström och en övertonsspänning kan tecknas som:

$$i_n = \frac{u_n U}{Z_n I_{max}} = \frac{u_n U^2}{Z_n S_{max}} \quad (B3.20)$$

där  $S_{max}$  är vindkraftverkets maximala effekt,  $U$  är nominell spänning och  $u_n$  är spänningen av ordningstal  $n$ . Om flera vindkraftverk ansluts till samma punkt kan övertonerna summeras enligt:

$$u_n = \sqrt[\alpha]{\sum_k u_{n,k}^\alpha} \quad (\text{B3.21})$$

där  $k$  är antalet vindkraftverk, exponenten  $\alpha$  väljs enligt *tabell B3:1*. Ekvation (B3.21) är även giltig för summation av övertonsströmmar.

| $\alpha$ | överton nummer $n$ |
|----------|--------------------|
| 1        | $n < 5$            |
| 1,4      | $5 \leq n \leq 10$ |
| 2        | $n > 10$           |

*Tabell B3:1*, Summationsexponent för övertoner.

## Bilaga 4 - Analysmetoder

Beräkningsmetoderna bygger till stor del på erfarenheterna från Elforskprojektet "*Vindkraft i lokala och regionala nät*", som utvecklats och anpassats till de nätåterverkningsfaktorer som utarbetats i standarden IEC 61400-21, "*Vindkraftverk – Del 21: Mätning och bedömning av elkvalitet för nätanslutna aggregat*".

Grundekvationen för spänningsfall är den klassiska men stamnätet och regionnäten drivs ofta maskade, dvs. med flera matningsvägar, och därtill kommer spänningsreglerande utrustning anslutna till regionnäten vilka komplicerar beräkningarna. Dessutom måste olika lastfall beaktas såsom max last / min produktion och min last / max produktion. Vid anslutning av större parker eller vid anslutning till relativt svaga nät kan även erfordras dynamiska studier. Det krävs därför normalt datorprogram för att göra systemstudier i regionnäten.

Det finns flera programvaror på marknaden som hanterar sådana beräkningar. Det mest vanliga torde vara PSS/E (Power System Simulation/Engineering) vilket återfinns hos de flesta större elnätsföretag. PSS/E klarar förutom lastflödesberäkningar även felströmsberäkningar med symmetriska komponenter och kan kompletteras med modul för dynamiska simuleringar.

### 1. Maximalt avgiven aktiv effekt

Vindkraftverk kan under vissa väderleksbetingelser avge en högre aktiv effekt än referenseffekten. Bland de faktorer som påverkar detta kan nämnas typ av turbinreglering, smuts på turbinbladen, lufttemperatur och lufttryck. Tillverkaren skall upplysa om övre gräns för aktiv effekt. Värdet anges som en faktor  $p$  multiplicerat med vindkraftverkets referenseffekt och skall vara omräknat för de specifika väderleksförhållanden som råder på platsen för uppställning. Vid angiven faktor  $p$  beräknas maximal effekt som:

$$P_{max} = pP_{ref} \quad (B4.1)$$

Vid beräkning av stationära spänningsvariationer skall det maximala värdet på avgiven aktiv effekt mätt som ett medelvärde över 10 minuter användas. Det bör poängteras att hos asynkrongeneratorer ökar den reaktiva effektförbrukningen när den aktiva effektproduktionen ökar. Tillverkaren bör därför även upplysa om den reaktiv effektförbrukning refererat till märkspänningen vid maximal avgiven aktiv effekt.

### 2. Belastningströmmar i elnätet

Samtliga komponenter i en elektrisk anläggning och i ett elnät måste uthärda de belastningsströmmar som de utsätts för, både under normal drift och under onormala driftförhållanden. Elnätets driftbetingelser, till exempel belastning, spänningsnivå och reservkapacitet, måste hållas inom sådana gränser att rimliga krav på störningstålighet, robust och säker drift ständigt upprätthålls. Det gäller i princip alla nät från stamnät ner till region- och distributionsnät. Emellertid kan kraven på t ex störningstålighet vara olika beroende på konsekvenserna av ett fel. Belastningsströmmarnas storlek påverkar således både komponenterna i elnätet och systemdriftsäkerheten. Överföringskapaciteten i ett elnät är som regel säsongsbunden. Kraftledningar

kan till exempel belastas hårdare under vinterhalvåret då omgivningstemperaturen är lägre.

Belastningsströmmarna orsakar uppvärmning (se avsnitt 3.1) och spänningsfall (se avsnitt 4) i elnätet. Uppvärmningen orsakar i sin tur tillfälliga eller permanenta förändringar i ledar- och isolationsmaterial, samt nedhäng av friledningar. Lastkopplare är även dimensionerade för koppling av en maximal belastningsström.

### 3. Felströmmar i elnätet

Inkoppling av nya produktionsanläggningar bidrar i större eller mindre utsträckning till att öka felströmsnivån i elnätet. Felströmmar orsakar dels en skadlig uppvärmning av de komponenter som genomflyts av felström, dels ger de upphov till mekaniska påkänningar. Som regel måste båda beaktas var för sig.

Olika typer av generatorer bidrar i olika grad till den termiska respektive mekaniska påverkan på apparater och komponenter i samband med fel. Synkrongeneratorer bidrar både till stötströmmen och till uppvärmningen. För asynkronmaskiner däremot avtar felströmmen mycket snabbt och deras bidrag till uppvärmningen kan oftast försummas. Däremot är det av yttersta vikt att inkludera deras bidrag till stötströmmen. I allmänhet brukar man anta att DFIG (Doubly-Fed Induction Generators) och direktanslutna asynkronmaskiner ger ett bidrag till den symmetriska kortslutningsströmmen som initialt är lika med 5 gånger märkströmmen. För anläggningar med fulleffektomriktare begränsas detta bidrag till c:a 1,4 gånger märkström.

Vindkraftanläggningarnas bidrag till felströmmarna varierar kraftigt med typen av vindkraftaggregat, från ca 1,4 till 5 gånger märkströmmen. Det handlar då enbart om mekaniska påkänningar. Inga moderna typer av vindkraftverk anses bidra till några termiska påkänningar, eftersom den inledande kortslutningsströmmen avtar mycket snabbt.

Samtliga elnätskomponenter måste dimensioneras för den maximala felström som de kan utsättas för, såväl under normala som under onormala driftförhållanden, med avseende på både termiska och mekaniska påkänningar. Brytare måste dimensioneras så att de, förutom att uthärda felströmmen, även har förmåga att bryta den.

#### 3.1. Felströmmens termiska påverkan

Vid dimensionering antas ofta att värmeutbytet med omgivningen under feltiden är försumbart. Värmeenergin kan tecknas:

$$W = R \int_0^{t_k} i_k^2(t) dt, \text{ där}$$

$i_k(t)$  = den momentana kortslutningsströmmen, och  
 $t_k$  = den totala feltiden

Apparater och komponenter är normalt stämplade med den så kallade *märkkortidsströmmen*, som är effektivvärdet av den symmetriska kortslutningsström som komponenten, ur termisk synpunkt, uthärdar under 1 sekund. För andra feltider och för varierande felström får omräkningar

göras. Den termiska påverkan är proportionell mot strömmens kvadrat, och en reduktion av felströmmens storlek har därför stor inverkan på skadeverkan. Dock har en sänkning av felströmmens storlek ofta andra nackdelar.

### 3.2. Felströmmens mekaniska påverkan

En strömgenomfluten ledare placerad i ett magnetfält påverkas av en kraft, som är vinkelrät mot såväl strömriktningen som mot magnetfältets riktning (tumregeln – höger hand). Kraftens storlek kan tecknas:

$$F(t) = B(t) \cdot i(t) \cdot l, \text{ där}$$

$B(t)$  = magnetfältets styrka

$i(t)$  = strömmens storlek, och

$l$  = ledarens längd

En elektrisk ström ger upphov till ett magnetfält runt strömbanan.

Magnetfältets storlek, på avståndet  $x$  från en rak strömbana, kan tecknas:

$$B_x(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i(t)}{x}, \text{ där}$$

$i(t)$  = momentanvärdet av strömmen, och

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ [N/A}^2\text{]}$$

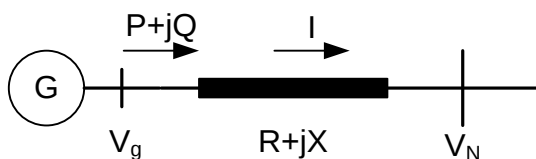
Genom insättning av uttrycket för flödestätheten,  $B_x(t)$ , i uttrycket för kraften,  $F(t)$ , och under ett generellt antagande om olika strömmar i de båda ledarna och raka långa parallella ledare, så ges kraften mellan ledarna av uttrycket:

$$F(t) = 2 \cdot \frac{i_1(t)}{x} \cdot i_2(t) \cdot l \cdot 10^{-7}$$

Kraften är beroende av geometrin, dvs hur de två ledarna är förlagda i förhållande till varandra, samt produkten av strömmarna. När det gäller strömkrafternas förstörande verkan är det momentanvärdet som är av intresse. Felströmmen kan initialt, teoretiskt, uppgå till  $2\sqrt{2}$  gånger den stationära kortslutningsströmmens effektivvärde. Man räknar vanligtvis med en viss dämpning och den så kallade stötströmmen antas ofta vara 2,5 gånger den symmetriska kortslutningsströmmen. Normalt tillverkas apparater och komponenter så att stötströmståligheten är 2,5 gånger så stor som märkkortidsströmmen (1-sekundsvärdet)

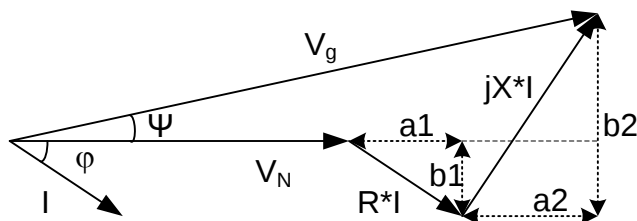
## 4. Spänningsvariationer

Långsamma spänningsvariationer till följd av varierande effektflöde längs en radialledning, kan beräknas med enkla spänningsfallsekvationer. Antag att en produktionsanläggning, enligt *figur B4:1*, producerar den aktiva effekten  $P$  och den reaktiva effekten  $Q$ , och att denna effekt flyter längs en anslutningsledning med impedansen  $R+jX$ .



Figur B4:1, Effektflöde och spänningsfall längs en radialledning.

Med hjälp av visar diagrammet i figur B4:2 kan man lätt ställa upp spänningsfallsekvationerna för det betraktade systemet.



Figur B4:2, Visardiagram för enkla spänningsfallsberäkningar.

Ur figur B4:2 ser vi lätt följande samband mellan generatorspänningen  $V_g$  och nätspänningen  $V_N$ :

$$V_g = \sqrt{(V_N + a1 + a2)^2 + (b2 - b1)^2},$$

Där  $(a1 + a2)$  är det så kallade längsspänningsfallet och  $(b2 - b1)$  är tvärsppänningsfallet. Vid överslagsberäkningar i radialnät tar man ofta enbart hänsyn till längsspänningsfallet, och förutsätter därmed att vinkeln  $\Psi$ , mellan generatorspänningen och nätspänningen är liten. Spänningsfallet kan då tecknas enligt:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_g - V_N \approx a1 + a2 = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi = \\ &= \frac{R \cdot V_g \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot V_g \cdot I \cdot \sin \varphi}{V_g} = \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{V_g} \end{aligned}$$

Det relativa spänningsfallet fås sedan genom division med  $V_g$ :

$$\frac{\Delta V}{V_g} \approx \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{V_g^2} \cdot 100\% \quad (B4.2)$$

I framställningen ovan är  $P$  respektive  $Q$  trefaseffekter och  $V_g$  respektive  $V_N$  är huvudspänningar.

#### 4.1. Start

Erforderlig kortslutningseffekt,  $S_k$ , i anslutningspunkten vid en enkel inkoppling kan bestämmas med hjälp av vindkraftsfabrikantens upplysning om spänningsändringsfaktor,  $k_u(\psi_k)$ , som:

$$S_k \geq 25k_{umax}(\psi_k)S_{ref} \quad (B4.3)$$

där  $S_{ref}$  är vindkraftverkets skenbara referenseffekt. Det högsta värdet på spänningsändringsfaktorn skall användas. Detta uppträder vanligtvis under start vid märkvind. Saknas angivet värde beräknas spänningsändringen med en spänningsändringsfaktor,  $k_u(\psi_k) = 3$ .

Flickeremissionen vid ett upprepat antal starter bestäms av formen på spänningsvariationen som vindkraftverkets start orsakar. Eftersom

spänningsvariationen beror på kortslutningsvinkeln i anslutningspunkten bör tillverkaren ange vindkraftverkets flickerstegfaktor som funktion av kortslutningsvinkel,  $k_f(\psi_k)$ . Vidare bör antalet inkopplingar per timme begränsas av vindkraftverkets styrutrustning. Erforderlig kortslutningseffekt kan bestämmas utgående från flickerstegfaktorn,  $k_f(\psi_k)$ , och det maximala antalet inkopplingar,  $N_{120}$ , under en tvåtimmarsperiod beräknas enligt:

$$S_k \geq 8 \frac{1}{P_{lt}} k_f(\psi_k) N_{120}^{3,2} S_{ref} \quad S_k \geq 8 \frac{1}{P_{lt}} k_f(\psi_k) N_{120}^{3,2} S_{ref} \quad (B4.4)$$

Om flera vindkraftverk ansluts till samma punkt är det maximala antalet inkopplingar lika med antalet verk multiplicerat med det maximala antalet inkopplingar per verk.

Den sammanlagda flickeremissionen förorsakad av start av olika verk anslutna till samma punkt summeras lämpligen enligt:

$$P_{lt,tot} = \sqrt[3,2]{\sum_k P_{lt,k}^{3,2}} \quad (B4.5)$$

där  $P_{lt,k}$  är flickeremissionen från vindkraftverk nummer  $k$ .

## 4.2. Drift

Vindkraftverk kan förorsaka flicker under drift. Nätets kortslutningsvinkel,  $\psi_k$ , har en stor inverkan vid beräkning av flicker under drift. Erforderlig kortslutningseffekt beräknas därför utifrån tillverkarens upplysningar om flickerkoefficient,  $c_f(\psi_k)$  som:

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} C_f(\psi_k) S_{ref} \quad (B4.6)$$

Normalt kan avvikelserna på flickerkoefficient beroende på skillnad i turbulensintensitet mellan provplats och uppställningsplats bortses från.

Vid anslutning av flera likadana vindkraftverk till samma punkt beräknas erforderlig kortslutningseffekt som:

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} C_f(\psi_k) S_{ref} \sqrt{k} \quad (B4.7)$$

där  $k$  är antalet vindkraftverk.

Sammanlagd flickeremission från flera olika vindkraftverk under drift kan summeras enligt:

$$P_{lt,tot} = \sqrt[2]{\sum_k P_{lt,k}^2} \quad (B4.8)$$

där  $P_{lt,k}$  är flickeremissionen från vindkraftverk nummer  $k$ .

## 5. Kraftsystemstabilitet

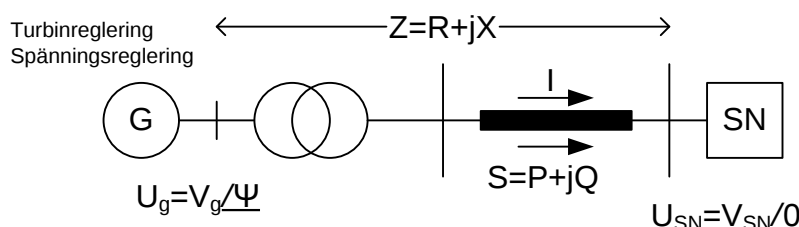
Kraftsystemstabilitet brukar delas in i vinkelstabilitet och spänningsstabilitet. Vinkelstabilitet behandlar stabilitet mellan spänningsvektorerna i olika delar

av kraftsystemet, som separeras av någon ekvivalent impedans, t.ex. mellan maskiner, mellan grupper av maskiner eller mellan en maskin/grupp och ett starkt nät. Spänningsstabilitet förknippas med effektöverföring, via någon ekvivalent impedans, från en produktionsände till en belastningsände.

Kraftsystemstabilitet berör oftast stamnätet och samkörningarna med grannländerna, varför stabilitetsstudier regelmässigt utförs av Svenska Kraftnät.

## 5.1. Vinkelstabilitet

Vinkelstabilitet omfattar statisk stabilitet, transient stabilitet (eng. "first swing") och dynamisk stabilitet (eng. "small signal"). För analys av vinkelstabilitet betraktas ofta en maskin som levererar effekt till ett starkt nät över en impedans, som i sin enklaste form kan se ut som i *figur B4:3*.



*Figur B4:3*, Kraftsystemmodell för enkel analys av vinkelstabilitet

I figuren betecknar  $U_g$ ,  $U_{SN}$ ,  $I$ ,  $S$  och  $Z$  komplexa storheter medan  $V_g$  och  $V_{SN}$  är belopp. Genom att teckna den skenbara effekten  $S$ , så kan aktiv respektive reaktiv effektöverföring som funktion av överföringsvinkeln  $\Psi$ , erhållas.

$$S = P + jQ = U_g \cdot I^* = U_g \left( \frac{U_g - U_{SN}}{Z} \right)^* = \frac{U_g \cdot U_g^* - U_g \cdot U_{SN}^*}{R - jX} = [\text{konjugatkomplettera}] =$$

$$\frac{V_g^2 (R + jX) - V_g (\cos \Psi + j \sin \Psi) \cdot V_{SN} (R + jX)}{R^2 + X^2} = [R = 0] = \frac{V_g \cdot V_{SN}}{X} \sin \Psi + j \left( \frac{V_g^2}{X} - \frac{V_g \cdot V_{SN}}{X} \cos \Psi \right)$$

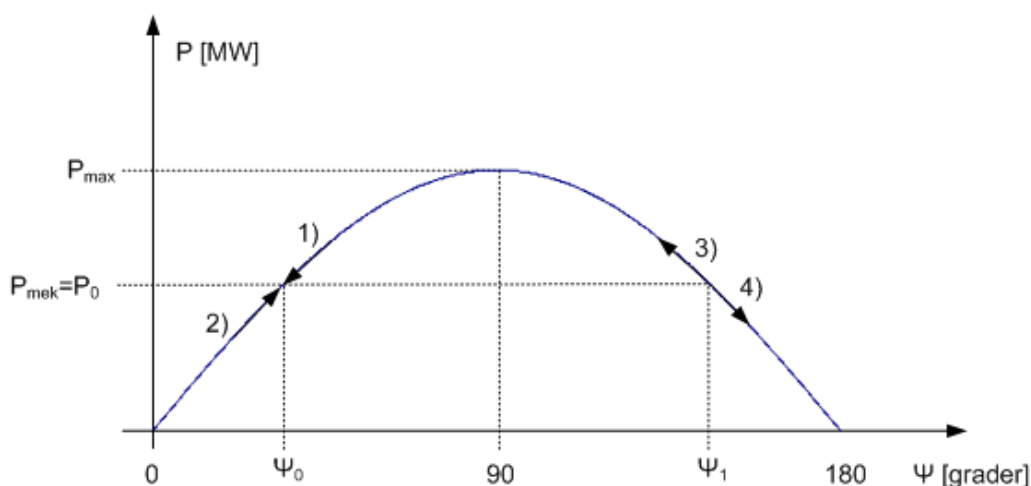
Identifiering ger sedan:

$$P = \frac{V_g \cdot V_{SN}}{X} \sin \Psi; \quad Q = \frac{V_g^2}{X} - \frac{V_g \cdot V_{SN}}{X} \cos \Psi$$

Den aktiva effektöverföringen,  $P$ , från generatoren som funktion av överföringsvinkeln,  $\Psi$ , illustreras i *figur B4:4*. Effektöverföringen får sitt maximum vid  $\Psi = 90^\circ$ , som även kallas den statiska stabilitetsgränsen. I stationär drift är den inmatade mekaniska effekten till generatoren lika med den utmatade elektriska effekten (bortsett från några procents förluster). Jämviktstillstånd mellan inmatad mekanisk effekt och utmatad elektrisk effekt för överföringsvinklar mindre än  $90^\circ$  är stabila driftpunkter, medan driftpunkter över  $90^\circ$  är instabila. Antag följande fyra små störningar från jämviktsläget:

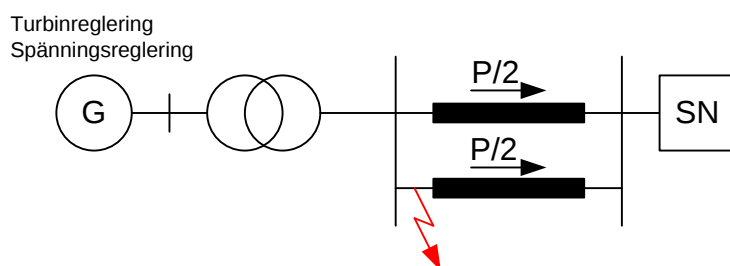
- 1) En liten vinkelökning från driftpunkten  $\Psi_0$ , innebär att den elektriska uteffekten från maskinen ökar medan den mekaniska ineffekten är konstant lika med  $P_{mek}$ , varvid maskinen retarderar och återgår till den stabila driftpunkten  $\Psi_0$ .

- 2) En liten vinkelminskning från driftpunkten  $\Psi_0$ , innebär att den elektriska uteffekten från maskinen minskar medan den mekaniska ineffekten är konstant lika med  $P_{mek}$ , varvid maskinen accelererar och återgår till den stabila driftpunkten  $\Psi_0$ .
- 3) En liten vinkelminskning från driftpunkten  $\Psi_1$ , innebär att den elektriska uteffekten från maskinen ökar medan den mekaniska ineffekten är konstant lika med  $P_{mek}$ , varvid maskinen retarderar och driver bort från den instabila driftpunkten  $\Psi_1$ .
- 4) En liten vinkelökning från driftpunkten  $\Psi_1$ , innebär att den elektriska uteffekten från maskinen minskar medan den mekaniska ineffekten är konstant lika med  $P_{mek}$ , varvid maskinen accelererar och driver bort från den instabila driftpunkten  $\Psi_1$ .



Figur B4:4, Statisk stabilitetsgräns för generator som matar effekt till ett starkt nät.

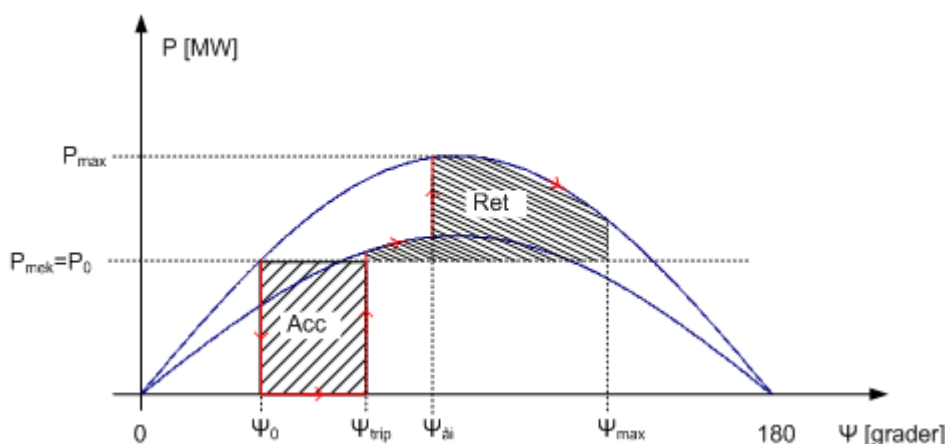
Betrakta återigen en överföring mellan en generator, eller grupp av generatorer, och ett starkt nät, enligt figur B4:5.



Figur B4:5, Trefasig kortslutning nära ena ledningsändan.

Antag att systemet i figur B4:5 befann sig i jämvikt med en överföringsvinkel  $\Psi_0$  och en överförd effekt lika med  $P_0$ , när en trefasig kortslutning inträffar nära ena ledningsändan. Vid enklare analys antar man ofta att såväl turbinreglering som spänningsreglering är så långsamma att de inte hinner reagera under felförloppet. Genomförs studien med moderna datorprogram, kommer inverkan av regleringen med i analysen. Förhållandena under feltiden

och felbortkopplingsförloppet illustreras i figur B4:6. När felet inträffar går spänningen i felpunkten ner till noll och ingen effekt kan överföras till det starka nätet, samtidigt som den inmatade mekaniska effekten är konstant lika med  $P_{mek}$ . Under feltiden accelererar maskinen och vinkeln ökar. När den felbehäftade ledningen kopplas bort har vinkeln ökat till  $\Psi_{trip}$ . Efter felbortkopplingen kan effekt överföras på den felfria ledningen, vilket motsvaras av den lägre sinuskurvan. Den utmatade elektriska effekten är nu större än den inmatade mekaniska effekten och maskinen retarderar. Vid vinkeln  $\Psi_{ai}$  görs en lyckad återinkoppling av den bortkopplade ledningen och överföringsförmågan är tillbaka till den ursprungliga. För att maskinen inte ska falla ur fas måste den tillgängliga retarderande ytan vara minst lika stor som den accelererande ytan i figur B4:6.



Figur B4:6 Trefasig kortslutning nära ena ledningsändan följt av felbortkoppling och lyckad återinkoppling.

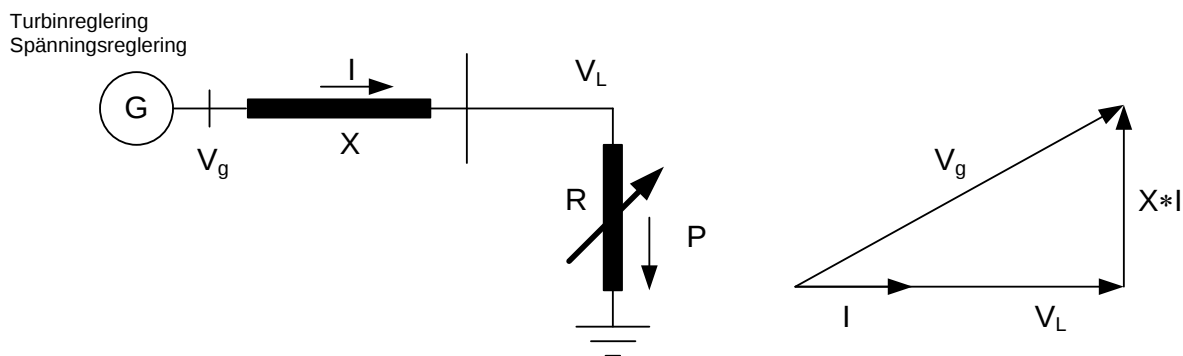
Vid  $\Psi_{max}$  vänder maskinen och vinkeln minskar. Därefter kommer maskinen att svänga med minskande amplitud, för att till slut återgå i lugndrift i punkten  $(\Psi_0, P_0)$ . Om vinkeln passerar  $(180 - \Psi_0)$  accelererar maskinen igen och urfasfallet är ett faktum. Fenomenet kallas transient stabilitet.

Dynamisk stabilitet är mer utsträckt i tiden och syftar till att säkerställa att generatoren inte börjar svänga mot nätet eller mot andra generatorer eller grupper av generatorer, efter någon koppling eller annan mindre händelse i kraftsystemet. För dynamisk stabilitet krävs att spontant uppkomna pendlingar eller pendlingar som uppkommer till följd av koppling i nätet är väl dämpade. När impedansen mellan en maskin och nätet ändras t.ex. genom bortkoppling av en ledning uppstår en liten obalans i systemet och denna måste svänga in sig under väl dämpade förhållanden. För större maskiner och anläggningar finns ofta en speciell tillsats till spänningsregulatorn, så kallad dämptillsats eller PSS (Power System Stabilizer), som genom att påverka spänningen ska dämpa maskinen om den kommer i svängning.

## 5.2. Spänningsstabilitet

Spänningsstabilitet illustreras ofta med en maskin som matar effekt till en belastning över en reaktans, se figur B4:7. Spänningen i sändarändan,  $V_g$ ,

antas var konstant medan belastningsresistansen,  $R$ , varierar i intervallet  $[\infty, 0]$ . I ett verkligt fall tänks detta ske genom inkoppling av resistiva belastningsobjekt. När belastningsresistansen varierar varierar även mottagarspänningen,  $V_L$ , och den aktiva effektutvecklingen i mottagaränden,  $P$ .

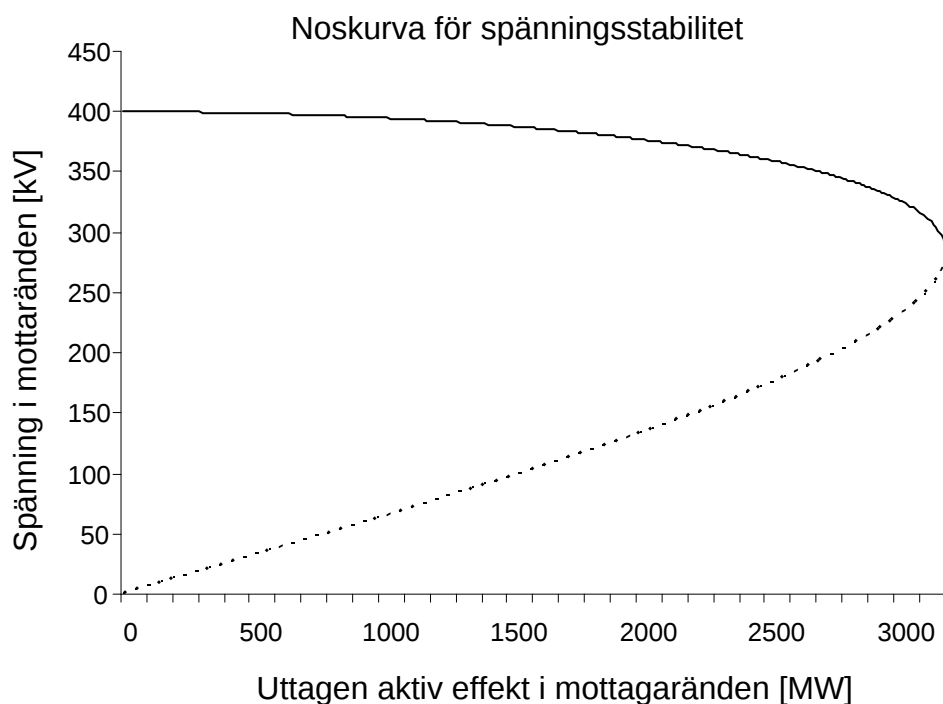


Figur B4:7, Överföringssystem för illustration av spänningsstabilitet.

Med hjälp av storheterna i figur B4:7 härleder vi ett uttryck för mottagarspänningen som funktion av uttagen belastningseffekt. Vi antar därvid att mottagarspänningens belopp är reellt och icke negativt.

$$\begin{aligned}
 V_L^2 + (X \cdot I)^2 &= V_g^2 \Rightarrow \left[ \text{insättning av } I = \frac{V_L}{R} \right] \Rightarrow \\
 V_L^2 + \left( \frac{X}{R} \cdot V_L \right)^2 &= V_g^2 \Rightarrow \left[ \text{insättning av } R = \frac{V_L^2}{P} \right] \Rightarrow \\
 V_L^2 + \frac{X^2 P^2}{V_L^2} - V_g^2 &= 0 \Rightarrow V_L^4 - V_g^2 V_L^2 + X^2 P^2 = 0 \Rightarrow \\
 V_L^2 &= \frac{V_g}{2} \pm \sqrt{\left( \frac{V_g}{2} \right)^2 - X^2 P^2} \Rightarrow V_L = \sqrt{\frac{V_g}{2} \pm \sqrt{\left( \frac{V_g}{2} \right)^2 - X^2 P^2}}
 \end{aligned}$$

Plustecknet under rottecknet i uttrycket för mottagarspänningen,  $V_L$ , ger den övre kurvan i figur B4:8, medan minustecknet ger den undre, streckade, kurvan.



Figur B4:8, Noskurva för statisk spänningsstabilitet med  $V_g = 400$  kV och  $X = 25 \Omega$ .

Det är tydligt att det för en given sändarspänning och en given överföringsimpedans finns en viss maximal aktiv effekt som kan tas ut i mottagaränden. Genom att teckna uttagen aktiv effekt som funktion av belastningsresistansen och sedan derivata med avseende på belastningsresistansen kan maxeffekten och den korresponderande resistansen bestämmas.

$$P = \frac{V_L^2}{R}; \quad V_L = \left| \frac{R}{R + jX} V_g \right|; \quad V_L^2 = V_L \cdot V_L^* = \frac{R^2}{R^2 + X^2} V_g^2 \Rightarrow$$

$$P = \frac{R}{R^2 + X^2} V_g^2 \Rightarrow$$

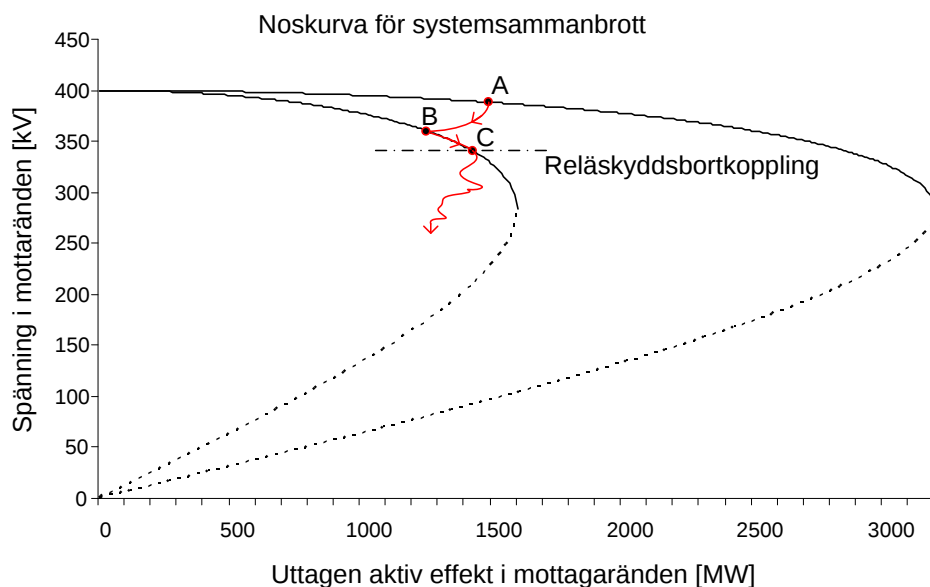
$$\frac{\partial P}{\partial R} = \frac{\partial}{\partial R} \left[ V_g^2 R (R^2 + X^2)^{-1} \right] = V_g^2 (R^2 + X^2)^{-1} - V_g^2 R \cdot 2R (R^2 + X^2)^{-2} = V_g^2 \frac{(R^2 + X^2) - R \cdot 2R}{(R^2 + X^2)^2} = 0 \Rightarrow$$

$$R^2 + X^2 = 2R^2 \Rightarrow R = X \quad (R \geq 0 \text{ och } X > 0) \Rightarrow$$

$$P_{\max} = \frac{V_g^2}{2R}; \quad \text{vid } V_L = \frac{V_g}{\sqrt{2}}$$

Ovanstående spänningsstabilitetsstudie är rent statisk och det går utmärkt att driva det enkla systemet i figur B4:9, även på undersidan av noskurvan. I verkligheten spelar lindningskopplarreglering, belastningsdynamik och reläskydd en avgörande roll för en djupare och noggrannare analys av ett förlopp med bristande spänningsstabilitet. En enkel beskrivning av ett spänningsskollaps scenario kan göras med hjälp av figur B4:9. Antag att vi har ett stabilt drifttillstånd i punkten A när vi plötsligt får en nätstörning som ökar den ekvivalenta systemimpedansen från  $25 \Omega$  till  $50 \Omega$ . Då förflyttas

driftpunkten till den noskurva som motsvarar  $50 \Omega$ , därvid minskar spänningen över belastningsresistansen och därmed även belastningseffekten, och den nya driftpunkten hamnar i punkten B. Här brukar ett tillstånd av kortvarig balans inträda, där driftpunkten sakta vandrar mot punkten C, eftersom lindningskopplare och belastningsdynamik strävar efter att återställa lastuttaget till den nivå som rådde före störningen. I kraftsystemet sjunker nu spänningen medan strömmen ökar och i något läge når man en nivå där ledningarnas distansskydd löser ut och sammanbrottet blir ett faktum (punkten C i figur B4:9).



Figur B4:9, Spänningskollaps och systemsammanbrott, när systemimpedansen ökar från  $25 \Omega$  till  $50 \Omega$ .

## 6. Övertoner

Vindkraftverk som arbetar med variabelt varvtal kan förorsaka övertoner på nätet. Tillverkaren bör upplysa om förekomsten av övertoner och mellantoner i strömmen. Tillåten amplitud på strömövertoner beräknas som:

$$i_n = \frac{u_n U^2}{Z_n S_{\max}} \quad i_n = \frac{u_n U^2}{Z_n S_{\max}} \quad (B4.9)$$

där  $u_n$  är tillåten spänning för överton av ordningstal  $n$ ,  $U$  är nominell nätspänning,  $S_{\max}$  är vindkraftverkets maximala skenbara effekt och  $Z_n$  nätimpedansen för överton av ordningstal  $n$ .

I en given punkt på radialen kan nätimpedansen,  $Z_n$ , för överton av ordningstal  $n$  med god approximation skrivas som:

$$Z_n \cong n(X_k + X_l) \quad (B4.10)$$

där  $X_k$  är transformatorns kortslutningsreaktans för grundtonen,  $X_l$  är reaktansen i ledningen för grundtonen och  $n$  är övertonens ordningstal. Med

transformatorn avses transformatorn i det överliggande nätet, ej vindkraftverkets transformator.

Om flera vindkraftverk ansluts till samma punkt summeras övertonerna som:

$$i_n = \sqrt[\alpha]{\sum_k i_{n,k}^\alpha} \quad (B4.11)$$

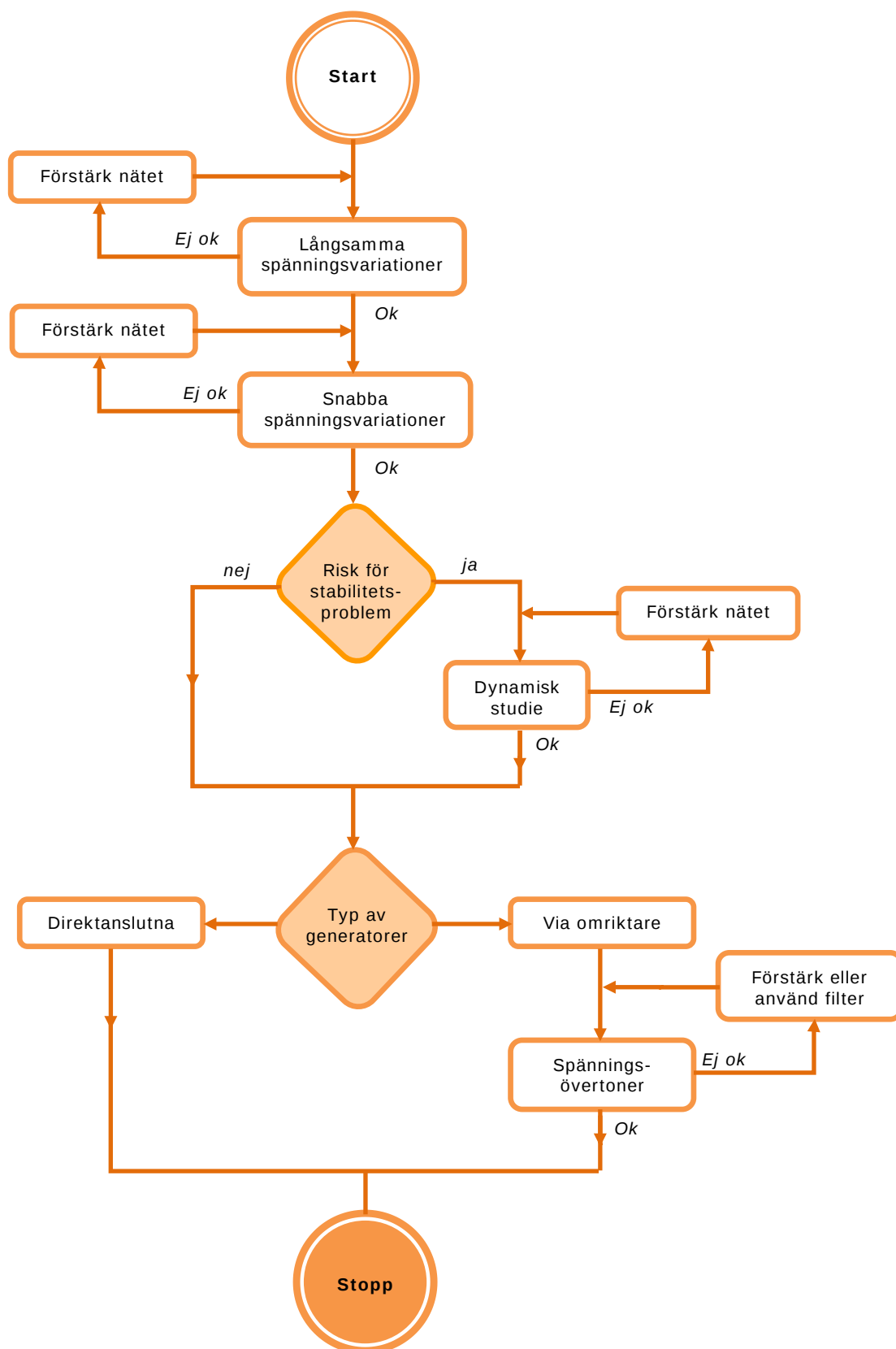
där  $i_{n,k}$  är överton av ordningstal  $n$  från vindkraftverk nummer  $k$  och  $\alpha$  en exponent som väljs enligt *tabell B4:1*.

| $\alpha$ | överton nummer $n$ |
|----------|--------------------|
| 1        | $n < 5$            |
| 1,4      | $5 \leq n \leq 10$ |
| 2        | $n > 10$           |

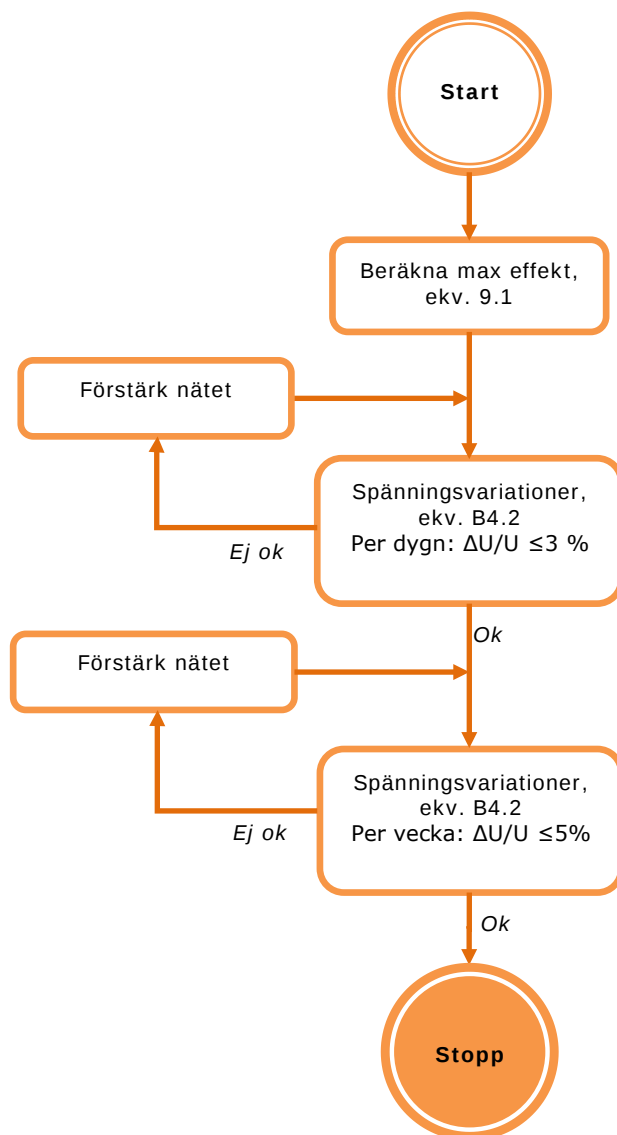
*Tabell B4:1*, Summationsexponent för övertoner

## 7. Flödesscheman

### Flödesschema över beräkningsgång



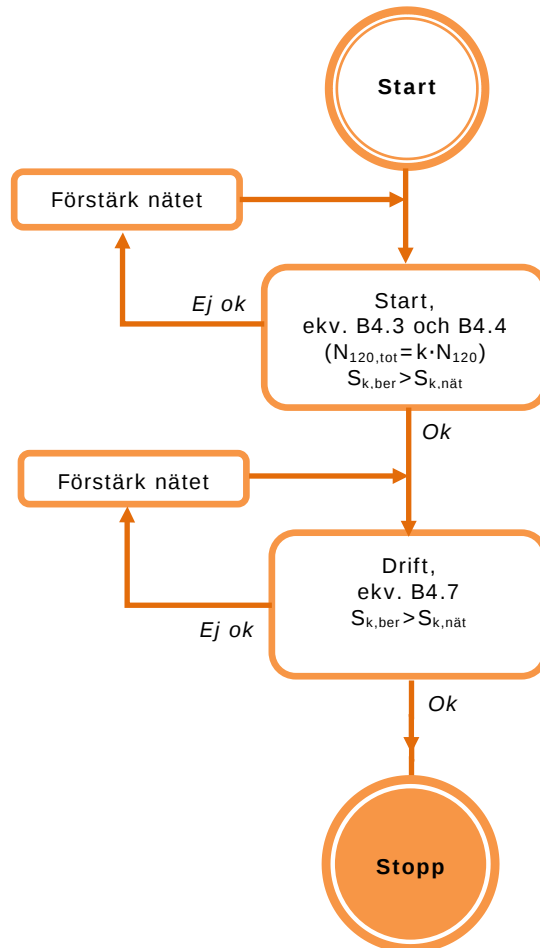
### Flödesschema - Långsamma spänningsvariationer



Total spänningsvariation inkluderar även spänningsregleringens dödband

### Flödesschema - Snabba spänningsvariationer

Vid anslutning av  $k$  stycken likadana aggregat till samma punkt.

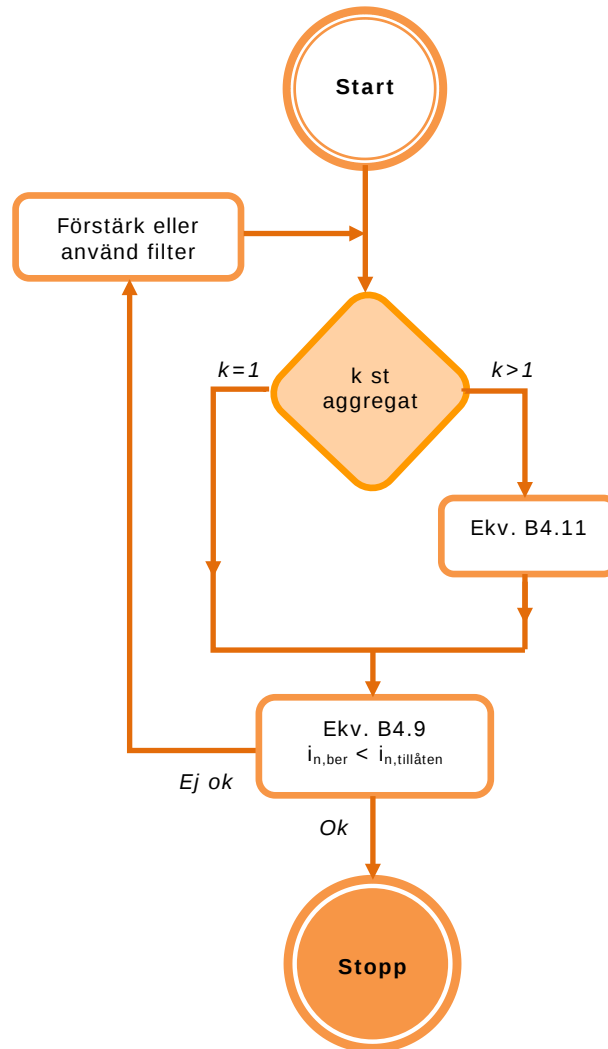


$S_{k,nät}$   
 $S_{k,ber}$

avser nätets kortslutningseffekt  
avser beräknad erforderlig kortslutningseffekt

### Flödesschema – Spänningsövertoner

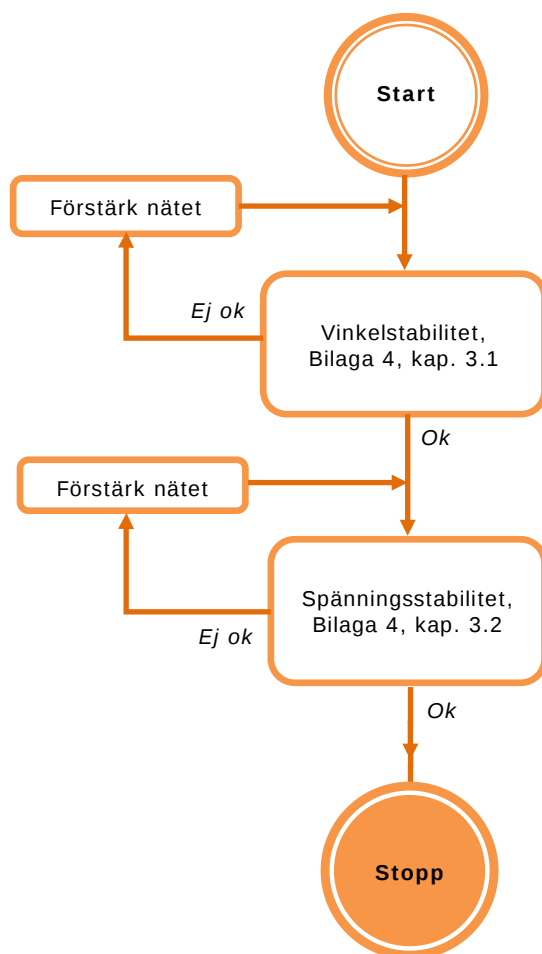
Vid anslutning av  $k$  stycken aggregat till samma punkt



$i_{n,tillåten}$   
 $i_{n,ber}$

avser tillåten övertonsström av ordning  $n$   
avser beräknad övertonsström av ordning  $n$

### Flödesschema – Dynamisk studie



## OFFERTFÖRFRÅGAN FÖR ANSLUTNING AV VINDKRAFTVERK

Undertecknad anholder härmed om offert för anslutning av nedanstående Vindkraftverk.

### Teknisk upplysning:

Placering: (Karta med koordinater SWEREF99 (RT90-format) bifogas)

Fabrikat: Typ:

Antal verk:

• Princip: ☐ Direktansluten ☐ DFIG ☐ Fulleffektomriktare

• Effektregering: ☐ Stallreglering ☐ Pitchreglering ☐ Aktiv stallreglering  
☐ Rotorströmsreglering<sup>1</sup> ☐ Frekvensomformare<sup>1</sup>

- Totalt abonnerad effekt (inmatning) kW
- Vindkraftverkets referenseffekt (Pref): kW/verk
- Maximal effektproduktion  $P_{\max}$  (10 minuters medelvärde): kW/verk
- Maximal effektproduktion (0,2 sekunders medelvärde): kW/verk
- Uttagen reaktiv effekt vid märkspänning:
  - Vid tomgång kvar/verk
  - Vid referenseffekt med kompensering: kvar/verk
  - Vid referenseffekt utan kompensering: kvar/verk
- Maximalt uttag av reaktiv effekt under drift vid mätpunkt: kvar/verk  
(10 minuters medelvärde)
- Vindkraftverkets märkspänning: V
- Generatorn/generatorernas märkeffekter: kVA
- Maximalt antal generatorinkopplingar under 2 timmar ( $N_{120}$ )/verk:
  - Inkoppling av generator/lindning 1 vid startvind: st.
  - Inkoppling av generator 2 vid omkopplingsvind: st.

### Handlingar och uppgifter som ska bifogas:

- spänningsnivån för angivna testvärden
- namn på anläggningens innehavare
- mättrapport (typprovning) visande fasspänningarna eller huvudspänningarna före och under minst 3 på varandra följande urkopplingsförlöpp
- förteckning över skyddsfunktioner med funktionsnivåer och funktionstider
- för var och en av övertonsordningarna 2-50, uteffekt vid vilken maximal övertonsström inträffar samt övertonsströmmens storlek (redovisas i tabellen på nästa sida)
- För var och en av mellantonsordning med frekvens upp till 2500 Hz, uteffekt vid vilken maximal mellantonsström inträffar samt mellantonsströmmens storlek (redovisas med särskilt dokument)
- högsta totala övertonsström
- kompletterande uppgifter för gruppkompensation
- dynamisk data<sup>1</sup>

<sup>1</sup>I tillämpliga fall

|                                     | Generator/lindn 1<br>Inkoppling vid startvind eller stopp<br>(högsta värde) |     |     |     | Generator/lindn 2<br>Inkoppling vid omkopplingsvind |     |     |     | Inkoppling vid märkvind |     |     |     |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----------------------------------------------------|-----|-----|-----|-------------------------|-----|-----|-----|
| Kortslutningsvinkel ( $\Psi_k$ )    | 30°                                                                         | 50° | 70° | 85° | 30°                                                 | 50° | 70° | 85° | 30°                     | 50° | 70° | 85° |
| Spänningsändringsfaktor ( $k_n$ ) ≤ |                                                                             |     |     |     |                                                     |     |     |     |                         |     |     |     |
| Flickerstegfaktor ( $k_f$ ) ≤       |                                                                             |     |     |     |                                                     |     |     |     |                         |     |     |     |

| Kortslutningsvinkel ( $\Psi_k$ ) | 30° | 50° | 70° | 85° |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Flickerkoefficient ( $c_f$ ) ≤   |     |     |     |     |

#### Redovisning av övertonsströmmar och mellantonsström

| Ordning | Utmattad Effekt | Övertonsström  | Ordning | Utmattad Effekt | Övertonsström  |
|---------|-----------------|----------------|---------|-----------------|----------------|
|         | kW              | % av ( $I_n$ ) |         | kW              | % av ( $I_n$ ) |
| 2       |                 |                | 3       |                 |                |
| 4       |                 |                | 5       |                 |                |
| 6       |                 |                | 7       |                 |                |
| 8       |                 |                | 9       |                 |                |
| 10      |                 |                | 11      |                 |                |
| 12      |                 |                | 13      |                 |                |
| 14      |                 |                | 15      |                 |                |
| 16      |                 |                | 17      |                 |                |
| 18      |                 |                | 19      |                 |                |
| 20      |                 |                | 21      |                 |                |
| 22      |                 |                | 23      |                 |                |
| 24      |                 |                | 25      |                 |                |
| 26      |                 |                | 27      |                 |                |
| 28      |                 |                | 29      |                 |                |
| 30      |                 |                | 31      |                 |                |
| 32      |                 |                | 33      |                 |                |
| 34      |                 |                | 35      |                 |                |
| 36      |                 |                | 37      |                 |                |
| 38      |                 |                | 39      |                 |                |
| 40      |                 |                | 41      |                 |                |
| 42      |                 |                | 43      |                 |                |
| 44      |                 |                | 45      |                 |                |
| 46      |                 |                | 47      |                 |                |
| 48      |                 |                | 49      |                 |                |
| 50      |                 |                |         |                 |                |

|                                                                      |  |
|----------------------------------------------------------------------|--|
| Maximalt effektivvärde av total övertonsström angivet som % av $I_n$ |  |
| Uteffekt (kW) vid maximalt effektivvärde av total övertonsström      |  |

|                                                                           |  |
|---------------------------------------------------------------------------|--|
| Maximalt effektivvärde för diskret mellantonsström angivet som % av $I_n$ |  |
| Uteffekt (kW) vid maximalt effektivvärde av diskret mellantonsström       |  |

Datum: Underskrift: \_\_\_\_\_  
Namnförtydligande: \_\_\_\_\_

*Vindkraftverkets leverantör*

Datum: Underskrift: \_\_\_\_\_  
Namnförtydligande: \_\_\_\_\_

*Vindkraftverkets innehavare*

