



ASP handbok

Anslutning av större produktionsanläggningar till regionnätet

Förord

Denna webbaserade upplaga av handbok ASP, *Anslutning av större produktionsanläggningar till regionnätet*, (tidigare *Anslutning av större produktionsanläggningar till elnätet*) är en komplettering och omarbetning av tidigare utgåvor (utgåva 0 från 2006¹ och utgåva 1 från 2011²). Föreliggande version av ASP-handboken är anpassad efter EU:s regelverk och nätkoder, främst den så kallade RfG:n (Requirements for Generators³) och den därtill kopplade föreskriften från Energimarknadsinspektionen, EIFS 2018:2.

Storleken på produktionsanläggningen, eller anläggningarna, i förhållande till kortslutningseffekten i anslutande nät, avgör oftast om en anslutning ska ske mot region- eller lokalnät. I ASP-handboken behandlas kraftproduktionsmoduler av typerna C och D⁴, det vill säga kraftproduktionsmoduler om 10 respektive 30 MW eller större, som ansluts till region- eller mellanspänningsnätet, där inverkan på förhållandena i regionnätet är påtaglig, samt all havsbaserad produktion. Dessa anläggningar definieras som SGU:er (betydande nätanvändare) och de flesta kommer att ingå i Svenska kraftnäts observerbarhetsområde och omfattas då även av de krav som följer av SO-koden⁵ och EIFS 2019:07⁶.

Den reviderade ASP-handboken utgör en del av den webbaserade handboken HAP, *Handbok för anslutning av elproduktion*, som även innefattar AMP-handboken (*Anslutning av produktionsanläggningar till mellanspänningsnätet*) och ALP-handboken (*Anslutning av elproduktion till lågspänningsnätet*). AMP-handboken gäller för anslutningar av produktionsanläggningar som huvudsakligen har inverkan på förhållandena i lokalnätet, och behandlar kraftproduktionsmoduler av typerna A, B och C, det vill säga kraftproduktionsmoduler mindre än 30 MW, där inverkan på förhållandena i regionnätet är liten. ALP-handboken behandlar alla anslutningar till lågspänningsnätet, oavsett storlek. Det webbaserade formatet har valts för att lättare och snabbare kunna uppdatera handboken 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.

¹ ASP – Anslutning av större produktionsanläggningar till elnätet; Elforsk rapport 06:79; dec 2006

² Anslutning av större produktionsanläggningar till elnätet – ASP; Svensk Energi, juni 2011

³ KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EU) 2016/631 av den 14 april 2016 om fastställande av nätföreskrifter med krav för nätanslutning av generatorer

⁴ Enligt indelningen i kommissionens förordning (EU) nr 2016/631

⁵ KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EU) 2017/1485 av den 2 augusti 2017 om fastställande av riktlinjer för driften av elöverföringssystem

⁶ Energimarknadsinspektionens föreskrifter om fastställande av krav på datautbyte mellan elnätsföretag och betydande nätanvändare

Innehåll

Förord.....	3
1. Inledning	8
2. Regelverk, standarder och branschpraxis.....	9
2.1 EU-FÖRORDNINGAR.....	9
2.1.1 EU-förordning (2016/631)	9
2.1.2 EU-förordning om drift av överföringssystemet (2017/1485).....	14
2.1.3 EU-förordning om anslutning av förbrukare (2016/1388)	14
2.2 EU-DIREKTIV.....	14
2.2.1 EMC-direktivet (2014/30/EG, av den 26 februari 2014)	15
2.2.2 Maskindirektivet (2006/42/EG, av den 17 maj 2006).....	15
2.3 SVENSKA LAGAR.....	16
2.3.1 Ellagen (1997:857)	16
2.3.2 Elsäkerhetslag (2016:732)	16
2.3.3 Lag (1992:1512) om elektromagnetisk kompatibilitet.....	16
2.3.4 Miljöbalken (1998:808)	16
2.4 SVENSKA FÖRORDNINGAR.....	17
2.5 SVENSKA FÖRESKRIFTER.....	18
2.5.1 Energimarknadsinspektionens författningssamling.....	18
2.5.2 Svenska kraftnäts författningssamling	18
2.5.3 Elsäkerhetsverkets författningssamling	18
2.6 STANDARDER OCH BRANSCHPRAXIS.....	19
2.6.1 Standarder	19
2.6.2 Branschdokument.....	20
2.6.3 Enskilda tekniska riktlinjer.....	21
3. Administrativa anvisningar	22
3.1 FÖRFRÅGAN OCH OFFERTFÖRFRÅGAN	22
3.2 PRISINDIKATION	23
3.3 BESTÄLLNING AV KRITISKA DELARBETEN.....	24
3.4 PROJEKTERINGSAVTAL / OFFERTAVGIFT	24
3.5 OFFERT	24
3.6 BESTÄLLNING OCH FÖRANMÄLAN.....	25
3.7 FÄRDIGANMÄLAN OCH IDRIFTTAGNING	25

4. Anslutning och drift	27
4.1 INSTALLATION OCH DIMENSIONERING	28
4.2 KRAV PÅ DRIFTEGENSKAPER.....	28
4.2.1 Reglerförmåga för aktiv effekt.....	29
4.2.2 Reaktivt effektutbyte, spänningshållning och faskompensering.....	32
4.2.3 Tålighet mot stationära spänningsavvikelser.....	36
4.2.4 Störningstålighet.....	36
4.2.5 Start och stopp av elproduktionen	38
4.2.6 Nedstyrning vid nätproblem.....	39
4.2.7 Snabb felströmsinmatning.....	39
4.2.8 Ödrift	40
4.3 KOMMUNIKATION OCH DATAUTBYTE.....	40
4.4 FUNKTIONSSÄKERHET OCH TILLGÄNGLIGHET	41
5. Säkerhet och skydd	43
5.1 PERSONSÄKERHETSANSVAR.....	43
5.1.1 Arbetsmiljölagen – Allmänna skyldigheter	43
5.1.2 Elsäkerhet vid elarbeten i produktionsanläggning.....	43
5.1.3 Personssäkerhet vid användning av mätutrustning	44
5.2 ANLÄGGNINGSANSVAR.....	44
5.3 ELINSTALLATIONSARBETE	44
5.4 ESA – ELSÄKERHETSANVISNINGAR	45
5.4.1 Driftorganisation	45
5.4.2 ESA Organisation	46
5.5 JORDNING OCH ÅSKSKYDD.....	46
5.6 RELÄSKYDD OCH FELBORTKOPPLING.....	47
5.6.1 Över- och underfrekvensskydd.....	49
5.6.2 Trefasigt över- respektive underspänningsskydd.....	49
5.6.3 Övermagnetiseringsskydd	50
5.6.4 Kortslutningsskydd / Överströmsskydd	50
5.6.5 Jordfelskydd.....	50
5.6.6 Skydd mot oönskad ödrift.....	51
5.6.7 Bakeffektskydd	52
5.6.8 Osymmetriskydd	52

5.7	ÖVRIGA SKYDDSKRAV OCH SKYDDSANORDNINGAR	52
5.8	MÄRKNING	53
5.9	DRIFT- OCH UNDERHÅLLSSÄKERHET	53
6.	Mätning	54
6.1	INSTALLATIONSBESTÄMMELSER	54
6.2	MÄTNING AV ÖVERFÖRD EL	54
6.3	ACKREDITERING FÖR KONTROLL AV MÄTARE OCH MÄTSYSTEM	55
6.4	REALTIDSDATA	56
7.	Dimensioneringsförut- sättningar – Elkvalitet	57
7.1	SPÄNNINGSHÅLLNING OCH REAKTIVT EFFEKTUTBYTE	58
7.2	LÅNGSAMMA SPÄNNINGSVARIATIONER	58
7.3	SNABBA SPÄNNINGSVARIATIONER	59
7.3.1	Enstaka snabba spänningsändringar	59
7.3.2	Flimmer	60
7.4	ÖVERTONER, MELLANTONER OCH UNDERTONER.....	61
7.5	OLIKA PRODUKTIONSSLAGS PÅVERKAN PÅ NÄTET	64
8.	Analysmetoder	66
8.1	MAXIMALT AVGIVEN AKTIV EFFEKT	66
8.2	BELASTNINGSTRÖMMAR I ELNÄTET	66
8.3	FELSTRÖMMAR I ELNÄTET	67
8.4	FELSTRÖMMENS TERMISKA PÅVERKAN	67
8.5	FELSTRÖMMENS MEKANISKA PÅVERKAN	68
8.6	SPÄNNINGSVARIATIONER	68
8.7	FLIMMER	69
8.7.1	Start av vindkraftanläggning.....	69
8.7.2	Drift av vindkraftanläggningar	70
8.7.3	Beräkning av flimmervärdet i olika punkter i ett nät	71
8.8	KRAFTSYSTEMSTABILITET	71
8.9	VINKELSTABILITET	72
8.10	SPÄNNINGSSTABILITET	74
8.11	ÖVERTONER	77

Bilagor	78
BILAGA 1 FLÖDESSCHEMAN FÖR BERÄKNINGAR	79
BILAGA 2 ORDFÖRKLARINGAR.....	84
BILAGA 3 HÄRLEDNING AV EKVATIONER FÖR DIMENSIONERING AV ELNÄT	86
BILAGA 4 OFFERTFÖRFRÅGAN FÖR ANSLUTNING AV PRODUKTIONSANLÄGGNING	89

1. Inledning

Handboken riktar sig främst till elnätsföretag och utgör en del av den webbaserade handboken för anslutning av elproduktion, HAP, som även innefattar *Handbok för anslutning av elproduktion till lågspänningsnätet, ALP*, och *Handbok för anslutning av produktionsanläggningar till mellanspänningsnätet, AMP*. Dessa handböcker för anslutning av elproduktion ger en utmärkt vägledning även för producenter och entreprenörer.

Denna ASP-handbok ger anvisningar för nyanslutning av produktionsanläggningar av typen C (10–30 MW) och D (≥ 30 MW) med signifikant inverkan på regionnätet. Det är upp till respektive elnätsföretag att avgöra vilken storlek på produktionsanläggning som kan anslutas i en viss nätpunkt utifrån de dimensioneringsaspekter som tas upp i kapitel 7. Avgörande faktorer i denna bedömning är befintlig nätstyrka och nödvändiga förstärkningsåtgärder för att kunna ansluta den önskade produktionsanläggningen och fortsatt hålla en fullgod elleverans till samtliga kunder.

Vid alla förändringar av kraftsystemets utnyttjande måste elnätsägaren 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 exploitören 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 elnätet, 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.

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.

Elnätsföretagets och elproducentens rättigheter och skyldigheter, som innehavare av elektriska anläggningar, regleras 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. Elsäkerhetsverket utövar tillsyn av elektriska starkströmsanläggningar och dess innehavare, elektrisk materiel, elinstallationsföretag samt elinstallatörer. Elsäkerhetsverket ger dessutom ut föreskrifter om hur elektriska starkströmsanläggningar ska utföras och kontrolleras.

Då lagar, förordningar och föreskrifter till sin natur inte är detaljerade uppstår behov av utförligare riktlinjer. Här kommer standarder, branschpraxis och enskilda elnätsägares tekniska riktlinjer in. Det är värt att notera att föreliggande dokument är en branschpraxis. En produktionsanläggning som ansluts till elnätet ska leva upp till vid anslutningstidpunkten gällande EU-förordningar, samt svenska lagar och förordningar, föreskrifter och standarder. Det är alltid den senaste versionen av respektive regelverk som gäller.

2.1 EU-FÖRORDNINGAR

En förordning är bindande för alla medlemsländer sedan den antagits av Europeiska kommissionen. Förordningar utgör den kraftfullaste typen av unionsakt, och används för att införa enhetliga och direkt tillämpliga bestämmelser inom unionen. En EU-förordning blir automatiskt en del av den svenska lagstiftningen utan att inkorporeras eller transformeras till våra nationella rättsregler.

2.1.1 EU-förordning (2016/631)

Förordning (EU) 2016/631 innehåller nätföreskrifter med krav för nätanslutning av generatorer (den så kallade generatorkoden eller RfG:n, Requirements for Generators⁷). Här definieras de regler som gäller för produktionsanläggningar från och med 0,8 kW, och uppåt som ansluts till elnätet, *se tabell 1*. Regelverket är utformat med tilltagande krav med ökad effektstorlek på produktionsmodulen.

⁷ KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EU) 2016/631 av den 14 april 2016 om fastställande av nätföreskrifter med krav för nätanslutning av generatorer

Tabell 1: Gränsvärden för kraftproduktionsmoduler anslutna till det nordiska systemet

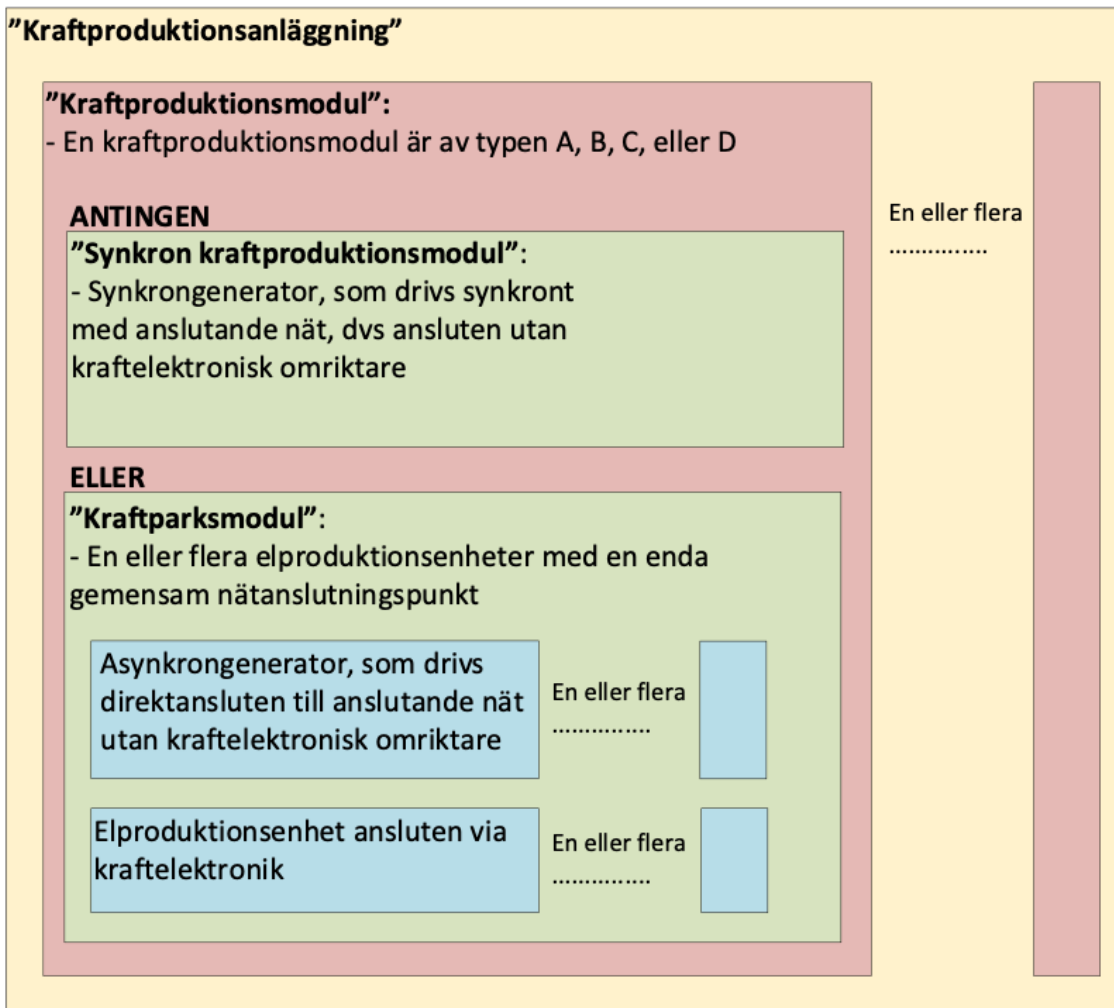
	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D
Gränsvärden	0,8 kW-<1,5 MW	1,5-<10 MW	10-<30 MW	30 MW-

Förordningen innehåller en del centrala begrepp som beskrivs nedan.

- *Kraftproduktionsanläggning* (produktionsanläggning); anläggning som består av en eller flera kraftproduktionsmoduler.
- *Kraftproduktionsmodul* (produktionsmodul); kan vara antingen en synkron kraftproduktionsmodul eller en kraftparksmodul.
- *Synkron kraftproduktionsmodul*; synkrongenerator och (odelbart) tillhörande apparater för att generera elektrisk energi.
- *Kraftparksmodul*; en eller flera elproduktionsenheter, med asynkron nätanslutning **eller** anslutning via omriktare, och med en enda gemensam anslutningspunkt.
- *Havsbaserad kraftparksmodul*; kraftparksmodul med havsbaserad anslutningspunkt.
- *Berörd systemansvarig*; Elnätsföretaget som ansvarar för den anslutningspunkt i nätet vartill en produktionsanläggning är ansluten eller tänkt att anslutas.
- *Systemansvarig* för överföringssystemet är Svenska kraftnät.

Kraven i förordningen är ordnade i allmänna krav för produktionsmoduler av respektive typ (A–D), ytterligare särskilda krav för synkrona kraftproduktionsmoduler (typ B–D), ytterligare särskilda krav för kraftparksmoduler (typ B–D), samt specifika krav för havsbaserade kraftparksmoduler.

Begreppen som beskriver olika typer av produktionsanläggningar och deras inbördes beroenden illustreras i *figur 1*.

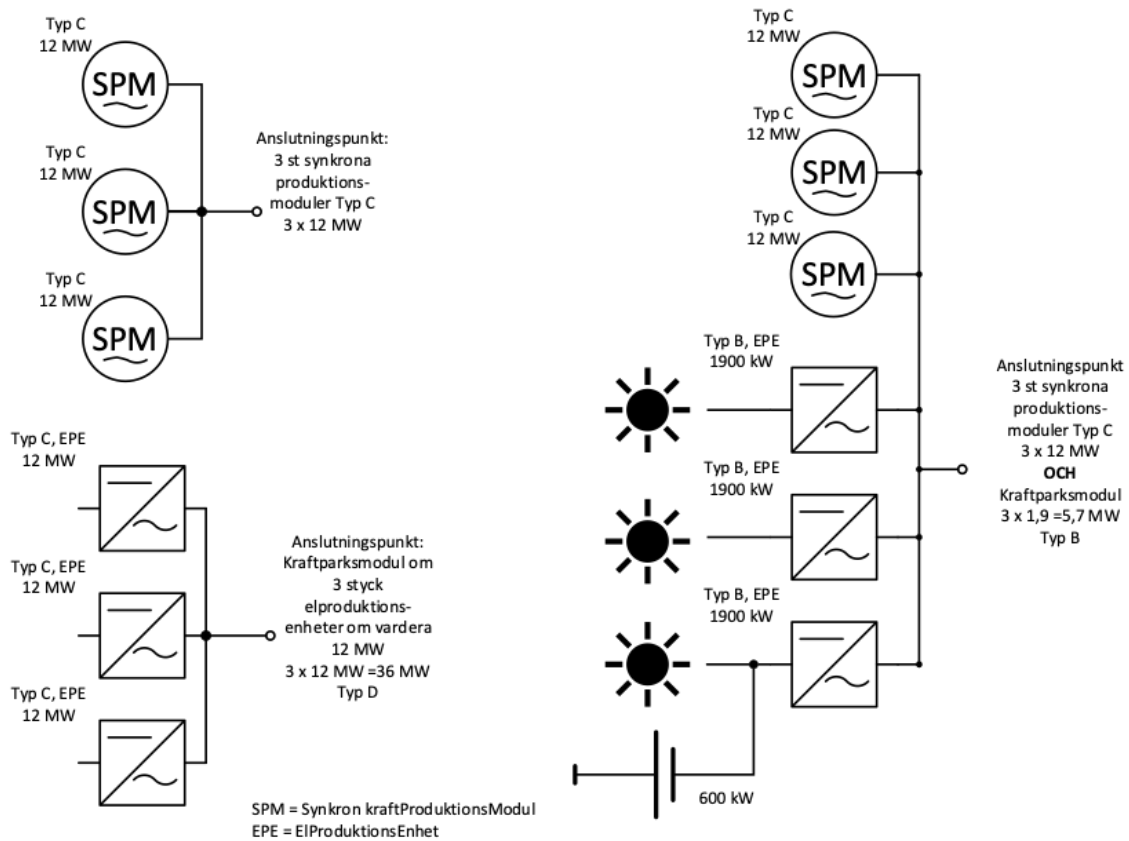


Figur 1. Nomenklatur och begrepp för en produktionsanläggning och dess komponenter.

Som framgår av definitionerna och av illustrationen i *figur 1*, så är en synkrongenerator alltid en kraftproduktionsmodul, oavsett anslutningspunkt mot nätet, och de tillämpliga allmänna kraven för typ A, B, C, eller D ges av tröskelvärdena för synkrongenerators maximala kontinuerliga aktiva effekt. Vidare gäller kraven för synkron produktionsmodul av aktuell typ.

En kraftparksmodul utgörs av samtliga direktanslutna asynkrongeneratorer och samtliga elproduktionsenheter anslutna via kraftelektronik, som har en gemensam nätanslutningspunkt. Detta oaktat vad som ytterligare finns i form av konsumtion, synkron kraftproduktion, faskompensering, transformering, elenergilager etcetera, inom kundanläggningen.

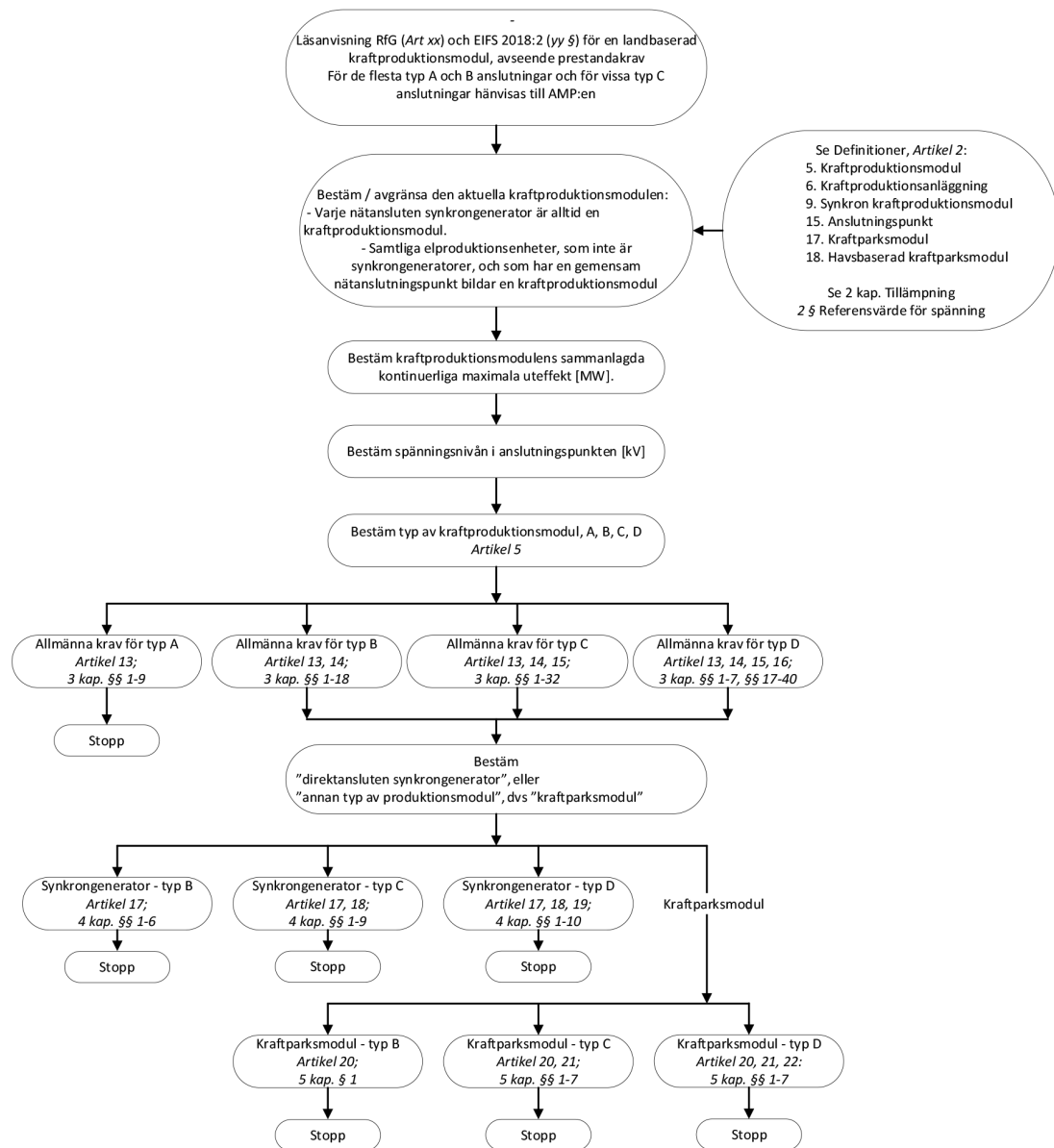
Figur 2 visar hur kraftproduktionsmoduler, eventuellt hela kraftproduktionsanläggningar, typbestäms, för att rätt kravbild enligt RfG:n ska tillämpas. Synkrongeneratorer (synkrona kraftproduktionsmoduler) är alltid individer och typbestäms efter maximal kontinuerlig effekt, medan direktanslutna asynkrongeneratorer och produktionsenheter anslutna via kraftelektronik (kraftparksmoduler) summeras upp till anslutningspunkten och typbestäms efter den sammanlagda maximala kontinuerliga effekten till anslutande nät i anslutningspunkten. En kraftproduktionsanläggning kan bestå av flera kraftproduktionsmoduler och därmed ha flera anslutningspunkter till anslutande nät.



Figur 2. Typbestämning för några olika anslutningsexempel.

Kraven i RfG:n ska tillämpas på nya kraftproduktionsmoduler (RfG Art 3:1), samt på befintliga kraftproduktionsmoduler av typen C eller D som ändras i sådan omfattning att anslutningsavtalet måste ses över grundligt (RfG Art 4:1).

I figur 3 visas schematiskt hur man för en viss anläggning letar sig fram till vilka tekniska krav som gäller i RfG:n och till de kompletterande kraven i EIFS 2018:2, som direkt korresponderar till avsnitten i RfG:n.



Figur 3. Läsanvisning för RfG:n.

2.1.1.1. Ny roll för elnätsföretagen

Elnätsföretagen får delvis en ny roll genom den tydligt uttalade skyldigheten att vägra tillåta anslutning av en kraftproduktionsmodul som inte uppfyller kraven som fastställs i RfG:n och som inte omfattas av beviljade undantag (RfG Art: 3:1). Elnätsföretagets ansvar för att bedöma en kraftproduktionsmoduls överensstämmelse med kraven i RfG:n gäller under anläggningens hela livstid.

2.1.1.2. Nya ansvarsområden för produktionsägare (RfG Art 40)

Produktionsägare ska säkerställa att varje kraftproduktionsmodul uppfyller de tillämpliga kraven i RfG:n under anläggningens hela livstid. Vidare är produktionsägare skyldiga att

meddela anslutande elnätsföretag om alla förändringar och händelser som kan påverka produktionsmodulens överensstämmelse med kraven i RfG:n, såsom:

- varje planerad förändring av teknisk förmåga för en produktionsmodul
- förekommande tillbud eller fel i en produktionsmodul som påverkar den tekniska förmågan för produktionsmodulen, samt
- planerade scheman och förfaranden för överensstämmelseprovning.

Anslutande elnätsföretag ska även beredas möjlighet att delta vid överensstämmelseprovning, samt att om så önskas göra egna mätningar av produktionsmodulens prestanda.

2.1.2 EU-förordning om drift av överföringssystemet (2017/1485)

Kommissionens förordning 2017/1485 om driften av elöverföringssystemet (SO GL) reglerar vilka tekniska krav som ska ställas på frekvenshållningsreserver (FCR). Förordningen reglerar vissa krav direkt, ger rätt för de nordiska transmissionsnätsoperatörerna (TSO:erna) att ta fram gemensamma regler för det nordiska synkronområdet och ger Svenska kraftnät rätt att ställa ytterligare nationella tekniska krav på frekvenshållningsresurser jämfört med de krav som ställs i förordningen. I förordningen klargörs också vilka realtidsmätvärden och ytterligare data som ska utbytas mellan betydande nätanvändare, DSO och TSO. Svenska kraftnät har tagit fram ytterligare krav med syfte att säkerställa driftsäkerheten, till exempel när det gäller datautbyte (Svk 2020/672), vilket ligger i linje med målen för förordningen.

2.1.3 EU-förordning om anslutning av förbrukare (2016/1388)

Kommissionens förordning 2016/1388 om fastställande av nätföreskrifter för anslutning av förbrukare reglerar tekniska krav för anslutning av förbrukningsanläggningar och distributionssystem till överföringssystemet. Allmänna krav som regleras berör bland annat spänning, frekvens, kortslutning, reaktiv effekt, skydd, reglering, informationsutbyte, bortkoppling och återinkoppling och simuleringsmodeller. Även efterfrågeflexibilitet hanteras i förordningen. Förordningen är viktig eftersom den berör all produktion som inte är stamnätsansluten.

2.2 EU-DIREKTIV

Ett EU-direktiv föreskriver vilket resultat medlemsländerna ska uppnå men lämnar åt dessa att bestämma form och tillvägagångssätt för genomförandet. Ett EU-direktiv ska alltså införlivas i den nationella lagstiftningen, medan EU-förordningar gäller oberoende av nationell lagstiftning.

Alla produkter (delar) i ett produktionssystem ska vara CE-märkta. För elproduktionsanläggningar där produktionsenhet (exempelvis solceller eller vindkraftverk) och/eller omriktare säljs separat ska båda dessa enheter vara CE-märkta. CE-märkningen är tillverkarens, eller importörens, sätt att enkelt informera kunden om att produkten överensstämmer med kraven i applicerbara EU-direktiv. De EU-direktiv som är av intresse i kontakten mellan elnätsföretag och innehavaren av en elproduktionsanläggning med inverkan på regionnätet är främst EMC-direktivet och maskindirektivet. De viktigaste säkerhetskraven för elektrisk utrustning konstruerad för användning inom vissa spänningsgränser delas upp i allmänna villkor, skydd mot risker orsakade av

elektrisk utrustning, och skydd mot risker som kan orsakas av yttre påverkan på den elektriska utrustningen.

I svensk lagstiftning finns regler om CE-märkning i lag (2011:791) om ackreditering och teknisk kontroll, 14–17 §§. I ELSÄK-FS 2016:1 3 kapitel 8 § finns kompletterande föreskrifter.

2.2.1 EMC-direktivet (2014/30/EG, av den 26 februari 2014)

Bestämmelserna i EMC-direktivet gäller en utrustnings elektromagnetiska kompatibilitet. Syftet är att säkerställa EU-marknadens funktion genom krav på att utrustningen ska överensstämma med en adekvat nivå av elektromagnetisk kompatibilitet. De viktigaste EMC-kraven delas upp i *skyddskrav* och *särskilda krav för fasta installationer*.

2.2.1.1. Skyddskrav

Utrustningen ska med beaktande av aktuell tillämpbar teknik vara så konstruerad och tillverkad att:

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

Tillverkaren garanterar kravuppfyllnad, enligt 1) och 2) ovan, genom CE-märkning. Alla produkter ska vara CE-märkta.

2.2.1.2. Särskilda krav för fasta installationer

Eftersom en installation inte kan CE-märkas på samma sätt som produkter finns särskilda krav för att garantera att installationen som sådan uppfyller skyddskraven. Det är ett nödvändigt, men inte ett tillräckligt, krav att alla ingående produkter är CE-märkta. En fast installation är, enligt guiden till EMC-direktivet, en särskild kombination av olika typer av apparater och i förekommande fall andra anordningar som är monterade, installerade och avsedda för permanent användning på en på förhand fastställd plats. Man kan generellt anse att en hel vindkraftspark blir en fast installation enligt EMC-direktivet. Då ska man enligt direktivet göra en analys av förutsättningarna på platsen och anpassa anläggningen efter detta. Därför är det inte alls säkert att en fast installation uppfyller skyddskravet bara för att man bygger av enbart CE-märkta delar. Ett exempel på detta är solcellsanläggningar som kompletterats med så kallade optimerare.

2.2.2 Maskindirektivet (2006/42/EG, av den 17 maj 2006)

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. Däremot är en solcellsanläggning inte en maskin, eftersom den saknar rörlig del.

2.3 SVENSKA LAGAR

2.3.1 *Ellagen (1997:857)*

Ellagen (1997:857) är det grundläggande regelverk som styr anslutning och drift av elektriska produktionsanläggningar och ligger till grund för andra mer detaljerade regler i förordning och föreskrift.

2.3.2 *Elsäkerhetslag (2016:732)*

Reglerna som tidigare fanns i starkströmsförordningen, elinstallatörsförordningen och förordningen om elektrisk materiel finns från den 1 juli 2017 i en och samma elsäkerhetslag med en kompletterande elsäkerhetsförordning. I elsäkerhetslagen regleras de krav som gäller vid elinstallationsarbete som avser utförande, ändring eller reparation av en elektrisk starkströmsanläggning, de krav som gäller innehavarens av en starkströmsanläggning grundläggande skyldigheter rörande kontroll av anläggningen och innehavarens övergripande ansvar för arbete som utförs på eller i anslutning till anläggningen. Lagen reglerar även ansvar för skada genom inverkan av el från starkströmsanläggning, produktansvar vid skada orsakad av säkerhetsbrist, samt skadestånd vid driftstörning på elektrisk anläggning.

Elsäkerhetslagen (2016:732) reglerar när den elprodukt som ett vindkraftverk utgör under uppförandet blir en elanläggning för produktion av el. Detta uppstår när den elektriska utrustningen som finns i vindkraftverket spänningssätts med sådan spänning, strömstyrka eller frekvens som kan vara farlig för människor eller egendom. Innehavaren (byggaren eller ägaren av vindkraftverket) ansvarar för att kraven i 6 § elsäkerhetslagen och Elsäkerhetsverkets föreskrifter efterlevs. Efter det att vindkraftverket tagits i bruk omfattas arbete med den elektriska starkströmsanläggningen i vindkraftverket av kraven som ställs på elinstallationsföretag enligt bestämmelser i 23–27 §§ elsäkerhetslagen (2016:732).

2.3.3 *Lag (1992:1512) om elektromagnetisk kompatibilitet*

Lagen innehåller regler om rätt att meddela föreskrifter, utöva tillsyn med mera, när det gäller krav på egenskaper hos eller användning av utrustning för att den ska kunna fungera tillfredsställande i sin elektromagnetiska omgivning utan att orsaka oacceptabla elektromagnetiska störningar för annan utrustning (elektromagnetisk kompatibilitet), kontroll och märkning.

2.3.4 *Miljöbalken (1998:808)*

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 ska 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.

2.4 SVENSKA FÖRORDNINGAR

Förordning (1994:1806) om systemansvaret för el tilldelar Svenska kraftnät det övergripande systemansvaret, som systemansvarig myndighet enligt 8 kapitel 1 § ellagen (1997:857).

Förordning (2016:742) med instruktion för Energimarknadsinspektionen tilldelar Energimarknadsinspektionen ansvaret för tillsyn, regelgivning och tillståndsprövning enligt ellagen.

Elsäkerhetsförordning (2017:218) innehåller bland annat säkerhetsbestämmelser för elektrisk materiel, anmälningsplikt för elektriska anläggningar, kraven på drifttillstånd för direktjordade högspänningsanläggningar, krav på innehavare av luftledning vid ny eller ändrad detaljplan samt vid vägtrafik, järnväg och flygplatser, Elsäkerhetsverkets krav och bemyndiganden, hantering av dispenser med mera.

Förordning (2016:363) om elektromagnetisk kompatibilitet innehåller bestämmelser om elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) för utrustning.

Förordning (2007:215) om undantag från kravet på nätkoncession enligt ellagen (1997:857) reglerar uttömmande de undantag som finns från kravet på nätkoncession enligt ellagen. I förordningen återfinns bland annat bestämmelser om interna nät som förbinder två eller flera elproduktionsanläggningar.

Miljöbedömningsförordning (2017:966): En miljökonsekvensbeskrivning görs för att nätkoncessionens påverkan på miljön och människors hälsa ska kunna bedömas. Det ger prövningsmyndigheten ett underlag för att kunna bedöma om verksamheten är förenlig med gällande miljölagstiftning.

Kraven skiljer sig åt för områdeskoncessioner och linjekoncessioner:

1. För byggande av ledning som ingår i elnätsföretagets områdeskoncession krävs vanligtvis ingen miljökonsekvensbeskrivning, men kan ändå behövas om påverkan på naturen blir stor.
2. För byggande av ledning som kräver linjekoncession behövs antingen en specifik miljöbedömning eller en liten miljökonsekvensbeskrivning, ellagen 2 kapitel 8 a §.

För att avgöra vilken typ av miljökonsekvensbeskrivning som behövs för linjekoncessionen genomförs först ett undersökningssamråd för att avgöra om projektet kommer att medföra

betydande miljöpåverkan. Länsstyrelsen fattar därefter beslut om verksamheten medför betydande miljöpåverkan. Verksamhetsutövaren går i så fall vidare och genomför ett avgränsningssamråd för att bedöma hur miljökonsekvensbeskrivningen ska avgränsas.

I de fall en linjekoncession inte kan antas medföra betydande miljöpåverkan räcker det med en liten miljökonsekvensbeskrivning, vilket innebär lättare krav både på processen och det skriftliga underlaget som beskriver miljöpåverkan.

2.5 SVENSKA FÖRESKRIFTER

Föreskrifter meddelas av myndigheter och är en del av det tvingande regelverket. Ofta ger regeringen genom en förordning en myndighet rätt att, genom föreskrifter, utfärda mer detaljerade regler än de som finns i lagar och förordningar.

2.5.1 *Energimarknadsinspektionens författningssamling*

I förordning (2016:742) med instruktion för Energimarknadsinspektionen tilldelas myndigheten ansvaret för tillsyn, regelgivning och tillståndsprovning enligt ellagen. Följande föreskrifter är av speciellt intresse i samband med anslutning av produktion med betydelse på regionnätetsnivå:

- EIFS 2013:1: Innehåller krav som ska vara uppfyllda för att överföringen av el ska vara av god kvalitet.
- EIFS 2015:3: Innehåller regler om utformning av tidplaner för anslutning av elproduktionsanläggningar.
- EIFS 2016:2: Innehåller regler för mätning, beräkning och rapportering av överförd el.
- EIFS 2018:2: Innehåller regler för nätanslutning av generatorer (komplettering av förordning (EU) 2016/631).
- EIFS 2019:7: Innehåller krav på datautbyte mellan elnätsföretag och betydande nätanvändare (komplettering av förordning (EU) 2017/1485).

Dessa föreskrifter kompletterar Kommissionens förordning (EU) 2017/1485 om riktlinjer för driften av elöverföringssystem. EIFS 2019:7 berör strukturella data, planeringsdata, prognosdata, och realtidsdata. Även avbrottsplaner hanteras i denna föreskrift.

2.5.2 *Svenska kraftnäts författningssamling*

Svenska kraftnät har för närvarande endast 8 aktuella föreskrifter. Ingen av dessa föreskrifter berör nyetablering av elproduktion. SvKFS 2005:2 har ersatts av RfG:n och EIFS 2018:2. Dock fortsätter SvKFS 2005:2 att gälla för befintliga anläggningar i samband med förändringar som inte omfattas av EIFS 2018:2.

2.5.3 *Elsäkerhetsverkets författningssamling*

Elsäkerhetsverket är tillsynsmyndighet när det gäller frågor om elsäkerhet och elektromagnetisk kompatibilitet (EMC). Elsäkerhetsverket får därför, i den utsträckning som behövs för att förebygga person- eller sakskada på grund av el, meddela föreskrifter om utförande av elektriska starkströmsanläggningar och elektrisk utrustning som är avsedd att anslutas till en starkströmsanläggning, samt kontroll och provning av sådana anläggningar och elektriska utrustningar. För anslutning av produktionsanläggningar med inverkan på regionnätet är det främst följande delar av Elsäkerhetsverkets föreskrifter som ska beaktas:

- ELSÄK-FS 2006:1: Innehåller bestämmelser om elsäkerhet vid arbete i yrkesmässig verksamhet.
- ELSÄK-FS 2008:1, 2010:1 och 2015:3: Innehåller bestämmelser om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda.
- ELSÄK-FS 2008:2 och 2010:2: Innehåller bestämmelser om varselmärkning vid elektriska starkströmsanläggningar.
- ELSÄK-FS 2008:3 och 2010:3: Innehåller bestämmelser om innehavarens kontroll av elektriska starkströmsanläggningar och elektriska anordningar.
- ELSÄK-FS 2016:3 och 2016:4: Innehåller bestämmelser om elektromagnetisk kompatibilitet.
- ELSÄK-FS 2017:2: Innehåller bestämmelser om elinstallationsarbete.

För flera av Elsäkerhetsverkets föreskrifter pågår för närvarande revidering och omarbetning, i vissa fall i mindre skala och i andra fall mer omfattande. De som kan nämnas i sammanhanget är ELSÄK-FS 2006:1, 2008:1, 2008:2, 2008:3 samt 2017:2.

2.6 STANDARDER OCH BRANSCHPRAXIS

Ett stort antal standarder har utarbetats för att på ett enhetligt sätt uppfylla de krav som ställs i de tvingande regelverken. Detta för att säkerställa människors liv och hälsa, skydd för naturen samt produktansvar och leveranskvalitet.

Om svensk standard tillämpas som komplement till föreskrifterna anses anläggningen utförd enligt god elsäkerhetsteknisk praxis om inget annat visas. Om en anläggnings utförande helt eller delvis avviker från svensk standard ska de bedömningar som ligger till grund för utförandet dokumenteras. (ELSÄK-FS 2008:1, 2 kapitel, 1 §, stycke 3). I andra icke säkerhetsrelaterade frågeställningar lämnas ett större spelrum för branschens aktörer att finna egna och olika vägar, såväl gällande tekniska krav och lösningar som för den administrativa hanteringen.

2.6.1 Standarder

Nedan presenteras några viktiga standarder i samband med anslutning av produktionsanläggningar. Aktuell utgåva för nedan listade standarder gäller.

- 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 beskriver de gränser eller värden mellan vilka spänningens egenskaper kan förväntas bibehållas i anslutningspunkter i de publika europeiska elnäten.
- SS-EN 50308: *Vindkraftverk – Säkerhet och skydd vid skötsel och underhåll*.
- SS-EN 50522: *Starkströmsanläggningar med nominell spänning överstigande 1 kV AC – Jordning*.
- SS-EN 60909-0: *Kortslutningsströmmar i trefas växelströmsnät*.
- SS-EN 61000-2-2: *Miljöförhållanden – Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer på elnät*.

- SS-EN 61000-4-30: *Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) – Del 4-30: Mät- och provningsmetoder – Mätning av spänningsgodhet och elkvalitet*. Standarden finns tillgänglig på engelska och definierar metoder för mätning av elkvalitetsparametrar i 50/60 Hz växelströmssystem och för tolkning av resultaten.
- SS-EN 61400-21: *Vindkraftverk – Del 21: Mätning och bedömning av elkvalitet för nätanslutna aggregat*. Standarden finns tillgänglig på engelska och beskriver karakteristiska elkvalitetsparametrar för vindkraftverk, standardiserade test-procedurer och underlag för bedömning av elkvaliteten.
- SS-EN 61936-1: *Starkströmsanläggningar med nominell spänning överstigande 1 kV AC – Del 1: Allmänna fordringar*.
- SS-EN 62109-2: *Omformare för solcellsanläggningar – Säkerhet – Del 2: Särskilda fordringar på växelriktare*. Standarden finns tillgänglig på engelska.
- SS-EN 62920: *Omriktare för solcellsanläggningar – EMC – Fordringar och provningsmetoder*. Standarden finns tillgänglig på engelska.

2.6.2 Branschdokument

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

Exempel på branschdokument är:

- ESA, Elsäkerhetsanvisningar som ges ut av Energiföretagen Sverige, är den branschpraxis som gäller för alla som arbetar med installation, montage eller skötsel av elektriska anläggningar, samt för elanläggningsansvarig. Energiföretagen Sverige har en arbetsgrupp som kontinuerligt arbetar med elsäkerhetsfrågor och uppdatering av ESA-materialet. Elsäkerhetsanvisningarna är en del av EBR, ElnätsBranschens Riktlinjer. *Se även avsnitt 5.4.*
- Elmarknadshandboken. En komplett beskrivning av alla olika processer som ingår i elmarknaden (www.elmarknadshandboken.se).
- Högspänningshandboken (SEK Handbok 438). Innehåller dels standarderna SS-EN 61936-1 och SS-EN 50522 i svensk översättning, dels Högspänningsguiden med tilläggsinformation avsedd att underlätta användningen av standarderna.
- IBH 14 – Anslutning av kundanläggningar 1–36 kV till elnätet. Tillämplig för större anläggningar som ansluts till mellanspänning, men som har signifikant inverkan på regionnätet.
- Föranmälan. Anmälan inlämnad av registrerat elinstallationsföretag till elnätsföretaget avseende elinstallationsarbete som medför behov av ny eller ändrad anslutning eller väsentlig förändring i kundens uttag av el.
- Färdiganmälan. Anmälan inlämnad av registrerat elinstallationsföretag till elnätsföretaget avseende färdigställande av elinstallationsarbete enligt föregående inlämnad föranmälan.
- NÄT 2012 H (rev), Allmänna avtalsvillkor för anslutning av elektriska högspänningsanläggningar till elnät och överföring av el till eller från sådana anläggningar.

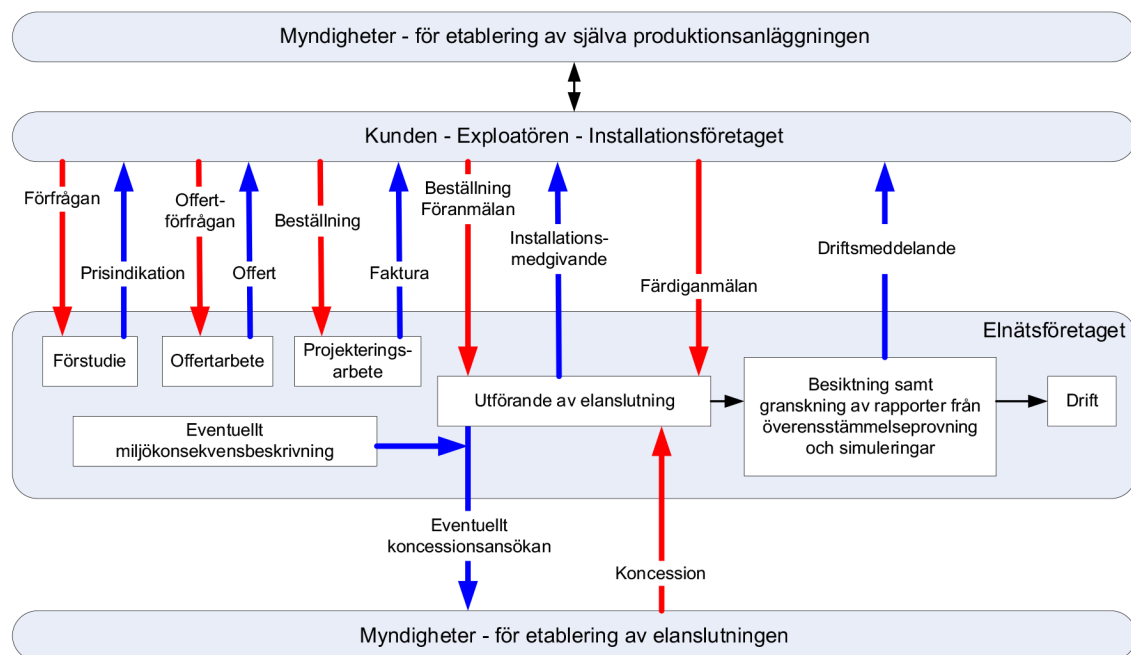
- Anslutning av produktionsanläggningar till mellanspänningsnätet – AMP, utgiven av Energiföretagen Sverige.
- Anslutning av större produktionsanläggningar till regionnätet – ASP, föreliggande handbok, utgiven av Energiföretagen Sverige.

2.6.3 *Enskilda tekniska riktlinjer*

Förutom branschgemensam praxis har respektive elnätsföretag sina tekniska riktlinjer och specifika rutiner i samband med anslutning och drift av produktionsanläggningar. Avsikten är att hålla en tillräckligt hög och jämn kvalitet på egna nät och stationer, samt på andra anläggningar anslutna till det elektriska kraftsystemet. Dessa riktlinjer och rutiner finns oftast på företagets hemsida. Även Svenska kraftnät har ett stort antal tekniska riktlinjer tillgängliga på sin hemsida.

3. Administrativa anvisningar

Elnätsföretaget har ansvar för elsäkerhet, EMC och elkvalitet. Innan elproducerande utrustning ansluts till det allmänna distributionsnätet ska elnätsföretaget därför kontaktas. 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 4* visas ett exempel på de olika momenten och deras inbördes ordning.



Figur 4. Aktiviteter och aktörer för anslutning av en produktionsanläggning.

Elnätsföretag ska enligt ellagen ha standardiserade rutiner för anslutning av elproduktionsanläggningar. Sådana ska, så långt det är möjligt och ändamålsenligt, säkerställa en snabb och enkel anslutning.

3.1 FÖRFRÅGAN OCH OFFERTFÖRFRÅGAN

För att elnätsföretaget ska kunna lämna en offert på elanslutningen för en ny produktionsanläggning, måste kunden lämna en skriftlig offertförfrågan. Produktionsanläggningens nätpåverkan är typberoende och därför måste fabrikat och typ anges. Ändrar kunden typ eller fabrikat efter att offerten lagts måste elnätsföretaget ges möjlighet att förnya beräkningarna och presentera en ny offert för anslutningen.

Förfrågan eller föransökan ska vara skriftlig och bör innehålla följande:

- Kontaktuppgifter.
- Ifylld ASP-version av den så kallade "AMP-blanketten" (se bilaga 4).
- Antal, fabrikat, och typ av kraftproduktionsmodul.

- Anläggningens totala effekt.
- Anläggningens plats (fastighetsbeteckning/karta/koordinater⁸/anslutningsvägar).
- Preliminär tidplan.

Kunden ges en prisindikation, för att ge kunden möjlighet att bedöma produktionsanläggningens lönsamhet innan kunden förbinder sig till en mer kostsam och tidskrävande förprojektering. Skulle, under elnätsföretagets utredningsarbete, förutsättningarna för nätanslutningen väsentligen förändras ska elnätsföretaget uppdatera prisindikationen. Vid en förfrågan ska elnätsföretaget, enligt ellagen, ange en tidplan för sin handläggning av ärendet. Vad tidplanen ska innehålla framgår av *Energimarknadsinspektionens föreskrifter om utformning av tidsplaner avseende anslutning av elproduktionsanläggningar* (EIFS 2015:3). En tidig information från kunden till elnätsföretaget minskar risken för försening eftersom en planerad anslutning i vissa fall kan kräva förstärkning av elnätet.

För att elnätsföretaget ska starta ett anslutningsärende krävs att, dels de enskilda kraftproduktionsmodulerna, dels kraftproduktionsanläggningen som helhet, uppfyller tillämpliga krav i RfG:n och i *Energimarknadsinspektionens föreskrifter om fastställande av generellt tillämpliga krav för nätanslutning av generatorer* (EIFS 2018:2).

För befintliga anläggningar, typ C och D som byggs om eller ändras i sådan omfattning att ett nytt anslutningsavtal krävs, gäller att ombyggnaden ska anmälas till Energimarknadsinspektionen, som sedan tar beslut om vilka krav som ska tillämpas. Typiska exempel på sådana ändringar är effekthöjning och modernisering av reglerutrustning.

3.2 PRISINDIKATION

För att kunden ska kunna få en uppfattning om anslutningsavgiftens storlek och hur det är tekniskt möjligt att genomföra tänkt anslutning utförs vanligtvis en begränsad förstudie. Efter förstudien lämnas normalt en prisindikation på en övergripande nivå till kunden. En utförligare offertprojektering kan resultera i andra anslutningsvillkor, kostnader och förändrad tidplan. En prisindikation från elnätsföretaget ska innehålla:

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

En prisindikation från elnätsföretaget bör även innehålla en indikativ tariff.

⁸Sweref 99 eller av elnätsföretaget angivet koordinatsystem

3.3 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 tillståndsprocessen för produktionsanläggningen. För att starta det arbetet vid ett 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.

3.4 PROJEKTERINGSAVTAL / OFFERTAVGIFT

För anslutningar där förstudien visar på omfattande projekterings- och utredningsbehov, eller där det bedöms förekomma en förhöjd risk att projektet inte slutförs, kan ett projekteringsavtal tecknas. I ett projekteringsavtal kan även tariffen ingå. I avtalet förbinder sig kunden att bekosta elnätsföretagets upparbetade kostnader om beställning uteblir eller om projektet läggs ner innan en offert färdigställts. De upparbetade kostnaderna ska annars räknas in i den offerterade anslutningsavgiften. Ett alternativ till projekteringsavtal är att ta ut en offertavgift, som ska baseras på de kostnader elnätsföretaget har för att kunna offertera anslutningen. Offertavgiften avräknas vid beställning, men är förverkad om beställning uteblir.

3.5 OFFERT

En offert efterfrågas normalt av kunden i ett skede då eventuella tillstånd för anslutningen har erhållits. Offerten skickas först när samtliga förutsättningar har klargjorts och den tekniska lösningen är framtagen. En offert bör innehålla:

- Teknisk kravspecifikation avseende den aktuella anslutningspunkten.
- Anslutningsavgift.
- Offertens giltighetstid, till exempel 3 månader.
- Beräknad tidpunkt för anslutningen.
- Information om gällande tariff och eventuell nätnytta.
- Leveransomfattning inklusive parternas åtagande.

Vid inkommen beställning ska elnätsföretaget, enligt ellagen, ange en tidplan för färdigställandet av anslutningen för produktionsanläggningen. Vad tidplanen ska innehålla framgår av *Energimarknadsinspektionens föreskrifter om utformning av tidsplaner avseende anslutning av elproduktionsanläggningar* (EIFS 2015:3).

3.6 BESTÄLLNING OCH FÖRANMÄLAN

En skriftlig föransmälan ska göras till aktuellt elnätsföretag för elinstallationsarbete som kräver en ny, eller större utbyggnad av en befintlig, starkströmsanläggning innan arbetet får påbörjas. Det är till elnätsföretaget som föransmälan om anslutning ska ställas och det är elnätsföretaget som anger vilka krav som ska vara uppfyllda för anslutningen och vilka uppgifter som i övrigt ska lämnas. Föransmälan ska lämnas av auktoriserat elinstallationsföretag för varje anslutningspunkt mot elnätsföretagets nät.

3.7 FÄRDIGANMÄLAN OCH IDRIFTTAGNING

Före första tillkoppling av en ny eller ombyggd produktionsanläggning ska anläggningen färdiganmälas av auktoriserat elinstallationsföretag, samt anslutningsavtal ha ingåtts. Anslutningsavtalet ska innehålla uppgifter om anslutningspunkt, maximal kontinuerlig effekt, lägsta nivå med reglerförmåga och lägsta nivå för stabil drift (RfG Art 2:14, 15, 16, 24, 50), om detta inte överenskommit på annat sätt. Protokoll över utförda funktionsprov av de elektriska skyddsfunktionerna för den färdiga anläggningen, samt över uppmätt jordtagsresistans för det enskilda jordtaget, ska bifogas. Om utförandet avviker från vad som angivits i föransmälan ska nya uppgifter samt eventuellt nytt kopplingschema inlämnas för godkännande av elnätsföretaget.

Elnätsföretaget ska innan idrifttagningen ges möjlighet:

- att utföra besiktning av anslutnings- och mätanordning
- att delta i funktionsprov av reläskyddssystem
- att delta vid inkoppling, och
- att delta vid överensstämmelseprovning.

Utbyte av kontaktvägar mellan kundens driftorganisation och elnätsföretagets driftorganisation ska ske före inkoppling av anläggningen. Kontaktvägarna bör följa ESA och även anslås i anläggningen, se *avsnitt 5.4*. Ägogräns respektive driftledningsgräns mellan produktionsanläggningen och elnätsföretagets nät ska fastställas och dokumenteras.

Anläggningen får tas i drift först sedan elnätsföretaget, genom ett så kallat *driftsmeddelande* (RfG Art 29–37), lämnat sitt medgivande. För att utfärda driftsmeddelande, ett för varje ny kraftproduktionsmodul, begär elnätsföretaget in information dels om varje enskild kraftproduktionsmodul, såsom statiska och dynamiska kraftsystemmodeller, dels om kraftproduktionsanläggningen som helhet, såsom strukturdata och elparametrar. För typ B och C sker informationsutbytet via ett så kallat KPM-dokument (*dokument för kraftproduktionsmodul*). Dessutom ska en simuleringsmodell tillhandahållas som korrekt återspeglar kraftproduktionsmodulens drifttegenskaper i simuleringar av både stationärt tillstånd och dynamiska förlopp, samt för elektromagnetiska transienter, om den systemansvarige eller Svenska kraftnät så begär.

Produktionsägaren ska tillhandahålla separata KPM-dokument för varje kraftproduktionsmodul inom en viss kraftproduktionsanläggning, där följande ingår (RfG Art 32:2):

- Överenskommelse om de skydds- och reglerinställningar som är relevanta för anslutningspunkten.
- Specificerad försäkring om överensstämmelse med gällande regelverk.
- Detaljerade tekniska uppgifter om kraftproduktionsmodulen, med betydelse för anslutningen.
- Rapporter från överensstämmelseprovning som visar prestanda i stationärt läge och dynamiska prestanda.

För kraftproduktionsmoduler av typ C ska elnätsföretaget efter godtagande av ett fullständigt och tillfredsställande KPM-dokument utfärda ett slutligt driftsmeddelande till ägaren av kraftproduktionsanläggningen (RfG Art 32:3). Under driftsättnings- och provperioden, det vill säga från spänningssättning av anläggningen tills dess att slutligt driftsmeddelande utfärdats, tillåts normalt en begränsad effektutmatning från produktionsanläggningen. Provperioden bör vara så kort som möjligt.

För kraftproduktionsmoduler av typ D är förfarandet något mer komplicerat, och, förutom vad som specificerats för typ C moduler ovan, ska elnätsföretaget även lämna följande driftsmeddelanden:

- *driftsmeddelande om spänningssättning* (av kraftproduktionsmodulens interna nät)
- *tillfälligt driftsmeddelande* (för en begränsad tid, max 24 månader) samt
- *slutligt driftsmeddelande* (RfG Art 33, 34, 35, 36).

Anläggningar av typ D, som inte fullt ut uppfyller anslutningskraven till följd av skada eller haveri, som väntas bestå i mer än tre månader, får normalt sitt driftsmeddelande återkallat och ersatt av ett *begränsat driftsmeddelande*, med en maximal giltighet om tolv månader (RfG Art 37).

4. Anslutning och drift

Placeringen av produktionsanläggningar styrs oftast av helt andra faktorer än lämpligheten att ansluta till ett befintligt elnät. 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 anpassa, sina anläggningar med avseende på:

1. *Felströmsnivåer.* Alla komponenter i kraftsystemet måste tåla de felströmmar som de kan utsättas för.
2. *Belastningsströmmar.* Kraftsystemets komponenter måste tåla de belastningsströmmar som de kan utsättas för.
3. *Förluster.* Överföringsförluster och så kallad "nätnytta" ska fördelas mellan kunderna på ett rättvist sätt.
4. *Spänningsreglering.* Inmatning av aktiv och reaktiv effekt från en produktionsanläggning påverkar överföringsförlusterna i systemet och därmed spänningen i andra anslutningspunkter.
5. *Övertoner, mellantoner, osymmetrier och flimmer.* Produktionsanläggningens bidrag till övertoner, mellantoner, osymmetrier och flimmer 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. Respektive elnätsföretag ansvarar för sitt nät, medan anläggningsägaren ansvarar för felbortkoppling inom produktionsanläggningen och eventuellt icke koncessionspliktigt nät.

Med anpassning av anläggningar med avseende på ovanstående menas förstärkningsåtgärder, nätvärn, anpassad drift vid onormal koppling och liknande. Vidare måste produktionsanläggningen vara robust mot förekommande händelser och driftförutsättningar i angränsande nät, såsom fel, transienta överspänningar, onormala drifttillstånd, onormala kopplingslägen etcetera.

RfG:n och EIFS 2018:2 ställer krav på anslutna produktionsmoduler, vad det gäller:

- Reglerförmåga för aktiv effektproduktion i förhållande till spänning och frekvens i anslutningspunkten.
- Reaktiv effekterförmåga och spänningsreglering i förhållande till maximal kontinuerlig effektproduktion och aktuell spänning i anslutningspunkten.
- Störningstålighet, ofta karakteriserad som en spänningsprofil i anslutningspunkten.

4.1 INSTALLATION OCH DIMENSIONERING

För att elanslutningen av en produktionsanläggning ska bli kostnadseffektiv och rätt dimensionerad krävs ett samspel mellan anläggningsinnehavaren, och dennes entreprenörer och konsulter, å ena sidan, och elnätsföretaget å andra sidan. Därvid har såväl anläggningsägaren som elnätsföretaget vissa skyldigheter gentemot den andra.

Anläggningsägaren ska säkerställa att produktionsanläggningen med tillhörande utrustning är utförd och uppställd enligt gällande regelverk. Produktionsanläggningens skyddsanordningar ska följa kraven som finns sammanställda 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 referensspänning och maximalt respektive minimalt förekommande kortslutningseffekt (relaterad till en viss spänning i anslutningspunkten). Vidare ställer elnätsföretaget krav på spänningskvalitet i anslutningspunkten, som oftast är relaterade till gällande standard. EMC-hantering, EMC-analys, anpassning av den fasta installationen och dokumentation, är en annan viktig del för att få till en bra fungerande anläggning och för att kunna hantera eventuella framtida frågor om störningar.

Elnätsföretaget är ansvarigt för spänningshållning i nätet och ska säkerställa att eventuell inverkan på spänningshållningen från produktionsanläggningen kan hållas inom acceptabla gränser. Därför ska den berörda systemansvarige, för varje anslutningspunkt i nät med en spänningsnivå understigande 400 kV, specificera referensvärdet för relativtal 1 (100 % spänning) (EIFS 2018:2, 2 kapitel 2 §).

Eventuell förekomst av utrustning för återinkoppling (ÅI) eller snabbåterinkoppling (SÅI) för näraliggande ledningar ska meddelas av elnätsföretaget i förutsättningarna.

4.2 KRAV PÅ DRIFTEGENSKAPER

Elleverans från en produktionsanläggning ska ha en sådan kvalitet att elnätsföretaget, på kort såväl som på lång sikt, kan uppfylla elkvalitetskraven i tillämpliga regelverk och standarder till anslutna kunder till exempel:

- *KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EU) 2016/1388 av den 17 augusti 2016, om fastställande av nätföreskrifter för anslutning av förbrukare, Artikel 20.*
- *SS-EN 61000-2-12 Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) – Del 2-12: Miljöförhållanden – Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer på mellanspänningsnät.*
- *SS-EN 61000-2-2 Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) – Del 2-2: Miljöförhållanden – Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer på elnät (gäller lågspänningsnät).*
- *Svenska kraftnät Teknisk Riktlinje TR06-01 – Tekniska riktlinjer för elkvalitet del 1: Spänningens egenskaper i stamnätet.*
- *Svenska kraftnät Teknisk Riktlinje TR06-02 – Tekniska riktlinjer för elkvalitet del 2: Planerings- och emissionsnivåer, mätmetoder och ansvarsfördelning avseende elkvalitet i stamnätet.*

För att elnätsföretagen ska kunna säkerställa att elkvalitetskraven uppfylls tilldelas respektive produktionsanläggning bara en del av det störutrymme som anges i standarder, *se kapitel 7*.

4.2.1 Reglerförmåga för aktiv effekt

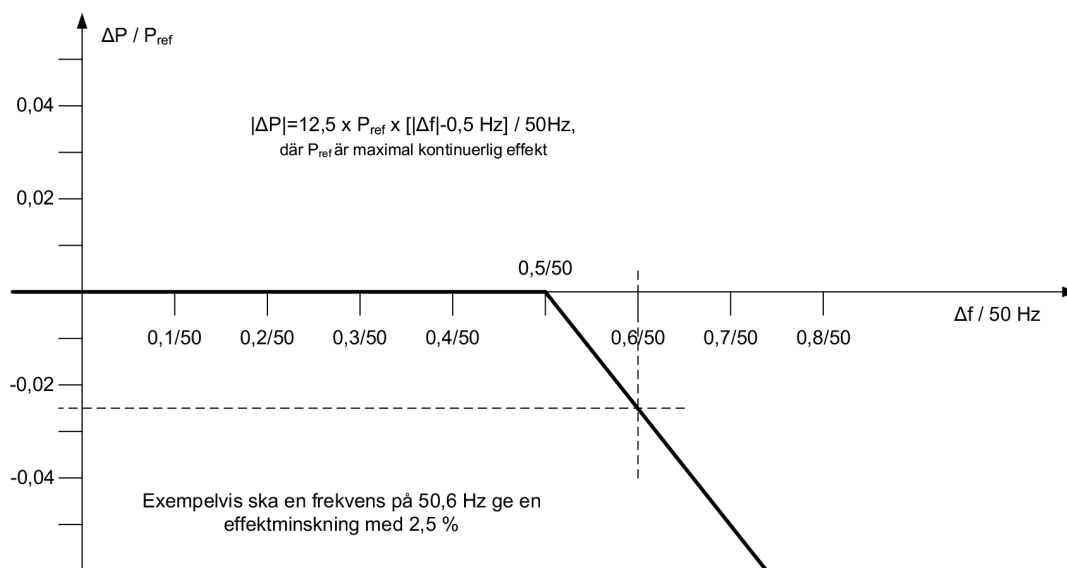
För kraftproduktionsmoduler av typ C och D gäller förutom krav på bibehållen nätanlutning inom specificerade frekvensband och krav på nedreglering vid överfrekvens och begränsad rätt att minska inmatningen vid låg frekvens (RfG Art 13, 14), även krav på kontinuerlig frekvensreglerförmåga (RfG Art 15, 16).

För kraftproduktionsmoduler av typ C och D gäller att kraftproduktionsmodulen ska vara utrustad för att kunna öka effektinmatningen linjärt med sjunkande frekvens, när frekvensen understiger ett visst tröskelvärde. Vidare ska kraftproduktionsmoduler av typ C och D vara utrustade för kontinuerlig frekvensreglering med statik⁹. Här ställs även krav på reglersnabbhet. (RfG Art 15).

Kraftproduktionsmodul av typ A, B, C och D ska tillhandahålla reduktion av aktiv effekt som frekvenssvar vid begränsat frekvenskänslighetsläge – överfrekvens (LFSM-O), vid en frekvenströskel på 50,5 Hz, *se figur 5* (EIFS 2018:2, 3 kapitel 3 §). För såväl synkrona kraftproduktionsmoduler som för kraftparksmoduler utgörs referensvärdet P_{ref} av produktionsmodulens maximala kontinuerliga effekt. Automatisk bortkoppling av kraftproduktionsmodulen får inte användas som alternativ till en reduktion av aktiv effekt vid överfrekvens (EIFS 2018:2, 3 kapitel 3 §). Funktionen ska aktiveras med så kort inledande fördröjning som möjlig, och maximalt 2 sekunder (RfG Art 13:2e).

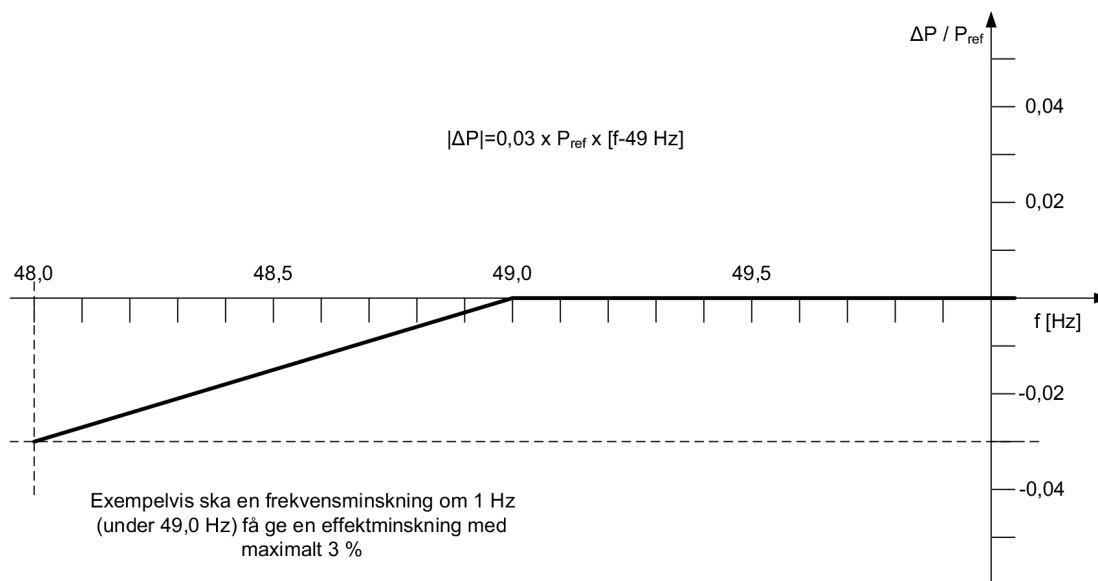
⁹ Frekvensreglering med statik innebär att uteffekten från deltagande aggregat avviker från inställt effektbövärdet proportionellt mot frekvensens avvikelse från 50 Hz.

- Ju lägre statik (uttryckt i procent) ju mer deltar aggregatet i reglerarbetet.



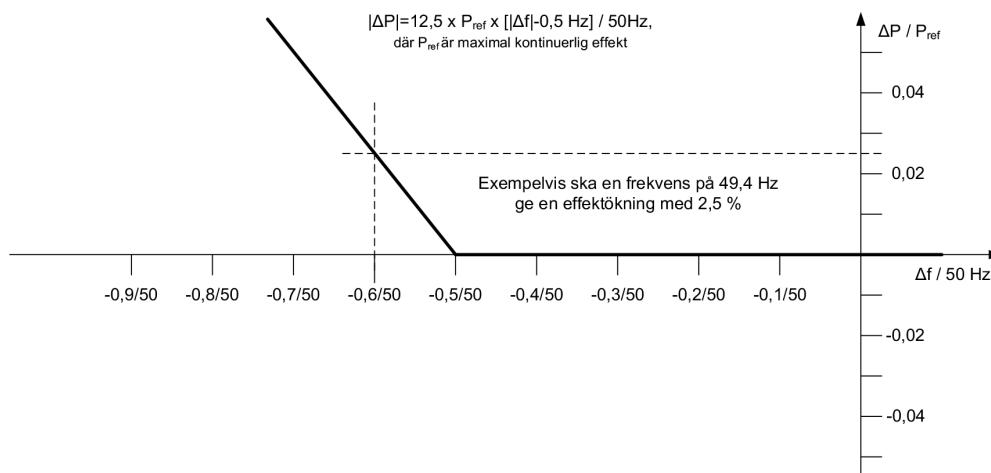
Figur 5. Krav på effektreduktion vid överfrekvens i LFSM-O, baserad på statikfaktorn 8 % (vilket ger faktorn 12,5).

Den maximalt tillåtna minskningen av den aktiva uteffekten till följd av sjunkande frekvens under 49,0 Hz ska vara 3 % för varje 1 Hz sjunkande frekvens, för kraftproduktionsmoduler av typ A, B, C och D, se figur 6 (EIFS 2018:2, 3 kapitel 7 §).



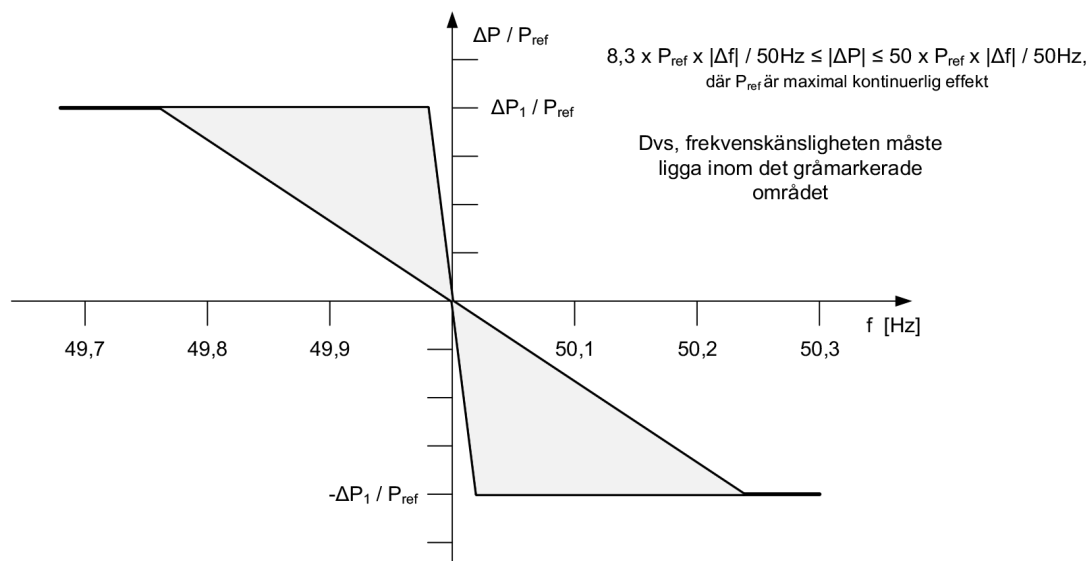
Figur 6. Maximalt tillåten effektreduktion vid underfrekvens, för typ A, B, C, och D.

Kraftproduktionsmodul av typ C och D ska tillhandahålla ökning av aktiv effekt som frekvenssvar vid begränsat frekvenskänslighetsläge – underfrekvens (LFSM-U), vid en frekvenströskel på 49,5 Hz, se figur 7 (RfG Art 15:2; EIFS 2018:2, 3 kapitel 20, 21 §§).



Figur 7. Krav på frekvenssvar vid låg frekvens i LFSM-U, där faktorn 12,5 kommer från kravet på en statikfaktor om 8 % (EIFS 2018:2, 3 kapitel 21 §).

Kraftproduktionsmoduler av typ C och D ska kunna aktivera drift i frekvenskänslighetsläge (FSM). FSM ska endast vara aktiverat om Svenska kraftnät beordrar det, 8 (RfG Art 15:2; EIFS 2018:2, 3 kapitel 23 §). Kraftproduktionsmoduler av typ C och D ska för drift i frekvenskänslighetsläge arbeta med ett intervall för aktiv effekt i förhållande till maximal kontinuerlig effekt om 5–10 %, det vill säga $\Delta P_1 / P_{ref}$ ska ligga i intervallet 0,05 till 0,10. EIFS 2018:2 ger även utrymme för ett dödband om +/-100 mHz, runt 50 Hz.



Figur 8. Krav på frekvensreglerförmåga i FSM, där statikfaktorn ska ligga mellan 2 och 12 % (vilket ger faktorerna 50 respektive 8,3); dödbandet om +/-100 mHz är inte utritat i figuren.

4.2.2 *Reaktivt effektutbyte, spänningshållning och faskompensering*

En produktionsanläggning har i regel inverkan på elnätsföretagens effekt- och energikuttag från ovanliggande nät. Hög produktion ger lägre aktivt uttag, medan utgångspunkten för reaktivt effektutbyte mellan en produktionsanläggning och ett anslutande nät är att den ska hållas på ett minimum, för att förhindra onödiga förluster i nätet under normaldrift. I vissa fall kan elnätsföretaget dock villkora anslutningen med att produktionsanläggningen på lämpligt sätt bidrar till spänningsregleringen, till exempel genom att kompensera för spänningspåverkan av den egna effektproduktionen. Normalt finns det tre olika driftmoder: spänningsreglering, reaktiv effekterreglering, respektive $\cos(\varphi)$ -reglering. Faskompensering i produktionsanläggningen minskar behovet av utbyte av reaktiv effekt med ovanliggande nät. För omriktaransluten produktion handlar det om en dimensionering av omriktaren och dess kontrollsystem. Används en konstruktion med omriktaransluten produktion, finns goda möjligheter att snabbt och kontinuerligt styra den reaktiva effekten. Metoden innebär även att det inom vissa gränser går att reglera spänningen för att uppnå önskad spänningsnivå i anslutningspunkten vid produktion. Under störningar och ansträngda driftsituationer är det av yttersta vikt att kraftproduktionsmoduler stöttar nätet med reaktiv effekt när spänningen är låg och konsumerar reaktiv effekt när spänningen är hög. Kraven på reaktiv effekt är ställda i proportion till aktuell aktiv effektutmatning.

Synkrona kraftproduktionsmoduler och kraftparksmoduler av typ C och D ska använda automatisk spänningsreglering av kraftproduktionsmodulens interna spänning, om inte innehavaren av det nät till vilket anläggningen är ansluten meddelar annan kravbild (EIFS 2018:2, 4 kapitel 7 §, 5 kapitel 4 §).

Om innehavaren av det nät till vilket anläggningen är ansluten har anvisat ett annat reglerläge för reaktiv effekt än automatisk spänningsreglering, ska en kraftparksmodul av typ C eller D automatiskt övergå till automatisk spänningsreglering, vid spänningsfall i reglerpunkten som medför att spänningen understiger 95 %, och därmed bidra till att motverka spänningsfallet och stötta med reaktiv effekt vid fel i nätet (EIFS 2018:2, 5 kapitel 5 §).

Om flera produktionsmoduler 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, till exempel lindningskopplareglering i anslutande station.

Det kan även uppstå behov av att 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. För icke koncessionspliktiga nät (IKN) som ofta är utsträckta kabelnät med stor kapacitiv generering, ställer elnätsföretaget normalt krav på förmåga till reaktivt nollutbyte i anslutningspunkten.

För synkrona kraftproduktionsmoduler och för kraftparksmoduler av typ C och D har både elnätsföretaget och Svenska kraftnät möjlighet att ställa krav på förmågan att tillhandahålla reaktiv effekt (RfG Art 18, 19, 21, 22).

Synkrona kraftproduktionsmoduler av typ D ska vara utrustade med automatisk spänningsregulator, med bandbredds begränsning av utsignalen för att säkerställa att den

högsta svarsfrekvensen inte kan framkalla torsionspendlingar i andra kraftproduktionsmoduler som är anslutna till nätet. Vidare ska spänningsregleringen vara utrustad med undermagnetiseringsbegränsare, fältströmbegränsare och statorströmbegränsare.

Fel eller kopplingar i nätet kan orsaka pendlingar i aktiv effekt mellan produktionsmodulerna och nätet. Dessa elektromekaniska pendlingar, företrädesvis i rotorerna i synkronmaskiner, måste dämpas genom kontrollerad påverkan på magnetiseringsströmmen. Synkrona kraftproduktionsmoduler typ D större än 75 MVA och kraftparksmoduler typ C och D ska vara försedda med dämpfunktion för dämpning av effektpendlingar (PSS-funktion) som ska vara aktiverad inom frekvensintervallet 0,25–1 Hz (EIFS 2018:2, 4 kapitel 10 § och 5 kapitel 7 §). Vidare ska ägaren av en synkron kraftproduktionsmodul av typ D ingå en överenskommelse med Svenska kraftnät om kraftproduktionsmodulens tekniska egenskaper för att bidra till rotorvinkelstabilitet¹⁰ vid feltillstånd (RfG Art 19:3).

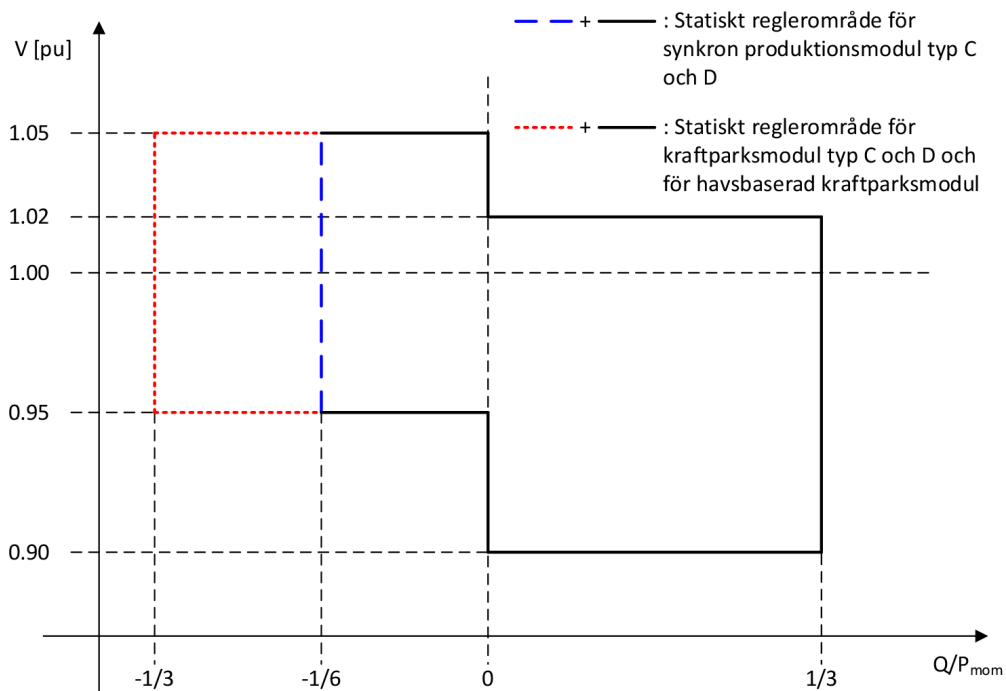
Föreligger risk för resonans mot nätet ska anläggningen förses med lämpligt filter.

Om inte anslutande elnätsföretag meddelar annan kravbild, gäller följande (EIFS 2018:2):

- Synkrona produktionsmoduler, av typ C och D, ska i anslutningspunkten kunna **generera** en reaktiv effekt motsvarande minst en **1/3** av den momentana aktiva effekten inom spänningsintervallet **90–102 %** i anslutningspunkten (4 kapitel 8 §).
- Synkrona produktionsmoduler, av typ C och D, ska i anslutningspunkten kunna **konsumera** en reaktiv effekt motsvarande minst en **1/6** av den momentana aktiva effekten inom spänningsintervallet **95–105 %** i anslutningspunkten (4 kapitel 9 §).
- Kraftparksmoduler, av typ C och D, ska i anslutningspunkten kunna **generera** en reaktiv effekt motsvarande minst en **1/3** av den momentana aktiva effekten inom spänningsintervallet **90–102 %** i anslutningspunkten (5 kapitel 2 §).
- Kraftparksmoduler, av typ C och D, ska i anslutningspunkten kunna **konsumera** en reaktiv effekt motsvarande minst en **1/3** av den momentana aktiva effekten inom spänningsintervallet **95–105 %** i anslutningspunkten (5 kapitel 3 §).
- Havsbaserade kraftparksmoduler, ska i anslutningspunkten kunna **generera** en reaktiv effekt motsvarande minst en **1/3** av den momentana aktiva effekten inom spänningsintervallet **90–102 %** i anslutningspunkten (6 kapitel 2 §).
- Havsbaserade kraftparksmoduler, ska i anslutningspunkten kunna **konsumera** en reaktiv effekt motsvarande minst en **1/3** av den momentana aktiva effekten inom spänningsintervallet **95–105 %** i anslutningspunkten (6 kapitel 3 §).

De statistiska kraven på reaktiv effektförmåga i anslutningspunkten, enligt ovan, illustreras i *figur 9*.

¹⁰ Benämnes "fasvinkelstabilitet" i RfG:n.



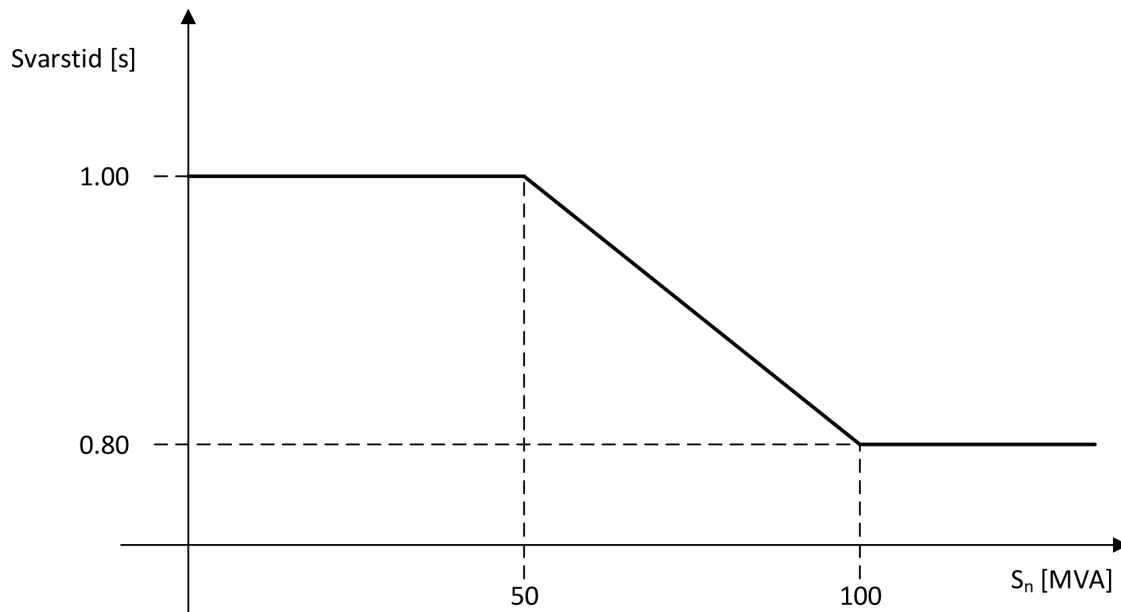
Figur 9. Krav på reaktiv effektreglerförmåga i anslutningspunkten för synkrona produktionsmoduler, typ C och D, kraftparksmoduler, typ C och D, samt för havsbaserade kraftparksmoduler, med aktuell aktiv effektproduktion som parameter.

En återhämtning av aktiv effekt efter fel ska vara utförd inom 2 sekunder efter det att spänningen i anslutningspunkten överstiger 90 % och till en effektnivå som avviker mindre än 5 % från effektnivån omedelbart innan fel för kraftparksmoduler av typ B, C och D (EIFS 2018:2, 5 kapitel 1 §).

4.2.2.1. Specifika krav på synkrona kraftproduktionsmoduler typ B, C och D

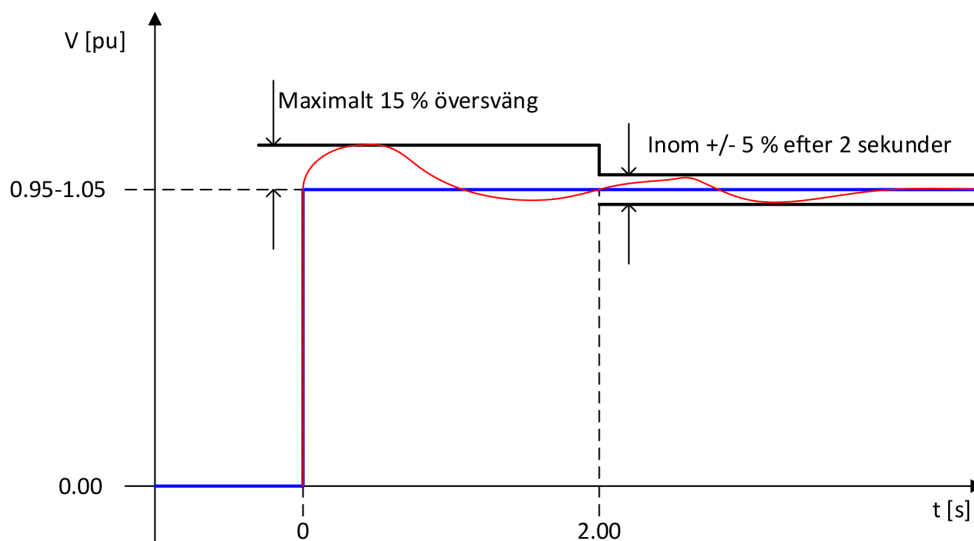
Det ska finnas en automatisk spänningsregulator som minst kan reglera spänningen inom intervallet 95–105 % av produktionsmodulens interna spänning. Magnetiserings-systemet måste klara 105 % kontinuerlig magnetisering vid märklast. (EIFS 2018:2, 4 kapitel 1–2 §§).

Svarstiden för en tomgående produktionsmodul, vid 95–105 % stegändring av spänningsregulatorns insignal, får inte vara längre än vad som anges av kurvan i *figur 10* (EIFS 2018:2, 4 kapitel 3 §).



Figur 10. Maximal svarstid för ett stegsvar i spänningsbörvärdet för en synkron produktionsmodul av typ B, C eller D, som funktion av produktionsmodulens storlek i MVA.

Översvängningen vid stegändring av signalen till spänningsregulatorn får inte överstiga 15 % av spänningsändringen och klämspänningen får inte oscillera mer än $\pm 5\%$ av spänningsändringen, 2 sekunder efter stegändringen (EIFS 2018:2, 4 kapitel 4-5 §§), se figur 11.



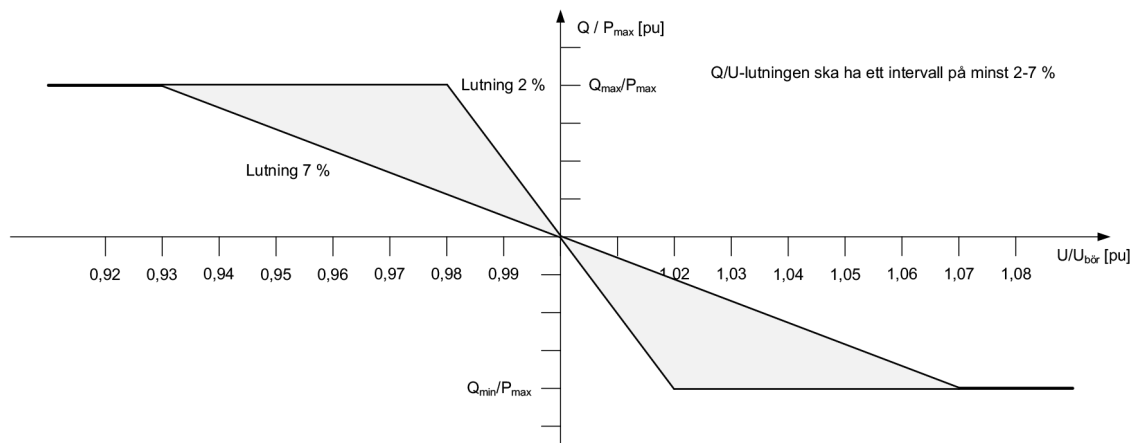
Figur 11. Maximal översväng och oscillation efter stegändring av spänningsbörvärdet för en synkron produktionsmodul av typ B, C eller D.

Vid fel i anslutningspunkten, som bortkopplas inom 100 ms, ska den aktiva uteffekten, från synkrona kraftproduktionsmoduler av typ B, C och D, ha återtagit samma nivå som innan felet inom 5 sekunder (EIFS 2018:2, 4 kapitel 6 §).

4.2.2.2. Krav på reglerlägen för reaktiv effekt för kraftparksmoduler av typ C och D

Kraftparksmoduler av typ C och D ska kunna tillhandahålla reaktiv effekt automatiskt via reglerlägen för antingen spänning, reaktiv effekt eller effektfaktor (RfG Art 21:3d).

När det gäller reglerläge för spänning, ska en kraftparksmodul kunna bidra till spänningsreglering i anslutningspunkten genom att tillhandahålla ett utbyte av reaktiv effekt med nätet, med ett spänningsbörvärde som omfattar intervallet 0,95–1,05 i steg som inte är större än 0,01 och där Q-U-lutningen har ett intervall på minst 2–7 % i steg som inte är större än 0,5 %, *se figur 12*. Den reaktiva uteffekten ska vara noll när nätets spänningsvärde i anslutningspunkten är lika med spänningsbörvärdet. Börvärdet får användas med eller utan ett dödband som kan väljas i intervallet från noll till ± 5 % av nätspänningens referensvärde med relativt 1 i steg som inte är större än 0,5 %.



Figur 12. Krav på spänningsreglerförmåga, där statikfaktorn ska ligga mellan 2 och 7 procent; dödbandet om maximalt ± 5 % är inte utritat i figuren.

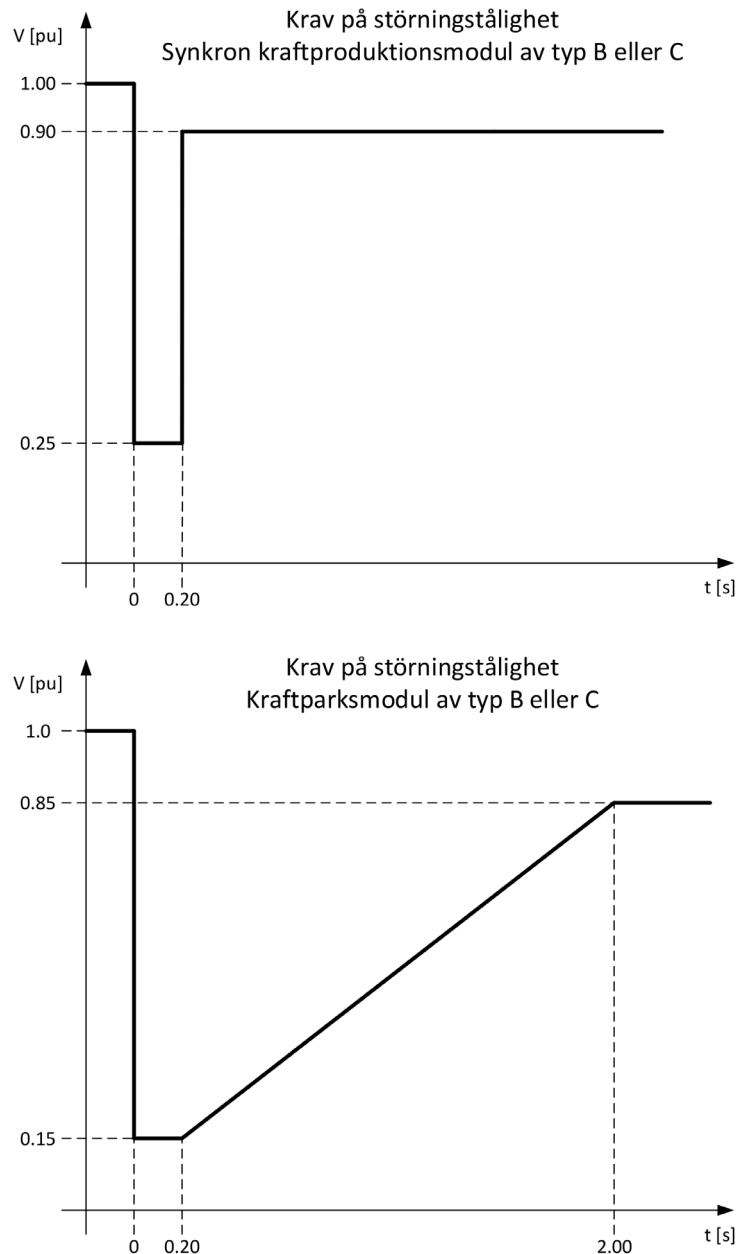
4.2.3 Tålighet mot stationära spänningsavvikelser

Kraftproduktionsmodul av typ B, C och D ska kunna upprätthålla utmatning av aktiv effekt inom spänningsintervallet 90–105 % spänning i anslutningspunkten (EIFS 2018:2, 3 kapitel 18 §). Kraftproduktionsmoduler av typ D ska dessutom kunna bibehålla nätanslutningen inom följande spänningsintervall:

- 105–110 % under minst 60 minuter, för anläggningar anslutna till 130 eller 220 kV nivå (RfG Art 16).
- 105–110 % under minst 60 sekunder, för anläggningar anslutna till 400 kV nivå (EIFS 2018:2, 3 kapitel 33 §).
- 105–110 % under minst 60 minuter, för havsbaserade stamnätsanslutna kraftparksmoduler (EIFS 2018:2, 6 kapitel 1 §).

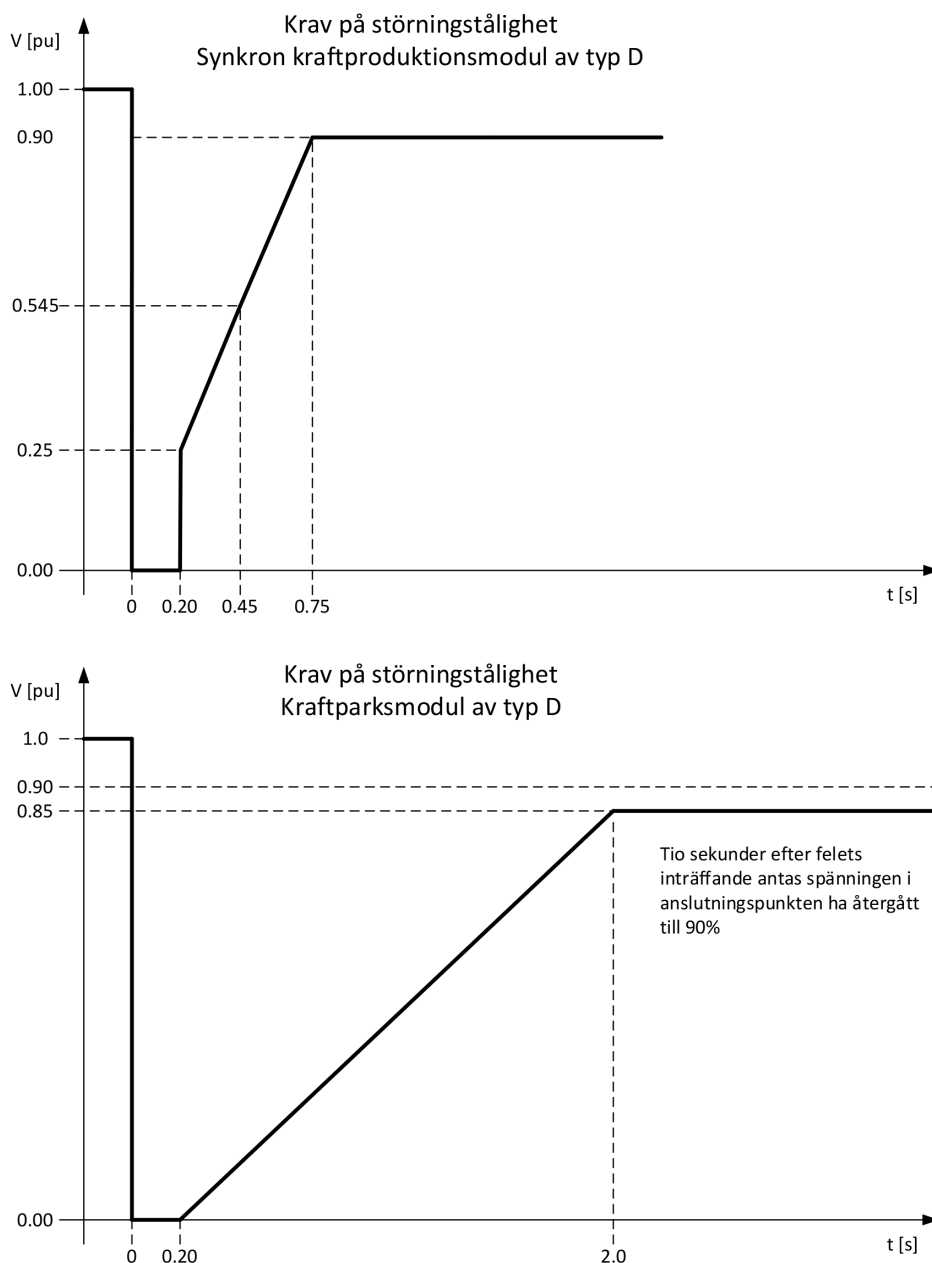
4.2.4 Störningstålighet

Kraftproduktionsmoduler av typ C och D har krav på störningstålighet, det vill säga krav på bibehållen nätanslutning och effektutmatning för en specificerad spänningsprofil i anslutningspunkten, så kallat *fault-ride-through* eller *feltålighet*. För typ C gäller kurvan i *figur 13* (RfG Art 15; EIFS 2018:2, 3 kapitel 11–12 §§) och för typ D gäller kurvan i *figur 14* (RfG Art 15, 16; EIFS 2018:2, 3 kapitel 35–36 §§).



Figur 13. Krav på störningstålighet, det vill säga bibehållen nätanslutning för alla spänningsprofiler i anslutningspunkten, som helt och hållet ligger ovanför profilen för $t > 0$.

Arbetspunkten för typ D, före fel, ska motsvara full aktiv uteffekt, med ett reaktivutbyte i anslutningspunkten nära noll, och 100 % spänning för fullt idrifttagen anläggning. Intakt nätstruktur antas råda både före och efter felet i anslutningspunkten. Det fel som ska analyseras är en trefasig impedanslös kortslutning i anslutningspunkten med en felbortkopplingstid om 200 ms. (EIFS 2018:2, 3 kapitel 37–40 §§).



Figur 14. Krav på störningstålighet, det vill säga bibehållen nätanslutning för alla spänningsprofiler i anslutningspunkten, som helt och hållet ligger ovanför profilen för $t > 0$.

En återhämtning av aktiv effekt efter fel ska vara utförd inom 2 sekunder efter det att spänningen i anslutningspunkten överstiger 90 % och till en effektnivå som avviker mindre än 5 % från effektnivån omedelbart innan fel för kraftparksmoduler av typ B, C och D. (EIFS 2018:2, 5 kapitel 1 §).

Vid fel i anslutningspunkten som bortkopplas inom 100 ms ska den aktiva uteffekten från synkrona kraftproduktionsmoduler av typ C och D ha återtagit samma nivå som innan fel inom 5 sekunder. (EIFS 2018:2, 4 kapitel 6 §).

4.2.5 Start och stopp av elproduktionen

Kraftproduktionsmoduler av typ A, B och C får anslutas automatiskt till nätet när nätfrekvensen i anslutningspunkten är inom intervallet 47,5–50,1 Hz¹¹. Nätfrekvensen i

¹¹Varken RfG:n eller EIFS 2018:2 anger något om automatstart för kraftproduktionsmoduler av typ D.

anslutningspunkten ska ha befunnit sig inom detta frekvensintervall under minst tre sammanhängande minuter innan anslutning får ske. Vid automatisk anslutning till nätet av kraftproduktionsmodul av typ A, B eller C gäller kraven i *tabell 2* för ökningen av aktiv uteffekt beroende på nätfrekvensen i anslutningspunkten. (EIFS 2018:2, 3 kapitel 8–9 §§).

Tabell 2: Krav för ökning av aktiv uteffekt för varierande nätfrekvens

<49,9 Hz	Ingen begränsning vad gäller ökningstakt av aktiv uteffekt
49,9–50,1 Hz	Ökning med maximalt 10 % av nominell aktiv uteffekt per minut
>50,1 Hz	Ökning av uteffekt inte tillåten

Elnätsföretaget, och eventuellt även Svenska kraftnät, bör komma överens med anläggningsinnehavare av produktionsmoduler av typ D om lämpliga kriterier för start och stopp.

4.2.6 Nedstyrning vid nätproblem

För en kraftproduktionsmodul av typ C eller D ska det vara möjligt att ändra börvärdet för aktiv effekt i enlighet med instruktioner från den berörda systemansvarige eller från Svenska kraftnät. Från det att instruktionen skickas ska effektändring påbörjas inom 10 sekunder. Kraftproduktionsmodulen ska kunna reglera uteffekten från maximal uteffekt ned till 50 % uteffekt inom 60 sekunder. Ny stabil effektnivå ska erhållas inom toleransen 2 % av nominell effekt. (EIFS 2018:2, 3 kapitel 19 §).

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

4.2.7 Snabb felströmsinmatning

Den berörda systemansvarige ska i samordning med Svenska kraftnät ha rätt att fastställa att en kraftparksmodul ska kunna tillhandahålla snabb felström¹² vid anslutningspunkten i händelse av symmetriska (trefas) fel, enligt vissa villkor (RfG Art 20:2b).

¹²Snabb felström, definieras i RfG:n (Art 2:55) som en ströminmatning från en kraftparksmodul eller ett system för högspänd likström under och efter en spänningsavvikelse som orsakats av ett elektriskt fel, i syfte att fastställa ett fel med hjälp av elnätets skyddssystem i felets inledande skede och att ge stöd till bibehållen systemspänning i ett senare skede av felet och återställande av systemspänning efter att felet kopplats bort.

4.2.8 Ödrift

Ödrift, ibland även kallad önätsdrift, uppstår när en mindre del av ett elkraftsystem, innehållande både produktion och belastning, förlorar den elektriska kopplingen till ett större elkraftsystem, spontant, i samband med fel eller som en planerad driftåtgärd. Leverans till elnätet får normalt inte ske om nätet tappat sin ordinarie spänningsmatning. Föreligger möjlighet till ödrift, där elnätsföretagets nät ingår i önätet, ska ödrift genomföras i samförstånd mellan elnätsföretaget och driftansvarig för produktionsanläggningen (RfG Art 15:5b).

Uppkommer ett spontant önät där elnät eller produktionsanläggningar, som inte särskilt är anpassade för ödrift, ingår, ska produktionsanläggningen fränkopplas automatiskt.

4.3 KOMMUNIKATION OCH DATAUTBYTE

Kraftproduktionsmoduler av typ C och D ska kunna utbyta information med anslutande elnätsföretag och med Svenska kraftnät i realtid eller regelbundet med tidsmärkning, så som anges av elnätsföretaget respektive Svenska kraftnät (RfG Art 14:5d). Kommunikationsgränssnittet ska vara utrustat för överföring av åtminstone följande signaler från produktionsanläggningen till elnätsföretagets kontrollrum, i realtid och på ett säkert sätt (RfG Art 15:2g):

- Statussignal för frekvenskänslighetsläge, FSM (på/av).
- Planerad aktiv uteffekt.
- Faktiskt värde för den aktiva uteffekten.
- Faktiska parameterinställningar för aktiv effekt som frekvenssvar.
- Statikfaktor och dödband.

Vidare ska elnätsföretaget och Svenska kraftnät ange vilka ytterligare signaler som ska tillhandahållas av kraftproduktionsanläggningens övervaknings- och registreringsanordningar, för att till exempel kunna kontrollera resultatet av den genererade aktiva effekten som frekvenssvar från deltagande kraftproduktionsmoduler. Dessa ytterligare krav på datautbyte, utöver RfG Art 15g i enlighet med RfG Art 14d, finns reglerade i SO och EIFS 2019:7. Varje ägare av en kraftproduktionsanläggning som är ansluten i Svenska kraftnäts observerbarhetsområde ska tillse att anslutande elnätsföretag och Svenska kraftnät får tillgång till de realtidsdata som behövs för en fullständig modellering av produktionsanläggningen.

Produktionsmoduler av typ C och D ska vara utrustade med en anordning som tillhandahåller felregistrering och övervakning av systemdynamik. Denna anordning ska åtminstone registrera:

- spänning
- aktiv effekt
- reaktiv effekt, och
- frekvens.

En kommunikationsstandard för vindkraftverk är definierad i *SS-EN 61400-25-4, 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.

Om produktionsägaren önskar, ska elnätsföretaget mäta och rapportera elcertifikat och/eller ursprungsgarantier till Energimyndigheten för den el som inmatas till elnätet i anslutningspunkten. Om produktionsägaren önskar få elcertifikat eller ursprungsgarantier för all produktion, så måste en särskild mätare installeras intill respektive produktionsenhet. Elnätsägare eller annan kan erbjuda denna mätning med tillhörande rapportering som separat tjänst mot ersättning från produktionsägaren. Mätningen i dessa fall ska uppfylla de krav som ställs av Swedac¹³.

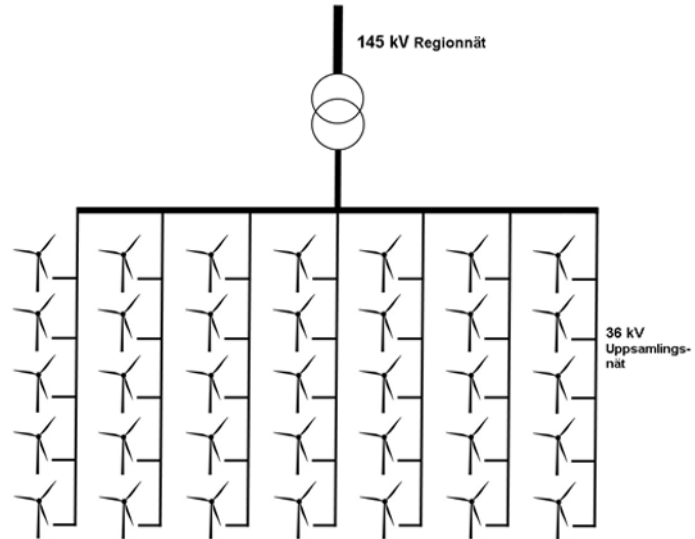
4.4 FUNKTIONSSÄKERHET OCH TILLGÄNGLIGHET

Normalt dimensioneras stam- och regionnät enligt det så kallade N-1 kriteriet. Det innebär att en godtycklig komponent, ledning, samlingskena eller transformator, ska kunna kopplas ur vid godtycklig tidpunkt, utan att någon elkund får sin matning bortkopplad.

Däremot 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, till exempel vid ett transformatorhaveri, *se figur 15*. Även vid normala underhållsåtgärder av ledningar och stationer, till exempel brytarunderhåll, stolpbyten etcetera, 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, till exempel innehavaren av produktionsanläggningen och elnätsföretaget. Med maskad nätstruktur, öppna slingor och parallella ledningar kan tillgängligheten på nätanslutningen öka, men det innebär vanligtvis en högre anslutningskostnad.

Om kunden förutom inmatningsabonnemanget för produktionen även har ett uttagsabonnemang på lågspänning, till exempel för intern försörjning under revisioner, så är elnätsföretaget skyldigt att hålla god elkvalitet, i enlighet med EIFS 2013:1, för uttagspunkten. Detta innebär bland annat att antalet oaviserade långa avbrott (mer än 3 minuter) inte får överstiga 3 per kalenderår, för att överföringen av el ska anses vara av god kvalitet (EIFS 2013:1, 6 kapitel 1 §).

¹³ Sveriges nationella ackrediteringsorgan; www.swedac.se



Figur 15. 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 (1977:1160) anger att arbetsgivare ska vidta alla åtgärder som behövs för att förebygga att arbetstagare utsätts för ohälsa eller olycksfall. Lagen kräver även att betryggande skyddsåtgärder vidtas mot skada som orsakas av elektrisk ström.

Det är innehavaren av respektive anläggning som är ansvarig för att det viktiga elsäkerhetsarbetet följs samt att löpande, genom kontroller, försäkra sig om att anläggningen uppfyller gällande bestämmelser.

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.

5.1.1 Arbetsmiljölagen – Allmänna skyldigheter

Arbetsgivaren ska vidta alla åtgärder som behövs för att förebygga att arbetstagare utsätts för ohälsa eller olycksfall (arbetsmiljölagen, 3 kapitel, "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 Arbetsmiljöverkets föreskrift om *Systematiskt arbetsmiljöarbete AFS 2001:1*.

Enligt arbetsmiljölagen har byggarbetsmiljösamordnaren (BAS) en viktig funktion. Arbetsmiljölagen säger att 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 såväl byggskedet som brukandet. Byggherren ska därför:

- under varje skede av planeringen och projekteringen se till att 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 hänvisas till EBR publikation HMS 6:09, *Byggherreansvar – Byggarbetsmiljösamordning för nät och produktion*.

5.1.2 Elsäkerhet vid elarbeten i produktionsanläggning

En produktionsenhet kan ur vissa aspekter betraktas som en maskin eller en anordning vilket gör att den faller under både maskindirektivet och elsäkerhetsförordningen (2017:218). Arbetsmiljöverket har till uppgift att kontrollera att maskindirektivets krav

efterlevs, framförallt vad gäller arbetsmiljösäkerheten. Elsäkerhetsverket kontrollerar framförallt elsäkerheten och elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) enligt elsäkerhetsförordningen och förordningen om elektromagnetisk kompatibilitet.

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

Inför inkoppling av en elektrisk starkströmsanläggning, en elektrisk maskin eller en elektrisk anordning, ska anläggningsägaren intyga att maskinen eller anordningen uppfyller alla vid tidpunkten gällande krav och riktlinjer avseende personsäkerhet, anläggningssäkerhet och driftsäkerhet.

5.1.3 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, till exempel SS EN 61010-1, och med avseende på tållighet mot förväntade transienta överspänningar enligt Cat II, III eller IV, vilket framgår av bruksanvisning och av märkning på instrumentet.

5.2 ANLÄGGNINGANSANSVAR

Ansvar för elsäkerheten såväl som för EMC-egenskaperna vilar enligt elsäkerhetslagen på innehavaren av starkströmsanläggningen. För att uppfylla ansvaret måste innehavaren följa de regelverk om starkströmsanläggningars utförande och skötsel som finns.

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

Elektriska anordningar som är anslutna till en elanläggning innefattas också av anläggningsansvaret.

Elsäkerhetsverkets föreskrift ELSÄK-FS 2008:3 reglerar anläggningsinnehavarens ansvar för kontroll av elektriska starkströmsanläggningar och elektriska anordningar.

5.3 ELINSTALLATIONSARBETE

Elinstallationsarbete får utföras endast av en elinstallatör som är auktoriserad för arbetet, eller någon som omfattas av elinstallationsföretagets egenkontrollprogram. Det är elinstallationsföretaget som har ansvaret för att alla elarbeten utförs i enlighet med gällande regelverk. Elinstallationsföretaget ska kunna redovisa vilken standard och eventuella egna kompletterande anvisningar som man arbetar efter i syfte att uppfylla kraven i utförandeföreskriften ELSÄK-FS 2008:1.

5.4 ESA – ELSÄKERHETSANVISNINGAR

I Elsäkerhetsverkets föreskrift om elsäkerhet vid arbete, ELSÄK-FS 2006:1, finns regler för hur arbete på elanläggningar ska utföras. Föreskriften ELSÄK-FS 2008:3 innehåller regler om innehavarens fortlöpande och särskilda kontroll av sina elanläggningar. I vissa fall hänvisar Elsäkerhetsverket till svensk standard, till exempel SS-EN 50110-1 om skötsel av elektriska anläggningar, 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 (det vill säga 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. ESA utgår från SS-EN50110-1 och från svensk lagstiftning och svenska föreskrifter. Följer man ESA kommer man automatiskt att följa gällande regler och därmed god elsäkerhetsteknisk praxis.

Innehavaren 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 16*. Ett sätt att uppnå tydlighet är att använda ESA Grund med komplement, för arbete *utan, med* eller *nära* spänning, som Energiföretagen Sverige har tagit fram och som är vedertagen praxis inom elbranschen i Sverige.

5.4.1 Driftorganisation

Utbyte av kontaktvägar mellan kundens driftorganisation och elnätsföretagets driftorganisation ska ske före inkoppling av en produktionsanläggning. Kontaktvägarna bör följa vedertagen praxis enligt ESA. Kontaktvägarna ska uppdateras vid förändring och avstämning ska ske på årsbasis.

5.4.2 ESA Organisation

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



Figur 16. Ansvarsfördelning, kontaktvägar och relationer enligt ESA Organisation.

Arbetsgivare/innehavare är ansvarig för att nödvändiga funktioner utses och tillämpas.

Arbetsgivaren ska för varje arbete utse en för arbetet ansvarig person, en *elsäkerhetsledare*, 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. Elsäkerhetsledaren ska alltid befinna sig på eller i anslutning till arbetsplatsen (se *ESA Grund*). *Arbetare* är den person, oberoende av tjänsteställning, som under ledning av en elsäkerhetsledare, utför arbete.

Innehavaren ska ha utsett en *elanläggningsansvarig* för varje anläggnings skötsel. Med skötsel avses all verksamhet, inklusive arbete, som behövs för att en elektrisk anläggning ska fungera på ett säkert sätt – eller för att en anläggning eller anordning ska 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. *Eldriftledare* är en person som planlägger och svarar för kopplingar inom, av *elanläggningsansvarig*, angivet område. *Kopplingsledare* är en person som leder kopplingar inom ett angivet område (endast då eldriftledare överlämnat kopplingsansvar). *Kopplingsbiträde* är en person som på order av eldriftledare eller kopplingsledare utför kopplingar.

5.5 JORDNING OCH ÅSKSKYDD

Grundprincipen för jordning är att alla utrustningars ledande höljen som kan spänningssättas vid ett fel ska skyddsjordas. Utöver skyddsjordning behöver vissa modullramar, bärställningar, apparatkapslingar, master/torn med mera potentialutjämnas enligt tillverkarens anvisningar. För de fall där dessa ledande delar är en del av en

utrustning där skyddsmetoden dubbel eller förstärkt isolering används ska potentialutjämnningen utföras som funktionsutjämnning, eftersom skyddsutjämnning inte får utföras på sådan materiel.

Jordningsanordning för nollpunkten på nätsidan av upptransformatorer för produktionsmoduler av typ C och D, ska uppfylla specifikationerna från den berörda systemansvarige. (RfG Art 15:6f)

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

I de fall en produktionsanläggning ansluts via en kabel till en luftledning 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 1 500 meter.

Eventuell systemjordning av en eller flera produktionsmoduler i en grupp eliminerar inte kravet på ett enskilt och mätbart jordtag för respektive produktionsmodul. Däremot ska systemjordningen i förekommande fall anslutas till huvudjordningsskenan för att undvika skillnad i jordpotential och för att förbättra det resulterande jordtagsvärdet.

5.6 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 elkraftsystemet 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, samt för att återställa driften av de felfria delarna av systemet. Kraven på felbortkoppling är beskrivna i föreskrifterna (*ELSÅK-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 vara 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 och att dessa i tillräcklig utsträckning 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 RfG och EIFS 2018:2.

Vilka skyddsfunktioner som ska finnas och vilka inställningsvärden som ska väljas finns bland annat reglerat i RfG, i EIFS 2018:2 och i Elsäkerhetsverkets föreskrifter (*ELSÅK-FS 2008:1*). Vidare finns rekommenderade inställningsvärden längre fram i detta avsnitt.

Elnätsföretaget kan också ha lokala krav som påverkar skyddsbestyckningen och valet av inställningsvärden.

För att upprätthålla en hög driftsäkerhet i det sammankopplade nationella systemet ställs krav på bibehållen nätanslutning och effektutmatning, dels för stationära avvikelser, från nominella värden, i spänning och frekvens, dels för spänningsprofiler i anslutningspunkten i samband med störningar. Det är viktigt för den nationella systemdriftsäkerheten att reläskyddsinställningarna inte strider mot RfG eller föreskriften EIFS 2018:2.

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

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

- att säkerställa bortkoppling av felströmsbidrag från nätet vid fel i produktionsanläggningen
- att säkerställa bortkoppling av felströmsbidrag från produktionsanläggningen vid fel i nätet.

Varje produktionsanläggning som ansluts till elnätet ska, som skydd för elnätet, förses med nedanstående skyddfunktioner:

- över- och underfrekvensskydd
- trefasigt över- och underspänningsskydd
- kortslutningsskydd
- jordfelsskydd
- skydd mot oönskad ödrift

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

- över- och underfrekvensskydd
- trefasigt över- och underspänningsskydd
- övermagnetiseringsskydd
- kortslutningsskydd
- överströmsskydd
- jordfelsskydd
- bakeffektskydd (beroende på typ av kraftproduktionsmodul och turbintyp)
- osymmetriskydd

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

Elsäkerhetsverkets föreskrifter innehåller endast ett fåtal detaljbestämmelser för produktionsanläggningar. ELSÄK-FS 2008:1, (3 kapitel), anger de grundläggande säkerhetskraven rörande skyddsfunktioner som ska uppfyllas. Om svensk standard tillämpas som komplement till föreskrifterna anses anläggningen utförd enligt god elsäkerhetsteknisk praxis om inget annat visats.

För produktionsanläggningar av typ C och D anslutna till regionnätet har rekommenderade inställningsvärden tagits fram och redovisas i det följande. Rekommenderade funktionsvärden i nedanstående skydd ska kunna justeras utifrån de yttre förutsättningarna.

5.6.1 Över- och underfrekvensskydd

Skyddet är i första hand till för att förhindra önätsdrift samt för att inte förvärpa uppkomna systemfel i nätet. Förutom att det skyddar elnätet fungerar det också som ett internt skydd för produktionsmodulen genom att skydda mot onormal drift. För överfrekvensskyddet rekommenderas två inställningsnivåer med olika tidsfördröjning.

Rekommenderade inställningar för underfrekvensskyddet:

– Skyddet ska bryta produktionsmodulens förbindelse med nätet vid en frekvens understigande 47,5 Hz, med 0,5 sekunders fördröjning.

Rekommenderade inställningar för överfrekvensskyddet:

- Ett snabbt skydd som frånkopplar produktionsmodulen för en frekvens överstigande 52 Hz, med en tidsfördröjning om 0,5 sekund.
- Ett långsamt skydd som frånkopplar produktionsmodulen för en frekvens överstigande 51,5 Hz, med en längre tidsfördröjning, där Svenska kraftnät lämpligen fördelar tidsinställningar i intervallet 0,8 till 3 sekunder (för att undvika risk för samtidig bortkoppling av många produktionsenheter).

5.6.2 Trefasigt över- respektive underspänningsskydd

Spänningsskyddet skyddar mot över- respektive underspänning i elnätet samt minskar påverkan på produktionsmodulen vid fel eller onormala förhållanden i elnätet. Underspänningsskyddet kan även indirekt skydda mot överström i vissa lägen. Spänningsskydden bör, så långt möjligt, ställas selektivt mot övriga skydd i nätet.

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

Rekommenderade inställningar för överspänning:

- Ett snabbt skydd som frånkopplar anläggningen för en spänning överstigande 120 %, med en tidsfördröjning om 0,5 sekunder.
- Ett långsamt skydd som frånkopplar anläggningen för en spänning överstigande 115 %, med en tidsfördröjning om 3 sekunder.

Rekommenderade inställningar för underspänning:

- Ett snabbt skydd som frånkopplar anläggningen för en spänning understigande 80 %, med en tidsfördröjning om 4 sekunder. Det är dock viktigt att kontrollera, speciellt för aggregat med stort hjälpkraftsbehov (företrädesvis termiska anläggningar), att återacceleration av stora motorer i hjälpkraftssystemet inte äventyras av en för snäv inställning i spänning eller tid.

– Ett långsamt skydd som frånkopplar anläggningen för en spänning understigande 85 %, med en tidsfördröjning om 10 sekunder.

Speciellt underspänningsskyddet kan kräva uppmärksamhet för att inte riskera att ge oselektiv bortkoppling.

5.6.3 Övermagnetiseringskydd

Överspänning i kombination med normal eller låg frekvens kan leda till skadlig övermagnetisering av generatoren eller aggregattransformatorn. Övermagnetiseringskyddet ställs efter vad generatorns och/eller transformatorn tål.

5.6.4 Kortslutningsskydd / Överströmsskydd

För skydd mot kortslutning i produktionsanläggningen som matas från nätet kan överströmsskydd i kombination med effektbrytare normalt användas. Det är anläggningssinnehavaren som ansvarar för att rätt typ av överströmsskydd väljs och att utlösning villkor enligt föreskrifterna uppfylls. Aktuell nätimpedans erhålls av elnätsföretaget vid förfrågan.

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 underimpedansskydd eller via fjärrutlösning.

Rekommenderade inställningar för skydd av aggregatet:

– 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.

5.6.5 Jordfelskydd

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 kapitel, 8 §).
- En högspänningsanläggning i ett icke direktjordat system ska vara utförd så, att en eller flerpoliga jordslutningar kopplas ifrån snabbt och automatiskt. Härmed menas frånkoppling 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 kapitel, 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 skärm ska ha jordfels-skydd med högsta möjliga känslighet vid detektering av jordfel. Reläfunktionen för frånkoppling ska vara säkerställd för resistansvärden upp till 5 000 Ω (5 kapitel, 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 ordnade så, att reläfunktionen för frånkoppling är säkerställd för resistansvärden upp till 3 000 Ω . Inom områden som inte omfattas av detaljplan får en sådan anläggning innehålla ett fåtal spann friledning med plastbe-lagda ledare (5 kapitel, 5 §).

Rekommenderade inställningar:

- Vid jordfel i direktjordade system säkerställs frånkoppling inom 0,5 sekund.
- Vid jordfel i icke direktjordade system säkerställs frånkoppling inom 2 sekunder. I de fall man får problem med selektiviteten i icke direktjordade system konsulteras föreskriften (ELSÄK-FS 2008:1, tabell 1) för att utvärdera huruvida felbortkopplingstiden kan utsträckas till 5 sekunder.
- I de fall det föreligger risk för att anläggningen kan gå i ödrift, ska ett jordfelsskydd, som mäter nollföljdsspänningen i elnätsföretagets nät, monteras i anslutningspunkten.

5.6.6 Skydd mot oönskad ödrift

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 till exempel bli så att nollpunktsutrustning för jordfelsdetektering hamnat utanför önätet.

I de fall där aktiv och reaktiv effektbalans råder i önätet vid övergången kan det ta lång tid innan avvikelsen mellan produktion och konsumtion blir tillräckligt stor för att spännings- eller frekvensskydden ska 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 frekvensderivataskydd har ibland använts för att få en snabbare frånkoppling 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 kan, enligt Svenska kraftnät, beloppet av frekvensderivatan bli upp mot 0,5 Hz/s omedelbart efter störningen (-0,15 och +0,10 Hz/s har uppmätts). EIFS 2018:2 tillåter att produktionsmoduler kopplas bort från nätet vid frekvensändringshastigheter överstigande 2,0 Hz/s, uppmätt i anslutningspunkten och beräknat över en tidsperiod om minst 500 ms.

Rekommenderad inställning:

– Frekvensändringshastighet om 2 Hz/sekund, med en tidsfördröjning om 0,5 sekund.

5.6.7 Bakeffektskydd

Skyddet ska skydda mot mekaniska påfrestningar i produktionsmodulen, slitage, önskad effektförbrukning och onormal drift.

Rekommenderade inställningar:

– Frånkoppling inom 5 sekunder efter att produktionsmodulen börjat konsumera aktiv effekt. Det är viktigt att skyddet enbart agerar på stadigvarande bakeffekt längre än 5 sekunder så att inte flera på varandra inträffande dämpade pendlingar in i bakeffektområde orsakar onödig utlösning från bakeffektskydd. Effektförbrukningen vid konsumtion varierar beroende på typ av primärenergi, men brukar vara någon eller några procent av märkeffekten. Effekttinställningen väljs vanligen till halva värdet för effektförbrukningen vid konsumtion (vanligen generator i motordrift).

5.6.8 Osymmetriskydd

Osymmetriskyddet ska vid bortfall av en eller två faser frånkoppla produktionsenheten från nätet innan ledningsskyddet i fördelningsstationen löser.

Rekommenderade inställningar:

– Mindre osymmetrier i produktionsanläggningens strömvärden ska kunna detekteras. Med "mindre" menas att det inte får uppstå, eller riskeras att uppstå, större osymmetri i det anslutande elnätet än totalt 2 % minusföljdsspänning, enligt SS-EN-61000-2-12. Normalt ställs osymmetriskyddet in efter vad produktionsmodulen tål.

5.7 ÖVRIGA SKYDDSKRAV OCH SKYDDSANORDNINGAR

Ställverksrum ska vara utformat enligt kraven i SS-EN 61936-1 där bland annat krav på utrymningsvägar, nödbelysning och nödöppnare är specificerade. Anpassning av reläskyddsanläggningen med provdon som möjliggör reläskyddsprovning under drift, till exempel genom användning av standardiserad provhandske, rekommenderas, för att minska produktionsbortfallet och för att minska sannolikheten för oönskade bortkopplingar.

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

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.

Moderna numeriska reläskydd har ofta självövervakning och möjlighet att sända larm-signal 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 ska vara utförd för att kunna hantera automatisk återinkoppling av mottagande distributionsledning i förekommande fall.

5.8 MÄRKNING

I elnätsföretagets nätinformationssystem ska produktionsanläggningen tydligt märkas ut. Detta för att säkerställa att till exempel driftordrar skrivs på ett korrekt och säkert sätt.

Märkning i kundanläggning är anläggningsinnehavarens ansvar och ska vara utförd innan driftsättning av en produktionsanläggning.

5.9 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.

Innehavaren av produktionsanläggningen ansvarar för att anläggningen underhålls och drivs enligt gällande föreskrifter. För skydd mot person- och sakskada är det viktigt att anläggningens skyddsfunktioner kontrolleras vid installation. Därefter ska funktionskontroll utföras periodiskt enligt tillverkarens alternativt leverantörens anvisningar.

En förutsättning för god underhållssäkerhet är en väl fungerande dokumentation där information om underhållsintervall samt underhållsinstruktioner och dokumentation om komponenter finns tillgänglig hos anläggningsägaren. Dessa dokument ska via elinstallationsföretaget tillhandahållas av anläggningsleverantören.

6. Mätning

Innehavare av nätkoncession är enligt 3 kapitel 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-timmessvärden som registrerar uttagen respektive inmatad aktiv och reaktiv effekt.

Föreskrifter och råd gällande krav på mätsystemet meddelas av Swedac, vars 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. STAFS 2009:8 – *Swedacs föreskrifter och allmänna råd om mätsystem för mätning av överförd el* är den övergripande författningen som omfattar alla mätsystem vad gäller mätvärdesregistrering. Därutöver finns bestämmelser för mätsystem som innehåller mättransformatorer vad avser krav på delkomponenter, största tillåtna fel för mätsystemet, kontroll vid idrifttagande samt återkommande kontroll.

6.1 INSTALLATIONSBESTÄMMELSER

Installation av mätanläggning vid högspänning ska utföras av hos Elsäkerhetsverket registrerat elinstallationsföretag. Installation av mätanordning ska vid inomhus kundanläggning utföras enligt *IBH 14 – Anslutning av kundanläggningar 1–36 kV till elnätet*. I bestämmelserna finns bland annat tekniska regler och krav för mätinstallationens utförande och tillhörande utrustning och apparater. Elinstallationsföretaget ska även kontrollera med anslutande elnätsföretag vilka specifika krav som gäller för den aktuella anslutningspunkten.

6.2 MÄTNING AV ÖVERFÖRD EL

Mätning av elleveransen ska ske i anslutningspunkten, det vill säga i den punkt där elproducenten är ansluten till och matar in på elnätsföretagets nät.

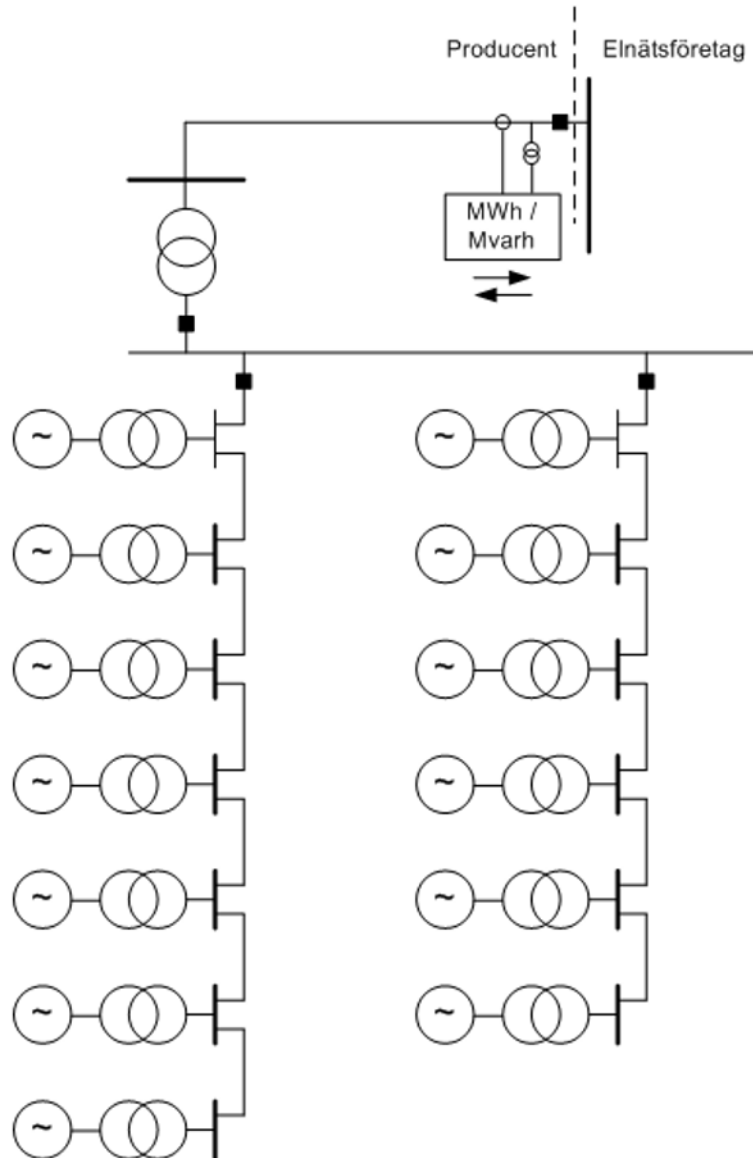
En produktionsanläggning har ofta ett nettouttag i anslutningspunkten vid låg eller ingen produktion varför den aktiva effekten mäts i båda riktningarna. Normalt mäts även den reaktiva effekten i båda riktningarna.

Plats ska finnas för elnätsföretagets mätutrustning inklusive hjälpkraft 230 V.

Ett mätsystem 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 dessutom en skyldighet att fortlöpande kontrollera och verifiera mätsystemet vart sjätte 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.

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. Äger producenten till exempel en transformator till 70 eller 130 kV sker mätningen på uppsidan av transformatorn. Anslutningen till regionnätet sker i elnätsföretagets regionnätsstation, där även mätningen sker, se figur 17.



Figur 17. Större produktionsanläggning med anslutning till regionnät.

6.3 ACKREDITERING FÖR KONTROLL AV MÄTARE OCH MÄTSYSTEM

Den som utför kontroll av mätsystem i samband med idrifttagning eller återkommande kontroll ska vara ett ackrediterat kontrollorgan av typ A, B eller C¹⁴. Kontrollorganet ska därvid uppfylla kvalitetsstandarderna *SS-EN ISO/IEC 17020*, och rapporterna ska vara försedda med information om att kontrollen utförts i organisationens egenskap av kontrollorgan.

¹⁴Typ A: Tredje partsbedömning av helt fristående aktör.

Typ B: Separat del av organisation som tillhandahåller de kontrollerade produkterna

Typ C: Involverad i tillhandahållande av de kontrollerade produkterna

6.4 REALTIDSDATA

Såväl anslutande elnätsföretag som Svenska kraftnät har behov av realtidsdata.

Kraftproduktionsanläggningar ska kunna utbyta information med det anslutande elnätsföretaget och med Svenska kraftnät i realtid eller regelbundet med tidsmärkning, så som anges av elnätsföretaget eller Svenska kraftnät (RfG Art 14:5di).

Om inte något annat beslutas av Svenska kraftnät ska varje ägare av en kraftproduktionsanläggning av typ B eller större, tillhandahålla åtminstone följande data i realtid till Svenska kraftnät och till anslutande elnätsföretag (SO GL Art 50.2)¹⁵ :

- Status för brytare och frånskiljare i anslutningspunkten.
- Flöden av aktiv och reaktiv effekt samt strömstyrka och spänning i anslutningspunkten.

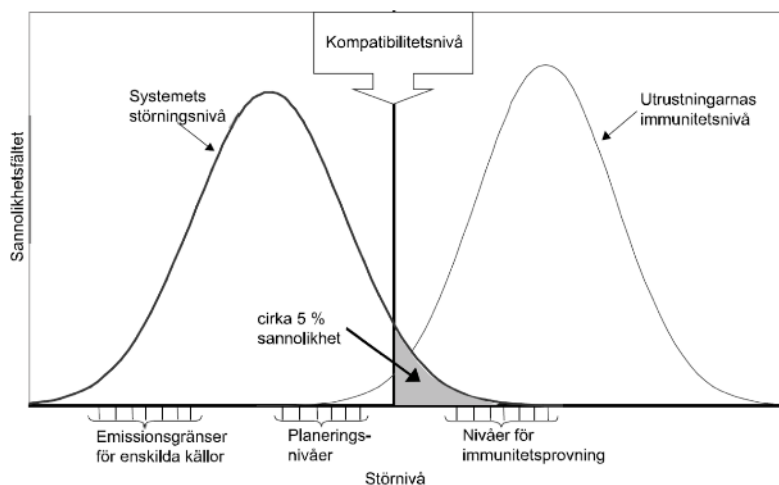
¹⁵ System Operation Guideline; Kommissionens förordning (EU) 2017/1485 om fastställande av riktlinjer för driften av elöverföringssystem.

7. Dimensioneringsförutsättningar – Elkvalitet

Vid anslutning av elproduktion till elnät för allmän distribution är det viktigt att säkerställa att produktionsanläggningen inte kommer att ge upphov till störningar i elnätet eller dålig elkvalitet för den kund som ansluter produktionsanläggningen eller för någon annan kund i nätet.

Elkvaliteten från en produktionsmodul beror på samverkan mellan modulen och elnätet, det vill säga både på produktionsmodulens elektriska egenskaper och på nätets elektriska egenskaper. Det är således nödvändigt vid dimensioneringen att både betrakta produktionsmodulen med avseende på dess statistiska och dess dynamiska responsegenskaper och nätet med avseende på kortslutningseffekt och kortslutningsvinkel.

Elnätsföretaget ansvarar för att den totala störningsnivån håller sig under maxnivåerna. Det hjälpmedel som används för detta ändamål är de planeringsnivåer¹⁷ 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. Sambanden mellan respektive elnätskunds störutrymme (emissionsgräns), elnätsföretagets planeringsnivåer samt föreskrifternas maxnivåer, som baseras på rimliga kompatibilitetsnivåer för elektriska apparater, är illustrerade i *figur 18*.



Figur 18. Sambandet mellan respektive elnätskunds störutrymme (emissionsgräns), elnätsföretagets planeringsnivåer samt standardernas maxnivåer. SS-EN 50160(4.3)

¹⁷Mer om planering av störningsnivåer och spänningsgodhet finns att läsa i "EMC, elkvalitet och elmiljö: guide för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet", ELFORSK rapport 07:40.

För stamnätet har Svenska kraftnät tagit fram tekniska riktlinjer för elkvalitet, *Spänningsens egenskaper i stamnätet (TR06-01)* respektive *Planerings- och emissionsnivåer, mätmetoder och ansvarsfördelning avseende elkvalitet i stamnätet (TR06-02)*. 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 SPÄNNINGSHÅLLNING OCH REAKTIVT EFFEKTUTBYTE

Spänningshållning i regionnätet sköts normalt med hjälp av lindningskopplare på matande systemtransformator och det reaktiva utbytet med shuntkompensering i regionnätet. Utgångspunkten är ofta att det reaktiva effektutbytet med ovanliggande nät ska ligga nära noll, givet att utgångskravet i EIFS 2018:2 om att automatisk spänningsreglering ska användas (om inte nätinnehavaren meddelar en annan kravbild). Detta kan innebära att det reaktiva utbytet med ovanliggande nät inte konstant är nära noll utan att det kan variera med spänningen i syfte att motverka spänningsvariationer.

7.2 LÅNGSAMMA SPÄNNINGSVARIATIONER

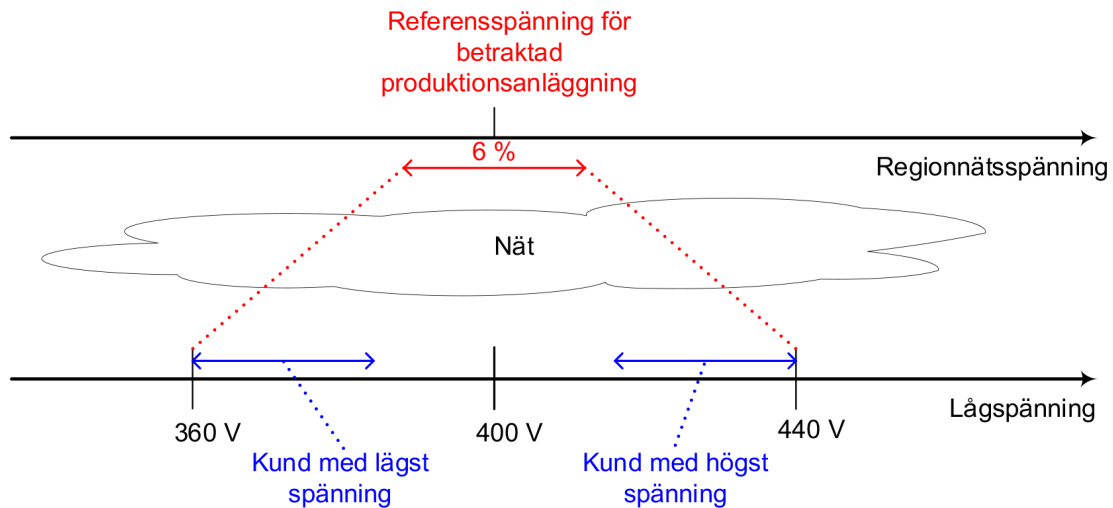
Beroende på belastningsändringar i nätet varierar spänningens effektivvärde med årstid och tid på dygnet. Standarden SS-EN 50160 och föreskriften EIFS 2013:1¹⁷, som beskriver spänningssgodhet i elnät upp till och med 36 kV, anger att effektivvärdet ska ligga inom intervallet $\pm 10\%$, mätt som 10-minuters medelvärde. Detta är det förväntade variationsområdet för driftspänningen, alltså den spänning som råder i nätet. Så stora variationer får dock inte beräknad inverkan av produktionsanläggningar orsaka. Beräkningsområdet ska täcka lastvariationer och de spänningsfall som uppstår längs en radialmatad ledning. För spänningsnivåer över 36 kV hänvisas till respektive elnätsföretags riktlinjer, bestämmelser och anslutningsavtal. För högre spänningsnivåer eftersträvas planare driftspänning i nätets olika delar.

För att beakta långsamma spänningsändringar kontrolleras alla fyra extremfallen som kan förekomma:

- Maximal belastning och maximal produktion
- Maximal belastning och minimal produktion
- Minimal belastning och maximal produktion
- Minimal belastning och minimal produktion

Skillnaden mellan högsta och lägsta spänning för de fyra extremfallen rekommenderas då vara maximalt 6 % av referensspänningen för varje enskild anslutningspunkt i nätet. Intervallet 6 % baseras på en generalisering av ett antagande om $\pm 3\%$ kring ett normalvärde, och beaktande av spänningsgränserna för god elkvalitet (EIFS 2013:1) i lågspänningsnätet. Förhållandena illustreras i *figur 19*.

¹⁷ Energimarknadsinspektionens föreskrifter och allmänna råd om krav som ska vara uppfyllda för att överföringen av el ska vara av god kvalitet



Figur 19. Relationen mellan spänningsgränserna på lågspänning och variationsområden för regionnätansluten produktion.

7.3 SNABBA SPÄNNINGSVARIATIONER

Enstaka snabba spänningsändringar uppstår vid kopplingar i nätet, bortkoppling av produktion, samt vid in- respektive urkoppling av belastningsobjekt. Upprepade snabba spänningsvariationer kan uppstå till följd av effektpulsationer orsakade av tornskuggan på ett vindkraftverk, effektvariationer i en ljusbågsugn, svetsutrustning eller liknande.

7.3.1 Enstaka snabba spänningsändringar

Rekommendationen är att en urkoppling av en produktionsanläggning maximala effekt inte ska ge upphov till större spänningsvariationer i nätet än vad *tabell 3* visar. Vid tillkoppling av en produktionsanläggning är produktionen nära noll.

Tabell 3: Gränsvärden¹⁸ för maximala spänningsnivåändringar

Maximal spänningsändring vid in- och urkoppling		Motsvarande förhållande mellan kortslutningseffekt och anslutningseffekt
I anslutningspunkten för den aktuella produktionsanläggningen	5 %	20 ggr
I sammankopplingspunkt med andra kunder	3 %	34 ggr

Aktuella förhållanden, framför allt mellan produktionen och nätets reaktiva egenskaper

¹⁸Gränsvärdet 3 % har sitt ursprung i den gamla flickerkurvan; nivån 5 % kommer sig av att man tillåter något mer i anslutningspunkten.

kan göra att behovet av kortslutningseffekt blir mindre. Detta bestäms genom mer detaljerade beräkningar och det är spänningens egenskaper som blir avgörande.

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

Vindkraftverk har, om de inte är kontinuerligt inkopplade, normalt en startvind vid 3–5 m/s och ger då en aktiv uteffekt lika med eller nära noll, däremot kan reaktiv effekt upptas från nätet. Spänningsändringsfaktorn är den uppmätta spänningsändringen under en linjeperiod som uppträder vid inkoppling av ett kraftverk. Ett värde på spänningsändringsfaktorn, $k_u(\Psi_k)$, krävs från tillverkaren av kraftverket. Den bestäms utifrån uppmätt ström och spänning mot ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel, Ψ_k , som parameter. Vid avsaknad av värde beräknas spänningsändringen med en spänningsändringsfaktor, $k_u(\Psi_k)=3^{19}$.

7.3.2 Flimmer

Regelbundet återkommande snabba spänningsvariationer kan förorsaka flimmer. Flimmer definieras i *SS-EN 50160* som "visuellt intryck av instabilitet orsakat av ljusinttryck som varierar intensitetsmässigt över tiden". Spänningsvariationer orsakar ändringar i ljuskällors luminans som kan vara besvärande. Besvären beror av variationernas amplitud och repetitionsfrekvens. Det bör i sammanhanget poängteras att en spänningsdipp räknas som två ändringar, det vill säga först sjunker spänningen (ändring nummer ett) sedan återgår spänningen (ändring nummer två).

Snabba spänningsändringar förorsakade av vindkraftverk kan uppstå både vid start och drift. Spänningsändringar vid drift beror i första hand på effektpulsationer orsakade av tornskugga och vindgradient, så kallade 3-p pulsationer. Om till exempel en turbin har tre blad och roterar med 30 varv per minut uppstår tre ändringar per sekund.

Den internationella flickermeteren, definierad enligt IEC 61000-4-15, anger de två storheterna P_{st} ("short term") respektive P_{lt} ("long term") för att beskriva flicker. P_{st} och P_{lt} definieras i IEC TR 61000-3-7.

P_{st} anger de regelbundna snabba spänningsändringarnas storlek, i förhållande till den så kallade flickerkurvan, se figur 20. Flickerkurvan definieras av $P_{st}=1$, mätt som ett viktat medelvärde över en 10-minutersperiod. P_{st} beräknas enligt:

P_{stj} är amplituden för en enskild flickerkälla, och α är en exponent, ofta vald till 3.

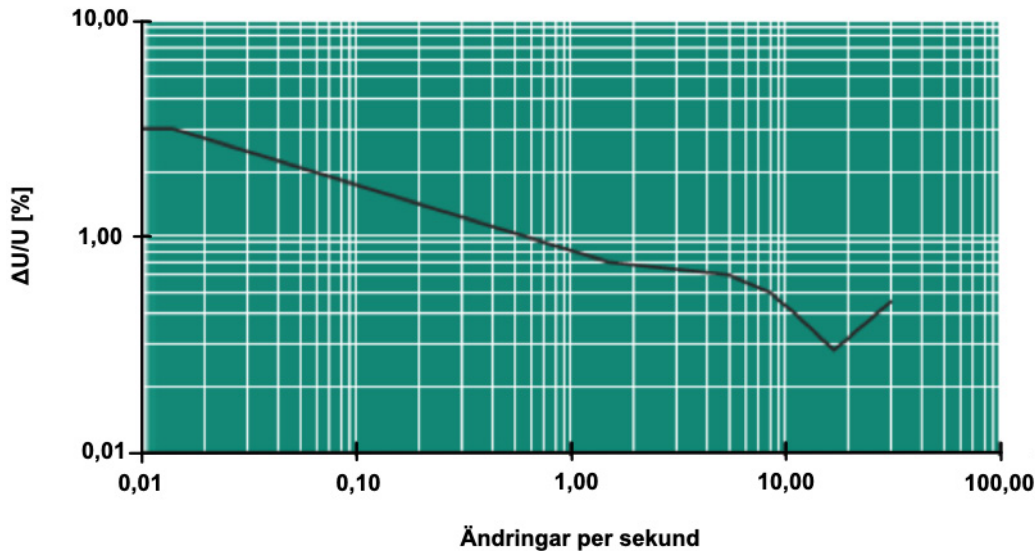
$$P_{st} = \alpha \sqrt{\sum_j P_{st,j}^\alpha}$$

¹⁹ Faktorn 3 betraktas som ett "värsta fall" som visat sig fungera väl i fall där verkliga värden saknas

P_{lt} mäts över en 2-timmarsperiod, utgående från 12 konsekutiva P_{st} -värden enligt:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} P_{st,k}^3}$$

Enstaka snabba spänningsändringar som förorsakas av strömändring i anslutningen får på motsvarande sätt uppgå till högst 3 % om de inträffar högst en gång under 2 timmar.



Figur 20. Antalet regelbundet återkommande stegvisa ändringar av spänningens effektivvärde i procent som ger flimmervärdet $P_{st} = 1,0$.

Enligt IEC 61000-3-7 bör flimmeremissionen 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 flimret under drift emitterat från en viss produktionsanläggning ansluten till regionnätet inte bör överskrida $P_{lt}=0,10$.

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 flimmerkoefficienten, $c_f(\Psi_k)$, krävs då från tillverkaren av vindkraftverket. Saknas värdet beräknas spänningsändringen förorsakad av effektpulsationer med en flimmerkoefficient, $c_f(\Psi_k)=20$. Se även avsnitt 8.7.2 och bilaga 3.

7.4 ÖVERTONER, MELLANTONER OCH UNDERTONER

Övertoner är periodiska ström- eller spänningskomponenter med en frekvens som är en heltalsmultipel av grundtonsfrekvensen. Övertoner betecknas med sin heltalsmultipel, exempelvis kallas en överton med frekvensen 150 Hz för den tredje tonen. Mellantoner är på motsvarande sätt periodiska ström- eller spänningskomponenter med en frekvens som är högre än grundtonen, men som inte är en heltalsmultipel av grundtonsfrekvensen.

Undertoner är periodiska ström- eller spänningskomponenter med en frekvens som är lägre än grundtonen. För närvarande finns inget regelverk för undertoner.

Övertoner och mellantoner kan förekomma såväl i nätspänningen som i strömmen från anslutna objekt. Övertoner i nätspänningen uppkommer genom att en del anslutna objekt har så kallad olinjär karakteristik, det vill säga genererar övertoner i den från nätet uttagna strömmen. Det finns även olinjära element i nätet, där transformatorn är den som är mest bidragande. Vid hög driftspänning blir transformatorn en källa för övertoner vilket innebär att risken för övertoner ökar när mer produktion ansluts till distributionsnätet.

I SS-EN 61000-4-7 anges hur över- och mellantoner ska beräknas. Standarden SS-EN 50160 och föreskriften EIFS 2013:1 anger nivåer för nätspänningens relativa övertonshalt enligt *tabell 4*. I SS-EN 50160 finns inte något gränsvärde för mellantoner 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 distorsionen definieras som:

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

där U_1 är amplituden för nätspänningens grundton och U_i är amplituden för nätspänningens överton av ordning i . Enligt både SS-EN 50160 och SS-EN 61000-2-2 ska övertoner upp till 40:e ordningen medtas. Det ska understrykas att nivåerna i *tabell 4* och *tabell 5* är kompatibilitetsnivåer för system och utrustning. Enligt SS-EN 50160 ska den totala övertonshalten (THD) i låg- och mellanspänningsnät inte överstiga 8 %. Elnätsföretagens planeringsnivåer måste innehålla en viss marginal gentemot kompatibilitetsnivåerna och ska därför vara lägre. Enskilda anläggningars ianspråktagande av elnätsföretagets planeringsutrymme avgörs av elnätsföretaget från fall till fall.

Tabell 4: Nivåer för nätspänningens relativa övertonshalt enligt SS-EN 50160 och EIFS 2013:1, för spänningar upp till och med 36 kV.

Udda övertoner				Jämna övertoner	
Ickemultipler av 3		Multipler av 3			
Ton	Relativ spänning	Ton	Relativ spänning	Ton	Relativ spänning
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6.....24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Tabell 5: Nivåer för nätspänningens relativa övertonshalt enligt SS-EN 50160 och EIFS 2013:1, för spänningar över 36 kV och upp till och med 150 kV.

Udda övertoner				Jämna övertoner	
Ickemultipler av 3		Multipler av 3			
Ton	Relativ spänning	Ton	Relativ spänning	Ton	Relativ spänning
5	5,0 %	3	3,0 %	2	1,9 %
7	4,0 %	9	1,3 %	4	1,0 %
11	3,0 %	15	0,5 %	6.....24	0,5 %
13	2,5 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

För krafttransformatorer anger SS-EN 60076-1 en maximal THD-nivå för spänningsövertoner om 5 %, och för jämna övertoner får THD inte överstiga 1 %. Vidare får THD i belastningsströmmen inte överstiga 5 % av transformatorns märkström. Detta är strängare krav än vad som anges i SS-EN 50160 och i EIFS 2013:1 och bör uppmärksammas i samband med beställning av transformatorer.

För övertoner av högre ordning (25:e ton och däröver), så kallade supratoner, finns ännu inget regelverk. Dock är det så att amplituden för supratoner tenderar att öka allteftersom modern kraftelektronik med höga switchfrekvenser undertrycker övertoner av lägre ordning, till priset av en ökad andel övertoner med högre frekvens.

Emission av mellantoner ska undvikas. Förekommer kännedom om att anläggningar kommer att avge mellantoner ska samråd med elnätsägaren ske redan i projekteringsstadiet. Det har visat sig att solcellsanläggningar kan vara en källa till mellantoner, men detaljerna är fortfarande mycket otydliga och olika forskare har olika synpunkter på detta. För att få en bättre uppfattning kan det vara lämpligt att elnätsföretagen bevakar övertons- och mellantonsnivåerna genom att mäta i nät med anslutna solcellsanläggningar.

Anslutna anläggningar får inte avge likströmskomponent.

Det är viktigt att på ett tidigt stadium få tillverkarens uppgifter om anläggningens emission av övertoner, för att anslutande elnätsföretag ska kunna göra preliminära beräkningar av de resulterande spänningsövertonerna i den tänkta anslutningspunkten. Skulle spänningsövertonerna bli för höga kan filterlösningar övervägas, för att reducera de mest besvärande övertonerna.

Elnätsföretagen är ansvariga för att, med lämplig marginal, hålla övertonerna i nätet inom angivna gränser, som anges i EIFS 2013:1. Mätutrustning bör installeras för att registrera övertoner under minst 3 månader före anslutningen av en ny produktionsanläggning, för att kunna analysera produktionsanläggningens påverkan på övertonshalten²⁰.

7.5 OLIKA PRODUKTIONSSLAGS PÅVERKAN PÅ NÄTET

Olika produktionskällor påverkar nätet olika mycket vilket gör att vissa produktionskällor ibland benämns som snällare mot nätet än andra. Av de fyra vanligaste produktionskällorna solceller, vindkraft, vattenkraft och kraftvärmeanläggningar så är vindkraften det produktionslag där det finns störst risk för störningar på nätet. Det är därför viktigt att utreda samtliga av de fyra nätpåverkansfaktorer som beskrivits ovan. Det gäller givetvis också att de produktionskällor som ska anslutas inte överskrider de gränsvärden för flimmer respektive övertoner som anges i avsnitt 7.3.2 och 7.4. *Tabell 6* nedan summerar vilka faktorer som är viktiga att kontrollera för respektive produktionslag.

²⁰ CIGRE TB 766, C4/B4, Network modelling for harmonic studies, April 2019

Tabell 6: Sammanfattning av nätpåverkansfaktorer för respektive produktionslag.

	Maximal spännings- ändring	Långsam spännings- ändring	Övertoner	Flimmar
Vindkraft	Ja	Ja	Ja	Ja
Solceller	Ja	Ja	Ja	Ja
Vattenkraft	Ja	Ja	Nej	Nej
Kraftvärme	Ja	Ja	Nej	Nej

Oavsett produktionslag kan problem uppstå vid anläggningar med ett större antal elproduktionsenheter. Här är rekommendationen att bevaka nivåerna genom permanenta eller tillfälliga mätningar.

8. Analysmetoder

Grundekvationen för spänningsfall är den klassiska, men stamnätet och regionnäten drivs ofta maskade, det vill säga med flera matningsvägar, och därtill kommer spänningsreglerande utrustningar anslutna till regionnäten vilka komplicerar beräkningarna. Dessutom måste olika lastfall beaktas såsom maximal last/minimal produktion och minimal last/maximal produktion. Vid anslutning av större parker eller vid anslutning till relativt svaga nät kan även dynamiska studier erfordras. Det krävs därför normalt datorprogram för att göra systemstudier i regionnäten. Det finns flera programvaror på marknaden som hanterar sådana beräkningar. De mest vanliga torde vara PSS/E, Powerfactory och PSCAD/EMTDC. PSS/E och Powerfactory klarar förutom lastflödesberäkningar även felströmsberäkningar med symmetriska komponenter och kan kompletteras med modul för dynamiska simuleringar. PSCAD/EMTDC används för detaljerade dynamiska beräkningar och för transientberäkningar.

8.1 MAXIMALT AVGIVEN AKTIV EFFEKT

Produktionsenheter kan under vissa betingelser avge en högre aktiv effekt än referenseffekten. Bland de faktorer som påverkar detta kan nämnas typ av turbinreglering, smuts på turbinbladen, lufttemperatur och lufttryck, för vindkraftverk och kylvattentemperatur för kondenskraftverk. Tillverkaren ska upplysa om övre gräns för aktiv effekt. Värdet anges som en faktor p multiplicerat med produktionsmodulens referenseffekt och ska vara omräknat för de specifika förhållanden som råder för anläggningen. Vid angiven faktor p beräknas maximal effekt som:

$$P_{max} = pP_{ref} \quad [\text{Ekv. 8.1}]$$

Vid beräkning av stationära spänningsvariationer ska det maximala värdet på avgiven aktiv effekt mätt som ett medelvärde över 10 minuter användas.

8.2 BELASTNINGSTRÖMMAR I ELNÄTET

Samtliga komponenter i en elektrisk anläggning och i ett elnät måste tåla 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, robusthet och säker drift ständigt upprätthålls. Det gäller i princip alla nät från stamnät ner till region- och distributionsnät. Emellertid kan kraven på till exempel 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 8.4*) och spänningsfall (se *avsnitt 8.6*) 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.

8.3 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 av storleksordningen 5 gånger märkströmmen. För anläggningar med fulleffektomriktare begränsas detta bidrag till cirka 1,4 gånger märkström, och är i realiteten i många fall väsentligt mindre.

Produktionsmodulers bidrag till felströmmarna varierar kraftigt med typen av modul, från cirka 1,4 till 5 gånger märkströmmen. Det handlar då enbart om mekaniska påkänningar. Inga moderna typer av omriktaransluten produktion anses bidra till några termiska påkänningar, utöver märkströmmen, eftersom den inledande kortslutningsströmmen avtar mycket snabbt.

Produktionsanläggningar kan även bidra till jordfelsström genom transformatorers direktjordade nollpunkter, vilket kan göra att jordslutningar ger upphov till större felströmmar än trefasiga kortslutningar.

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 tåla felströmmen, även har förmåga att bryta den.

8.4 FELSTRÖMMENS TERMISKA PÅVERKAN

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

$$W = R \int_0^{t_k} i_k^2(t) dt, \text{ där} \quad [\text{Ekv. 8.2}]$$

$i_k(t)$ = 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.

8.5 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:

$$F(t) = B(t) \cdot i(t) \cdot l, \text{ där} \quad [\text{Ekv. 8.3}]$$

$B(t)$ = 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:

$$B_x(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i(t)}{x}, \text{ där} \quad [\text{Ekv. 8.4}]$$

$i(t)$ = 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:

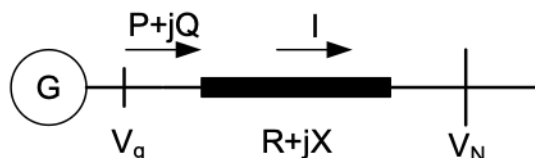
$$F(t) = 2 \cdot \frac{i_1(t)}{x} \cdot i_2(t) \cdot l \cdot 10^{-7} \quad [\text{Ekv. 8.5}]$$

Kraften är beroende av geometrin, det vill säga 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 märkkorttidsströmmen (1-sekundsvärdet).

8.6 SPÄNNINGSVARIATIONER

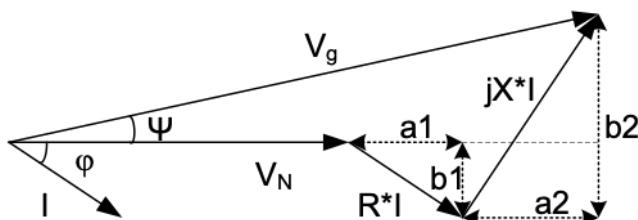
Beräkning av spänningsvariationer orsakade av kopplingar och varierande driftsituationer genomförs med lämplig programvara för belastningsfördelningsberäkningar. Snabba spänningsändringar fås som skillnaden mellan spänningsnivån före och efter en koppling i nätet. Långsamma spänningsvariationer fås som den maximala skillnaden mellan spänningsnivåerna för samtliga förekommande extrema driftpunkter, med avseende på kopplingsläge, belastning och produktion.

Långsamma spänningsvariationer till följd av varierande effektflöde längs en radialledning, kan beräknas med enkla spänningsfallsekvationer. Antag att en produktionsanläggning, enligt *figur 21*, producerar den aktiva effekten P och den reaktiva effekten Q , och att denna effekt flyter längs en anslutningsledning med impedansen $R+jX$.



Figur 21. Effektflöde och spänningsfall längs en radialledning

Med hjälp av visar diagrammet i figur 22 kan man lätt ställa upp spänningsfalls-ekvationerna för det betraktade systemet.



Figur 22. Visardiagram för enkla spänningsfallsberäkningar

Ur figur 22 ser vi lätt följande samband mellan generatorspänningen V_g och nätspänningen V_N :

$$V_g = \sqrt{(V_N + a1 + a2)^2 + (b2 - b1)^2} \tag{Ekv. 8.6}$$

Där $(a1+a2)$ är det så kallade längsspänningsfallet och $(b2-b1)$ är tvärspänningsfallet. Vid överslagsberäkningar i radialnät tar man ofta enbart hänsyn till längsspänningsfallet, och förutsätter därmed att vinkeln Ψ , 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 :

$$\frac{\Delta V}{V_g} \approx \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{V_g^2} \cdot 100\% \tag{Ekv. 8.7}$$

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

8.7 FLIMMER

Flimmer orsakade av produktionsanläggningar kan uppstå både vid start och drift. Speciellt vindkraftanläggningar kan orsaka flimmer.

8.7.1 Start av vindkraftanläggning

Erforderlig kortslutningseffekt, S_k , i anslutningspunkten vid en enkel inkoppling kan bestämmas med hjälp av fabrikantens upplysning om spänningsändringsfaktorn,

$k_u(\Psi_k)$, som:

$$S_k \geq 50k_{umax}(\Psi_k)S_{ref} \tag{Ekv. 8.8}$$

där S_{ref} är produktionsmodulens skenbara referenseffekt. Det högsta värdet på spänningsändringsfaktorn ska användas. Detta uppträder vanligtvis under start vid märkvind (för vindkraft). Saknas angivet värde beräknas spänningsändringen med en spänningsändringsfaktor, $k_v(\Psi_k)=3$.

Flimmeremissionen vid ett upprepat antal starter bestäms av formen på spänningsvariationen som produktionens start orsakar. Eftersom spänningsvariationen beror på kortslutningsvinkeln i anslutningspunkten bör tillverkaren ange produktionsmodulens flimmerstegfaktor som funktion av kortslutningsvinkel, $k_f(\Psi_k)$. Vidare bör antalet inkopplingar per timme begränsas av produktionsmodulens styrutrustning. Erforderlig kortslutningseffekt kan bestämmas utgående från flimmerstegfaktorn, $k_f(\Psi_k)$, och det maximala antalet inkopplingar, $N_{120'}$ under en tvåtimmarsperiod enligt:

$$S_k \geq 8 \frac{1}{P_{lt}} k_f(\Psi_k) N_{120'}^{3,2} S_{ref} \quad [\text{Ekv. 8.9}]$$

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

Den sammanlagda flimmeremissionen förorsakad av start av olika moduler anslutna till samma punkt summeras lämpligen enligt:

$$P_{lt,tot} = \sqrt[3,2]{\sum_k P_{lt,k}^{3,2}} \quad [\text{Ekv. 8.10}]$$

där $P_{lt,k}$ är flimmeremissionen från modul nummer k .

8.7.2 Drift av vindkraftanläggningar

Vindkraftanläggningar kan förorsaka flimmer under drift. Nätets kortslutningsvinkel, Ψ_k , har en stor inverkan vid beräkning av flimmer under drift. Erforderlig kortslutningseffekt beräknas därför utifrån tillverkarens upplysningar om flimmerkoefficient, $c_f(\Psi_k)$ som

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} c_f(\Psi_k) S_{ref} \quad [\text{Ekv. 8.11}]$$

Normalt kan avvikelsen på flimmerkoefficient för ett vindkraftverk beroende på skillnad i turbulensintensitet mellan provplats och uppställningsplats bortses från.

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

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} c_f(\Psi_k) S_{ref} \sqrt{k} \quad [\text{Ekv. 8.12}]$$

där k är antalet produktionsmoduler.

Sammanlagd flimmeremission från flera olika produktionsmoduler under drift kan summeras enligt:

$$P_{lt,tot} = \sqrt{\sum_k P_{lt,k}^2} \quad [\text{Ekv. 8.13}]$$

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

8.7.3 Beräkning av flimmervärdet i olika punkter i ett nät

Den flimmernivå som genereras i punkt 1 i ett nät, dämpas inte, utan fortplantas obehindrat till punkt 2 om punkt 2 har lägre kortslutningseffekt än punkt 1. Om exempelvis ytterligare en produktionsmodul installeras i punkt 2 kan de olika flimmeremissionerna räknas samman enligt ekvationen ovan till en total flimmeremission i punkt 2.

Flimmervärdet avtar däremot när det fortplantar sig mot en punkt med högre kortslutningseffekt än den ursprungliga punkten. Reduktionen beräknas enligt:

$$P_{st1} = P_{st2} \cdot \frac{S_{k2}}{S_{k1}} \quad [\text{Ekv. 8.14}]$$

där P_{st1} är flimmer i punkt 1 och P_{st2} flimmer i punkt 2 och S_{k1} och S_{k2} är kortslutningseffekterna i respektive punkter.

8.8 KRAFTSYSTEMSTABILITET

Kraftsystemstabilitet brukar delas in i vinkelstabilitet, spänningsstabilitet och frekvensstabilitet²¹. Vinkelstabilitet behandlar stabilitet mellan spänningsvektorerna i olika delar av kraftsystemet, som separeras av någon ekvivalent impedans, till exempel 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. Frekvensstabilitet handlar till stor del om stabilitet för de olika regulatorer som är involverade i frekvensregleringen.

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

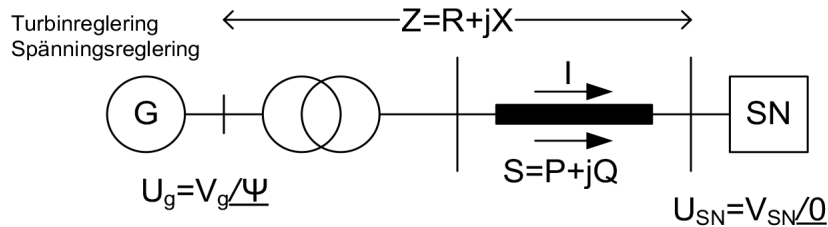
²¹Se till exempel:

Stability definitions and characterization of dynamic behaviour in systems with high penetration of power electronic interfaced technologies, Technical Report PES TR-77, IEEE Power & Energy Society, April 2020.

Definitions and Classification of Power System Stability, IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.19, No.2, May 2004.

8.9 VINKELSTABILITET

Vinkelstabilitet omfattar statisk stabilitet, transient stabilitet (eng. "first swing") och dynamisk stabilitet (eng. "small signal"). För analys av vinkelstabilitet betraktas ofta en produktionsenhet som levererar effekt till ett starkt nät över en impedans, som i sin enklaste form kan se ut som i *figur 23*.



Figur 23. 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 Ψ , erhållas.

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

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

[Ekv. 8.15]

Identifiering ger sedan:

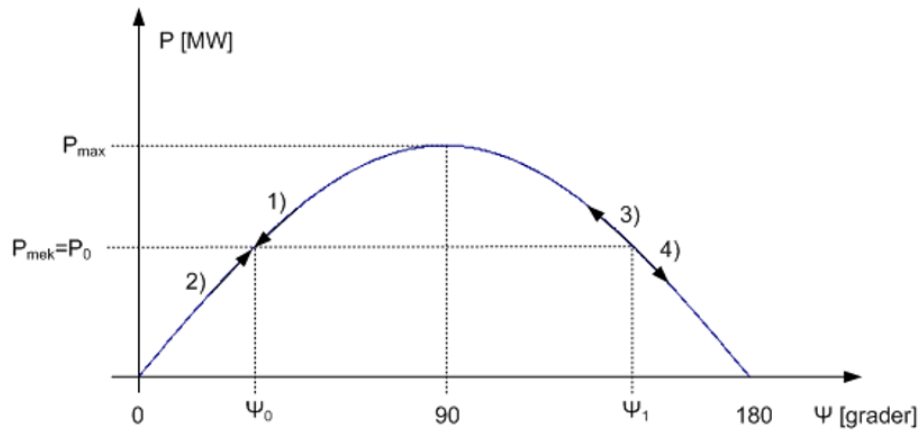
$$P = \frac{V_g \cdot V_{SN}}{X} \sin \Psi; \quad Q = \frac{V_g^2}{X} - \frac{V_g \cdot V_{SN}}{X} \cos \Psi$$

[Ekv. 8.16]

Den aktiva effektöverföringen, P , från generatoren som funktion av överföringsvinkeln, Ψ , illustreras i *figur 24*. 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 någon procents förluster). Jämviktstillstånd mellan inmatad mekanisk effekt och utmatad elektrisk effekt för överföringsvinklar mindre än 90° är stabila driftpunkter, medan driftpunkter över 90° är instabila. Antag följande fyra små störningar från jämviktsläget:

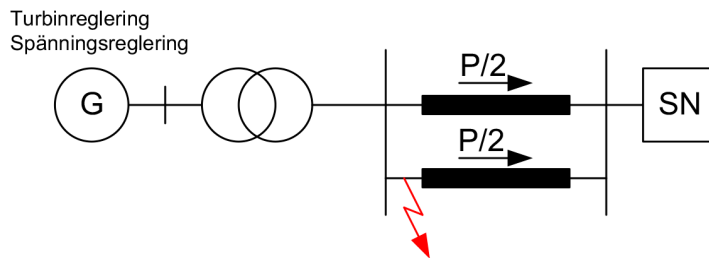
1. En liten vinkelökning från driftpunkten Ψ_0 , innebär att den elektriska uteffekten från maskinen ökar medan den mekaniska ineffekten är konstant lika med P_{mek} , varvid maskinen retarderar och återgår till den stabila driftpunkten Ψ_0 .
2. En liten vinkelminskning från driftpunkten Ψ_0 , innebär 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 Ψ_0 .
3. En liten vinkelminskning från driftpunkten Ψ_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 Ψ_1 .

4. En liten vinkelökning från driftpunkten Ψ_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 Ψ_1 .



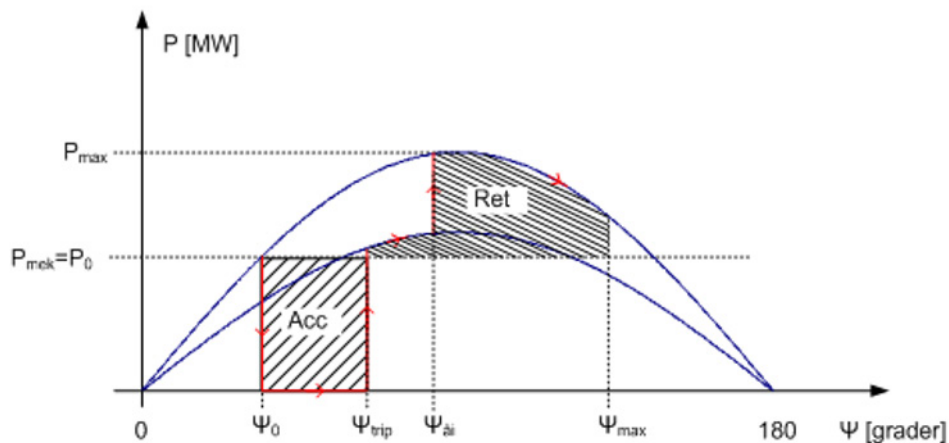
Figur 24. Statisk stabilitetsgräns för generator som matar effekt till ett starkt nät.

Betrakta återigen en överföring mellan en generator, eller grupp av generatorer, och ett starkt nät, enligt *figur 25*.



Figur 25. Trefasig kortslutning nära ena ledningsändan.

Antag att systemet i *figur 25* befann sig i jämvikt med en överföringsvinkel Ψ_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 26*. 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 Ψ_{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 Ψ_{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 26*.



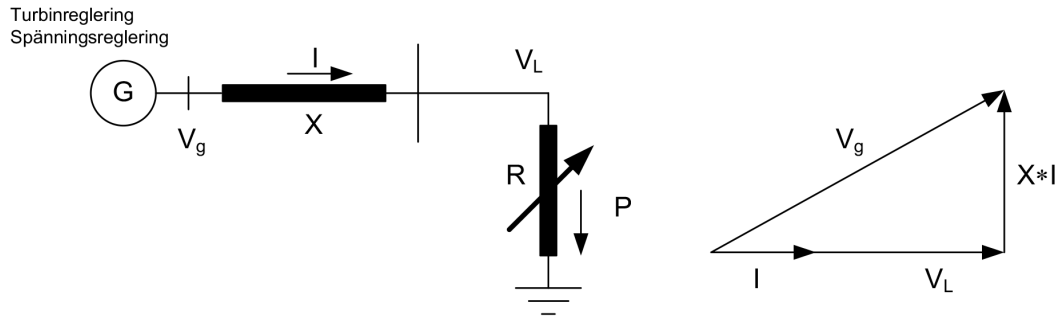
Figur 26. Trefasig kortslutning nära ena ledningsändan följt av felbortkoppling och lyckad återinkoppling.

Vid Ψ_{max} vänder maskinen och vinkeln minskar. Därefter kommer maskinen att svänga med minskande amplitud, för att till slut återgå i lugndrift i punkten (Ψ_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 till exempel genom bortkoppling av en ledning uppstår en liten obalans i systemet och maskinen 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.

8.10 SPÄNNINGSSTABILITET

Spänningsstabilitet illustreras ofta med en maskin som matar effekt till en belastning över en reaktans, *se figur 27*. Spänningen i sändaränden, 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 27. Överföringssystem för illustration av spänningsstabilitet.

Med hjälp av storheterna i *figur 27* härleder vi ett uttryck för mottagarspänningen som funktion av uttagen belastningseffekt. Vi antar därvid att mottagarspänningens belopp är reellt och icke negativt.

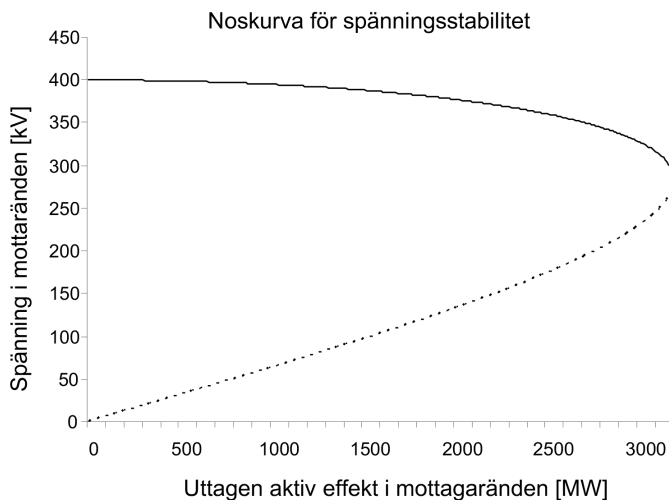
$$V_L^2 + (X \cdot I)^2 = V_g^2 \Rightarrow \left[\text{insättning av } I = \frac{V_L}{R} \right] \Rightarrow$$

$$V_L^2 + \left(\frac{X}{R} \cdot V_L \right)^2 = V_g^2 \Rightarrow \left[\text{insättning av } R = \frac{V_L^2}{P} \right] \Rightarrow$$

$$V_L^2 + \frac{X^2 P^2}{V_L^2} - V_g^2 = 0 \Rightarrow V_L^4 - V_g^2 V_L^2 + X^2 P^2 = 0 \Rightarrow \quad [\text{Ekv. 8.17}]$$

$$V_L^2 = \frac{V_g}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{V_g}{2} \right)^2 - X^2 P^2} \Rightarrow V_L = \sqrt{\frac{V_g}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{V_g}{2} \right)^2 - X^2 P^2}}$$

Plustecknet under rottecknet i uttrycket för mottagarspänningen, V_L , ger den övre kurvan i *figur 28*, medan minustecknet ger den undre, streckade, kurvan.



Figur 28. Noskurva för statisk spänningsstabilitet med $V_g=400$ kV och $X=25$ Ω .

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 derivera med avseende på belastningsresistansen kan maxeffekten och den korresponderande resistansen bestämmas.

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

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

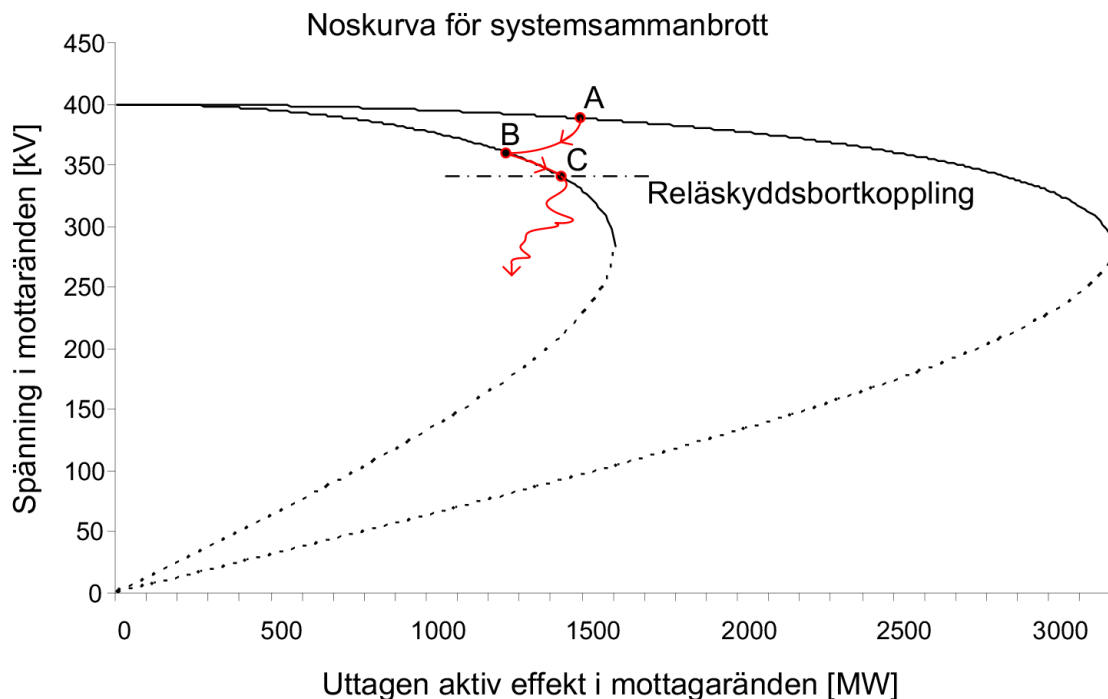
$$\frac{\partial P}{\partial R} = \frac{\partial}{\partial R} \left[V_g^2 R (R^2 + X^2)^{-1} \right] = V_g^2 (R^2 + X^2)^{-1} - V_g^2 R \cdot 2R (R^2 + X^2)^{-2} = V_g^2 \frac{(R^2 + X^2) - R \cdot 2R}{(R^2 + X^2)^2} = 0 \Rightarrow$$

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

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

[Ekv. 8.18]

Ovanstående spänningsstabilitetsstudie är rent statisk och det går utmärkt att driva det enkla systemet i *figur 27*, 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 spänningskollaps-scenariot kan göras med hjälp av *figur 29*. Antag att vi har ett stabilt drifttillstånd i punkten A när vi plötsligt får en nätstörning som ökar den ekvivalenta systemimpedansen från 25 Ω till 50 Ω. Då förflyttas driftpunkten till den noskurva som motsvarar 50 Ω, 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 29*).



Figur 29. Spänningskollaps och systemsammanbrott, när systemimpedansen ökar från 25 Ω till 50 Ω.

8.11 ÖVERTONER

Produktionsenheter som är anslutna via omriktare förorsakar övertoner på nätet. Tillverkaren bör upplysa om förekomsten av övertoner och mellantoner i strömmen. Ett gränsvärde för maximal amplitud på strömövertoner beräknas som:

$$i_n = \frac{u_n U^2}{Z_n S_{\max}} \quad [\text{Ekv. 8.19}]$$

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

I en given anslutningspunkt kan nätimpedansen, Z_n , för överton av ordningstal n med god approximation skrivas som:

$$Z_n \cong nX_k \quad [\text{Ekv. 8.20}]$$

där X_k är nätets kortslutningsreaktans för grundtonen i produktionsenhetens anslutningspunkt.

Om flera produktionsenheter ansluts till samma punkt summeras strömövertonerna som:

$$i_n = \alpha \sqrt{\sum_k i_{n,k}^{\alpha}} \quad [\text{Ekv. 8.21}]$$

där $i_{n,k}$ är överton av ordningstal n från produktionsenhet nummer k och α en exponent som väljs enligt Tabell 7. Ekvation 8.21 gäller även för summation av övertonsspänningar.

Tabell 7: Summationsexponent²² för övertoner.

α	Överton nummer n
1	$n < 5$
1,4	$5 \leq n \leq 10$
2	$n > 10$

²² Tabellens exponentvärden är värden som visat sig fungera bra under lång tid.

Bilagor

Bilaga 1. Flödesscheman för beräkningar

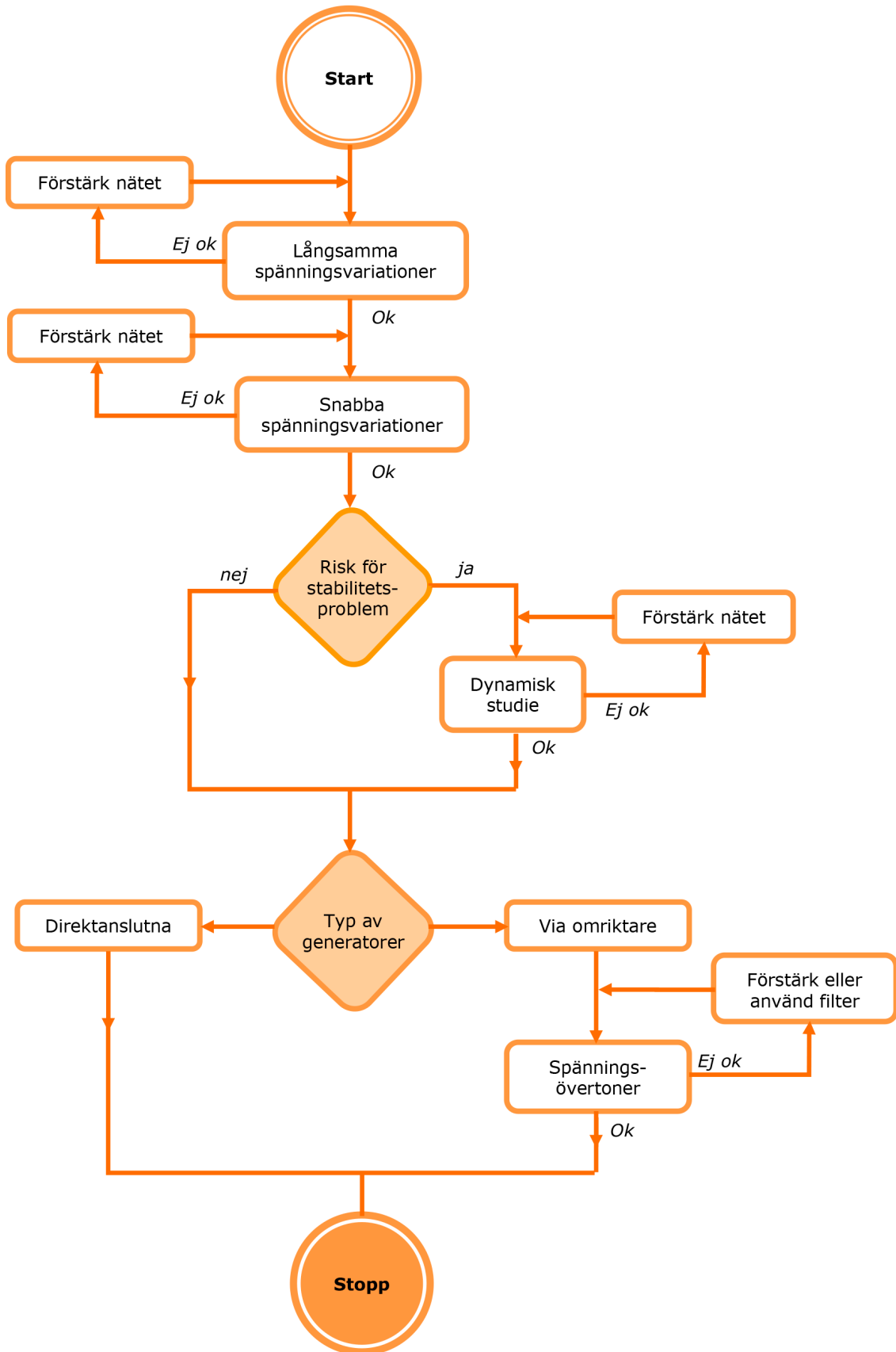
Bilaga 2. Ordförklaringar

Bilaga 3. Härledning av ekvationer för dimensionering av elnät

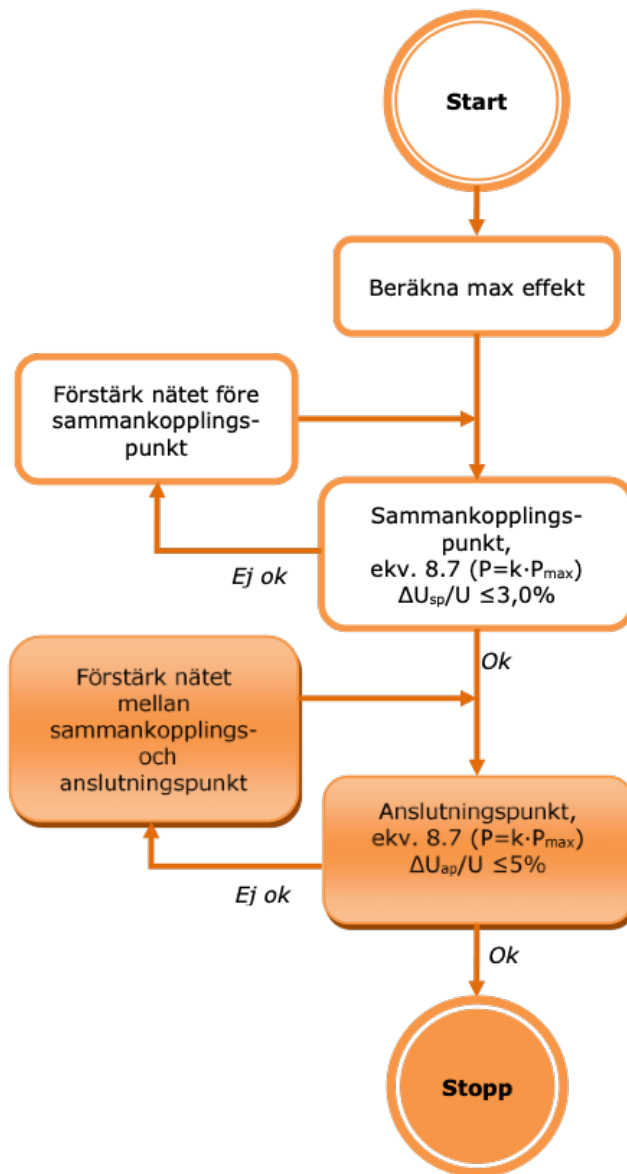
Bilaga 4. Offertförfrågan för anslutning av produktionsanläggning

BILAGA 1 FLÖDESSCHEMAN FÖR BERÄKNINGAR

Flödesschema över beräkningsgång



Flödesschema – Långsamma spänningsvariationer



k avser antalet likadana produktionsmoduler i anläggningen

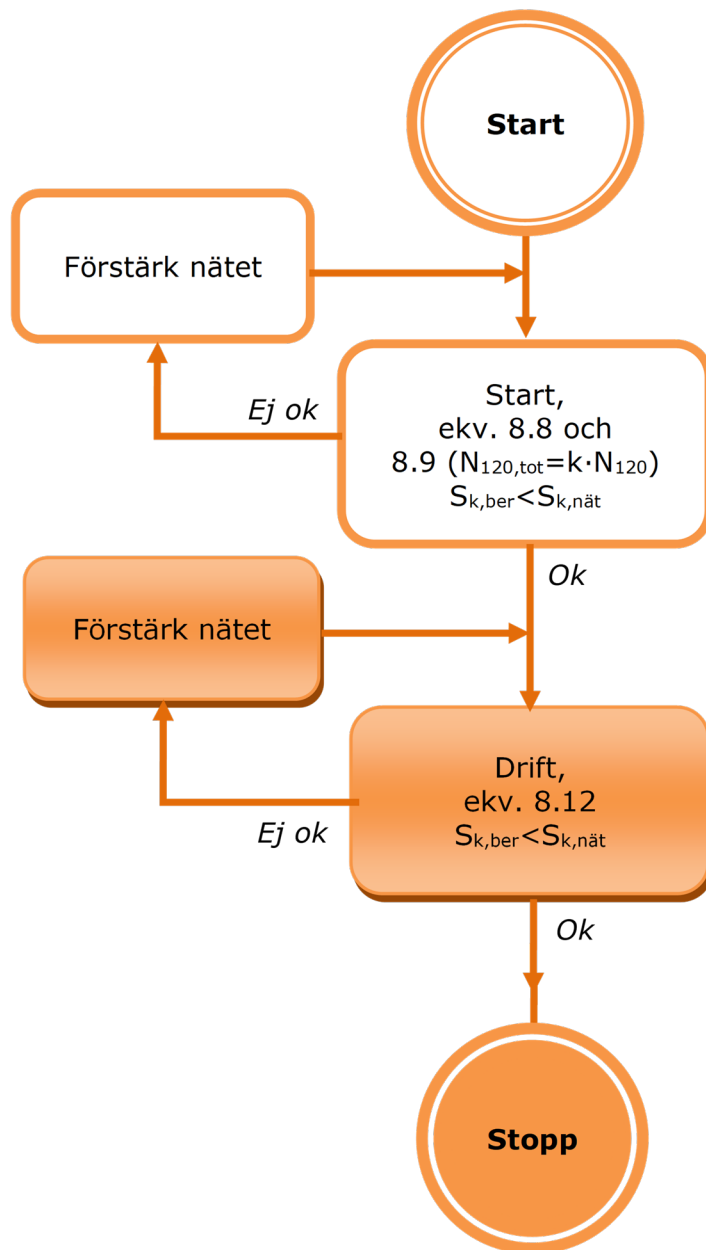
P_{\max} avser maximal aktiv uteffekt från en enskild kraftproduktionsmodul

ΔU_{sp} avser total spänningsvariation i sammankopplingspunkten

ΔU_{ap} avser total spänningsvariation i anslutningspunkten

total spänningsvariation inkluderar även spänningsregleringens dödband

Flödesschema – Snabba spänningsvariationer

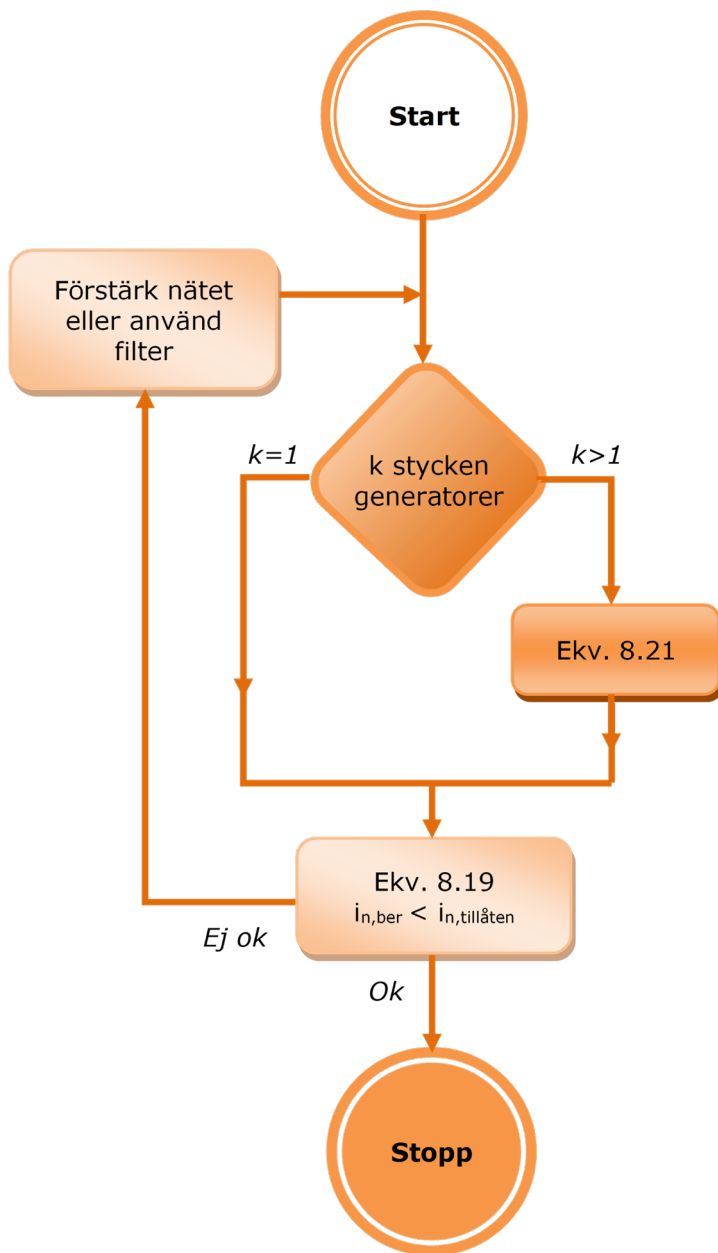


$S_{k,nät}$ avser nätets kortslutningseffekt i sammankopplingspunkten

$S_{k,ber}$ avser beräknad erforderlig kortslutningseffekt i sammankopplingspunkten

Flödesschema – Spänningsövertoner

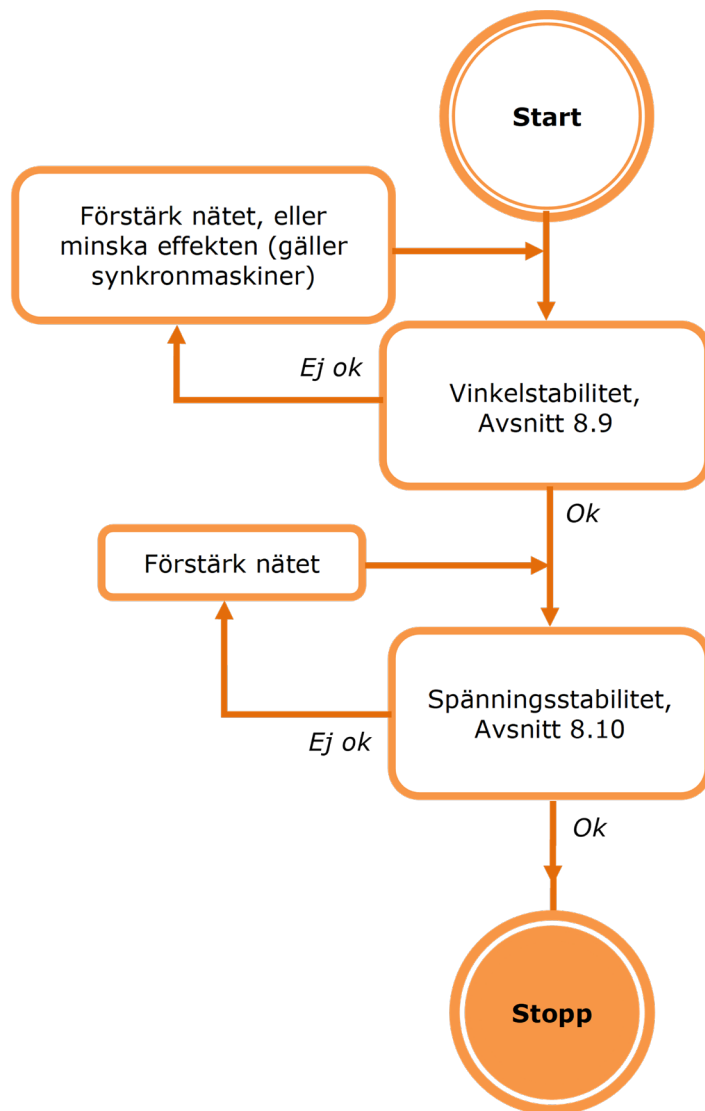
Vid anslutning av k st generatorer till samma punkt



$i_{n,tillåten}$ avser tillåten övertonsström i anslutningspunkten av ordning n

$i_{n,ber}$ avser beräknad övertonsström av ordning n

Flödesschema – Dynamisk studie



BILAGA 2 ORDFÖRKLARINGAR

Anslutningspunkt	Det gränssnitt där anläggningen är ansluten till ett överföringssystem eller ett distributionssystem, så som det fastställs i anslutningsavtalet.
Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)	En utrustnings förmåga att fungera tillfredsställande i sin elektromagnetiska omgivning utan att introducera oacceptabla elektromagnetiska störningar för annan utrustning i denna omgivning.
Faktorn p	Förhållandet mellan det maximala 10-minuters medelvärdet av en produktionsmoduls produktion av aktiv effekt och modulens referenseffekt.
Fast installation	En särskild kombination av olika typer av apparater och i förekommande fall andra anordningar som är monterade, installerade och avsedda för permanent användning på en på förhand fastställd plats (från EMC-direktivet kapitel 5).
Flimmer	Subjektiva intrycket av hur hjärnan och ögat uppfattar periodiska variationer i ljusintensitet, definierat enligt SS-EN-61000-4-11 med tillägg.
Flimmerkoefficienten, $c_f(\Psi_k)$	Bestäms av uppmätta momentanvärden för strömmar och spänningar eller aktiv och reaktiv effekt samt ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel, Ψ_k , som parameter (se IEC 61400-21-1). Flimmerkoefficienten används för att beräkna flimmernivån under drift i den första anslutningspunkten i det nät till vilket produktionsmodulen ansluts.
Flimmerstegfaktor, $k_f(\Psi_k)$	Bestäms av uppmätta momentanvärden för strömmar och spänningar eller aktiv och reaktiv effekt samt ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel, Ψ_k , som parameter, se (IEC 61400-21). Flimmerstegfaktorn används för att beräkna flimmernivån inom det område där kopplingar bidrar mest till flimmernivån.
Kortslutningseffekt	Produkten av tomgångsspänning och kortslutningsström, det vill säga $S_k = \sqrt{3} \times U_{tomgång} \times I_{kortslutning}$
Kortslutningsvinkel, Ψ_k	Nätets kortslutningsvinkel i anslutningspunkten kan bestämmas av uttrycket: $\Psi_k = \arctan \frac{X_k}{R_k}$ där R_k och X_k är nätets kortslutningsresistans och kortslutningsreaktans i anslutningspunkten.

Maximal avgiven effekt, P_{\max}	Den maximala effekt, mätt som ett 10-minuters medelvärde, som produktionsmodulen inte överskrider oberoende av väder- och nätförhållanden.
Referenseffekt, P_{ref}	Den maximala effekt som kan avläsas på en produktionsmoduls effektkurva uppmätt som angivits i IEC 61400-12-1. Referenseffekten för vindkraft är ett 10-minuters medelvärde av effekten vid en lufttemperatur på 15 °C och ett lufttryck på 1013,3 mbar.
Sammankopplingspunkt (med andra kunder)	Punkten i ett elnät, elektriskt närmast en specifik kundanläggning, till vilken andra kundanläggningar är eller kommer att anslutas, oavsett om dessa kundanläggningar tillför eller konsumerar elektricitet.
Spänningsändringsfaktorn, $k_u(\Psi_k)$	Bestäms utifrån uppmätt ström och spänning samt ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel, Ψ_k , som parameter, se IEC 61400-21-1. Faktorn används för att beräkna den största spänningsändringen som uppträder vid inkoppling av en produktionsmodul.
Ödrift	En alternativ variant av elkraftförsörjning och driftsituation då produktionsmodul(er) matar ett lokalt nät, frånkopplat från ett starkt frekvensstyrande nät.

Fotnot: Beträffande övriga definitioner hänvisas till gällande standard, föreskrifter och www.electropedia.org

BILAGA 3 HÄRLEDNING AV EKVATIONER FÖR DIMENSIONERING AV ELNÄT**Beteckningar**

S_k	kortslutningseffekt i anslutningspunkten
S_{ref}	produktionsenhetens skenbara referenseffekt
$k_u(\Psi_k)$	spänningsändringsfaktor vid nätvinkel Ψ_k
$k_f(\Psi_k)$	flimmerstegfaktor vid nätvinkel Ψ_k
$c_f(\Psi_k)$	flimmerkoefficient vid nätvinkel Ψ_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 en produktionsenhet beräknas ur den uppmätta spänningsändringen under en linjeperiod enligt:

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

den relativa spänningsändringen kan då skrivas som:

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

Om ett relativt spänningssteg på 2 % tillåts fås:

$$\frac{2}{100} \geq k_u \frac{S_{ref}}{S_k} \quad (\text{B3.3})$$

Erforderlig kortslutningseffekt i anslutningspunkten vid inkoppling kan då skrivas som:

$$S_k = 50 \cdot k_u \cdot S_{ref} \quad (\text{B3.4})$$

Flimmeremission vid start

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

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

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

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

Spänningsändringen d kan uttryckas som

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

där k_f är flimmerstegsfaktorn beräknad ur spänningsändringen under startförloppet. Ekvation (B3.7) insatt i (B3.6) ger:

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

Om approximationen

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

insättes i (B3.8) fås

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

Flimmeremissionen P_{lt} beräknas för 2 timmar, det vill säga $t=7\ 200$ sekunder.

Om spänningsändringens formfaktor antas vara $F=1$ kan (B3.10) skrivas:

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

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

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

En enskild last i 40–130 kV nät ska enligt *IEC 61000-3-7* inte ge upphov till en flimmeremission överstigande $P_{lt}=0,25$. Om $P_{lt}=0,25$ insättes i (B3.12) fås erforderlig kortslutningseffekt som:

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

Flimmeremission under drift

Flimmerbidraget från enskild produktionsenhet under drift kan beräknas utifrån flimmerkoefficienten, $c_f(\Psi_k)$:

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

vilket ger en erforderlig kortslutningseffekt på:

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

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

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

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

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

där k är antalet produktionsenheter.

Sammanlagd flimmeremission från flera olika produktionsenheter kan summeras enligt:

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

BILAGA 4 OFFERTFÖRFRÅGAN FÖR ANSLUTNING AV PRODUKTIONSANLÄGGNING

Undertecknad anholder härmed om offert för anslutning av nedanstående produktionsanläggning.

Kategori: Vind Sol Vatten Annat: _____

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

Fabrikat: Typ:

Antal enheter:

- Totalt abonnerad effekt (inmatning) MW
- Produktionsenhetens referenseffekt (P_{ref}): MW/enhet
- Maximal effektproduktion P_{max} (10 minuters medelvärde): MW/enhet
- Maximal effektproduktion (0,2 sekunders medelvärde) MW/enhet
- Uttagen reaktiv effekt vid märkspänning:
 - Vid tomgång Mvar/enhet
 - Vid referenseffekt med kompensering: Mvar/enhet
 - Vid referenseffekt utan kompensering: Mvar/enhet
- Maximalt uttag av reaktiv effekt under drift vid mät punkt: (10 minuters medelvärde) Mvar/enhet
- Produktionsenhetens märkspänning: kV
- Produktionsenhetens märkeffekt: MVA

Handlingar och uppgifter som ska bifogas:

- spänningsnivån för angivna testvärden
- namn på anläggningens innehavare
- mät rapport (typprovning) visande fasspänningarna eller huvudspänningarna före och under minst 3 på varandra följande urkopplingsförlopp
- 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 (*i tillämpliga fall*)

Kortslutningsvinkel (Ψ_k)	30°	50°	70°	85°
Spänningsändringsfaktor (k_n) ≤				
Flimmerstegfaktor (k_f) <				
Flimmerkoefficient (c_f) <				

Redovisning av övertonsströmmar och mellantonström

Ordning	Utmatad Effekt	Övertonsström	Ordning	Utmatad 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 (MW) vid maximalt effektivvärde av total övertonsström

Maximalt effektivvärde för diskret mellantonström angivet som % av I_n

Uteffekt (MW) vid maximalt effektivvärde av diskret mellantonström

Datum:

Underskrift: _____

Namnförtydligande:

Produktionsanläggningens leverantör

Datum:

Underskrift: _____

Namnförtydligande:

Produktionsanläggningens innehavare

