



Anslutning av produktionsanläggningar till mellanspänningsnätet – AMP

Förord

Denna webbaserade upplaga av handbok AMP, *Anslutning av produktionsanläggningar till mellanspänningsnätet* (tidigare *Anslutning av Mindre Produktionsanläggningar till elnätet*¹), är en komplettering och omarbetning av tidigare utgåvor (utgåva 1 från 1999 till utgåva 4 från 2011). Vidare kan *mindre produktionsanläggningar* idag vara avsevärt mycket större än vad de var 1999. Föreliggande version av AMP-handboken är anpassad efter EU:s regelverk och nätkoder, främst den så kallade RfG:n (Requirements for Generators²) 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. Lokala nätförhållanden kan ha en avgörande inverkan, vilket gör att mindre produktionsanläggningar anslutna till lokalnät kan ha en signifikant påverkan på regionnät. I AMP-handboken behandlas kraftproduktionsmoduler av typerna A, B och C³, som ansluts till mellanspänningsnätet, där inverkan på förhållandena i regionnätet i de allra flesta fall är liten. Skulle inverkan på regionnätet bli påtaglig bör även ASP-handboken konsulteras. För anslutningar av kraftproduktionsmoduler av typ D, dvs anslutning av 30 MW eller mer eller anslutning till 110 kV eller högre spänning, hänvisas till ASP-handboken. För anslutning till lågspänningsnätet hänvisas till ALP-handboken.

Den reviderade AMP-handboken utgör en del av den webbaserade handboken HAP, *Handbok för anslutning av elproduktion*, som även innefattar ASP-handboken (*Anslutning av större produktionsanläggningar till elnätet*) och ALP-handboken (*Anslutning av elproduktion till lågspänningsnätet*). ASP-handboken gäller för anslutningar av produktionsanläggningar som huvudsakligen gör inverkan på förhållandena i regionnätet, och behandlar kraftproduktionsmoduler av typerna C och D, samt all havsbaserad produktion. 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 AMP används och ange version och datum om hänvisningar görs till dokumentet. Vidare är det alltid användarens skyldighet att kontrollera att de i AMP hänvisade standarder och föreskrifter är giltiga och att inga nya utgåvor har utkommit.

¹ Förkortningen AMP har behållits, men den ska utläsas något annorlunda för att poängtera anslutning till mellanspänningsnätet

² KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EU) 2016/631 av den 14 april 2016 om fastställande av nätföreskrifter med krav för nätanslutning av generatorer

³ Enligt indelningen i kommissionens förordning (EU) nr 2016/631

Innehåll

Förord	3
1. Inledning	7
2. Regelverk, standarder och branschpraxis	8
2.1 EU-förordningar	8
2.1.1 EU-förordning (2016/631)	8
2.1.1.1 Ny roll för elnätsföretagen	11
2.1.1.2 Nya ansvarsområden för produktionsägare (RfG Art 40)	12
2.1.2 EU-förordning om drift av överföringssystemet (2017/1485)	12
2.2 EU-direktiv	12
2.2.1 EMC-direktivet (2014/30/EG, av den 26 februari 2014)	13
2.2.1.1 Skydds krav	13
2.2.1.2 Särskilda krav för fasta installationer	13
2.2.2 Maskindirektivet (2006/42/EG, av den 17 maj 2006)	13
2.3 Svenska lagar	14
2.3.1 Ellagen (1997:857)	14
2.3.2 Elsäkerhetslag (2016:732)	14
2.3.3 Miljöbalken (1998:808)	14
2.4 Svenska förordningar	14
2.5 Föreskrifter	15
2.5.1 Energimarknadsinspektionens författningssamling	15
2.5.2 Elsäkerhetsverkets författningssamling	16
2.6 Standarder och branschpraxis	16
2.6.1 Standarder	17
2.6.2 Branschdokument	18
2.6.3 Enskilda tekniska riktlinjer	19
3. Administrativa anvisningar	20
3.1 Förfrågan / Offertförfrågan / Beställning / Föranmälan	21
3.2 Prisindikation	21
3.3 Projekteringsavtal / Offertavgift	22
3.4 Offert	22
3.5 Beställning / Föranmälan	22
3.6 Färdiganmälan och drifttagning	22
4. Anslutning och drift	24
4.1 Installation och dimensionering	25
4.2 Krav på driftegenskaper	25
4.2.1 Reglerförmåga för aktiv effekt	25
4.2.2 Reaktivt effektutbyte, spänningshållning och faskompensering	28
4.2.3 Störningstålighet	29
4.2.4 Start och stopp av elproduktionen	31

4.2.5	<i>Nedstyrning vid nätproblem</i>	32
4.2.6	<i>Ödrift</i>	32
4.3	Kommunikation och datautbyte	33
5.	Säkerhet och skydd	34
5.1	Personsäkerhetsansvar	34
5.1.1	<i>Arbetsmiljölagen - Allmänna skyldigheter</i>	34
5.1.2	<i>Elsäkerhet vid elarbeten i produktionsanläggning</i>	35
5.1.3	<i>Personsäkerhet vid användning av mätutrustning</i>	35
5.1.4	<i>Jordfelsbrytare</i>	35
5.2	Anläggningsansvar	35
5.3	Elinstallationsarbete	36
5.4	ESA – Elsäkerhetsanvisningar	36
5.4.1	<i>Driftorganisation</i>	36
5.4.2	<i>ESA Organisation</i>	36
5.5	Jordning och åskskydd	38
5.6	Reläskydd och felbortkoppling	38
5.6.1	<i>Över- och underfrekvensskydd</i>	40
5.6.2	<i>Trefasigt över- respektive underspänningsskydd</i>	40
5.6.3	<i>Kortslutningsskydd / Överströmsskydd</i>	41
5.6.4	<i>Jordfelsskydd</i>	42
5.6.5	<i>Skydd mot oönskad ödrift</i>	42
5.6.6	<i>Bakeffektskydd</i>	43
5.6.7	<i>Osymmetriskydd</i>	44
5.7	Övriga skyddskrav och skyddsanordningar	44
5.8	Märkning	45
5.9	Drift- och underhållssäkerhet	45
6.	Mätning	46
6.1	Installationsbestämmelser	46
6.2	Mätning av överförd el	46
6.3	Ackreditering för kontroll av mätare och mätsystem	47
7.	Dimensioneringsförutsättningar - Elkvalitet	48
7.1	Snabba Spänningsvariationer	48
7.1.1	<i>Enstaka snabba spänningsändringar</i>	49
7.1.2	<i>Flimmer</i>	50
7.2	Långsamma spänningsvariationer	51
7.3	Övertoner och mellantoner	52
7.4	Övertonsanalys och åtgärder	53
7.5	Olika produktionsslags påverkan på nätet	54
8.	Beräkningsmetoder	55
8.1	Maximal spänningsnivåändring vid frånkoppling av en produktionsanläggning	55
8.2	Långsamma spänningsvariationer	55
8.3	Flimmer	55
8.3.1	<i>Start av vindkraftverk</i>	55

8.3.2	<i>Drift av vindkraftverk</i>	56
8.3.3	<i>Beräkning av flimmervärdet i olika punkter i ett nät</i>	57
8.4	<i>Övertoner</i>	57
	Bilagor	59
Bilaga 1	Flödesscheman för beräkningar	60
Bilaga 2	Ordförklaringar	64
Bilaga 3	Härledning av ekvationer för dimensionering av elnät	67
Bilaga 4	Beräkningsexempel	71
Bilaga 5	Offertförfrågan för anslutning av produktionsanläggning	82

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 större produktionsanläggningar, ASP*. Dessa handböcker för anslutning av elproduktion ger en utmärkt vägledning även för producenter och entreprenörer.

Denna handbok ger anvisningar för nyanslutning av produktionsanläggningar av typen A, B eller C, med de övre effektgränserna 1.5, 10 respektive 30 MW, till mellanspänningsnätet. Det är upp till respektive nätbolag 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 på mellanspänningsnätet och fortsatt hålla en fullgod elleverans till samtliga kunder.

2. Regelverk, standarder och branschpraxis

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 elnätsföretagets nätverksamhet. Elsäkerhetsverket utövar tillsyn av elektriska starkströmsanläggningar, elektrisk materiel 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 nätägares 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 medlemsstater 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 kallad generatorkoden eller RfG:n, Requirements for Generators⁴). 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.

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 -

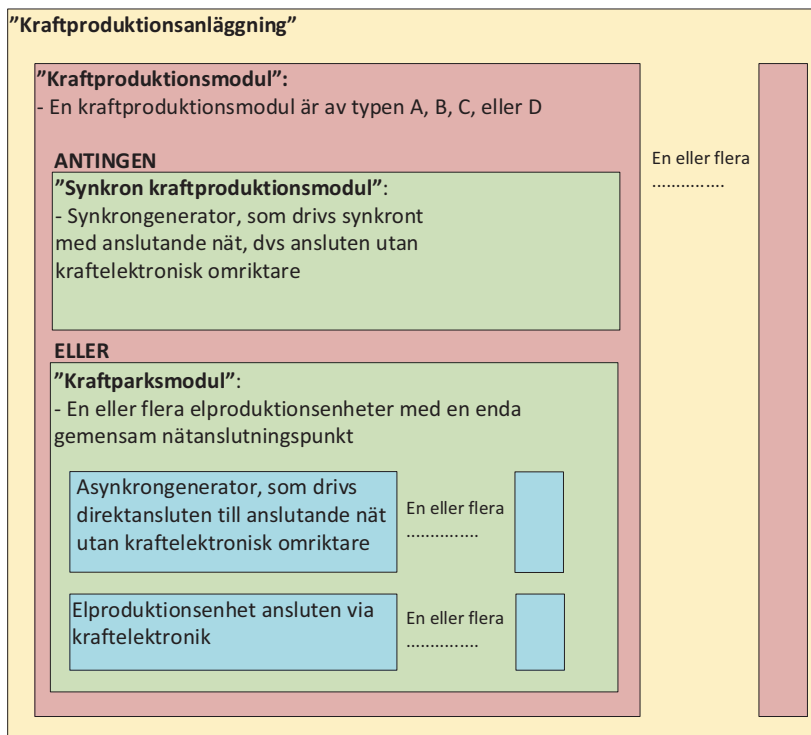
⁴KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EU) 2016/631 av den 14 april 2016 om fastställande av nätföreskrifter med krav för nätanslutning av generatorer

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**.

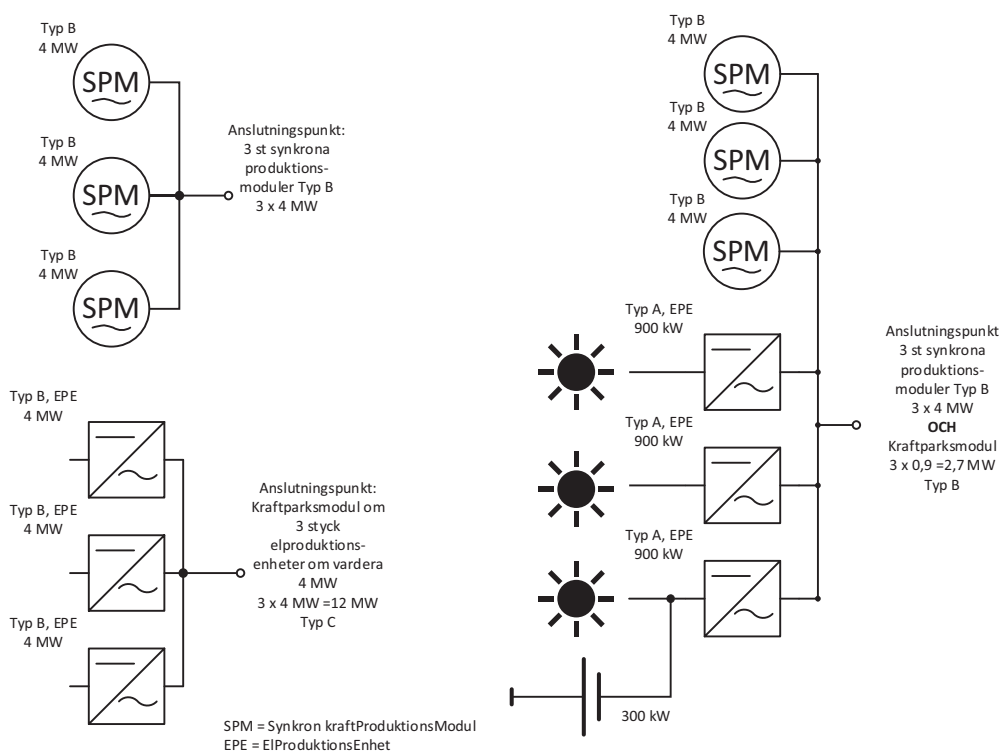


Figur 1. Nomenklatur och begrepp för en produktionsanläggning och dess komponenter.

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

En kraftparksmodul utgörs av samtliga direktanslutna asynkrogeneratorer 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, elenergilagring, etcetera, inom kundanläggningen.

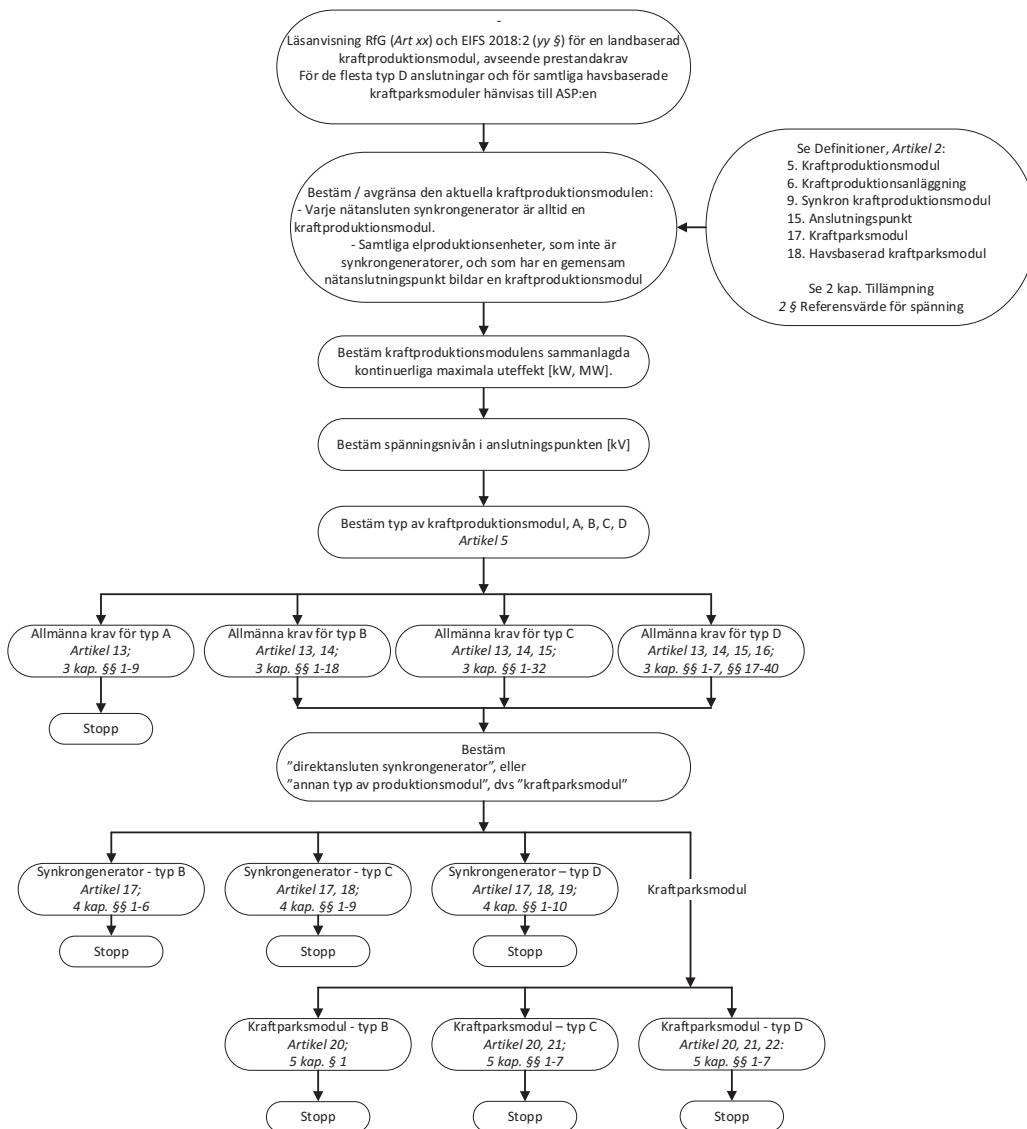
Figur 2 visar hur kraftproduktionsmoduler, eventuellt hela kraftproduktionsanläggningar, typbestäms, för att rätt kravbild, enligt RfG:n ska tillämpas. Synkrogeneratorer (synkrona kraftproduktionsmoduler) är alltid individer och typbestäms efter maximal kontinuerlig effekt, medan direktanslutna asynkrogeneratorer 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 behöver justeras (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 en delvis ny roll genom den tydligt uttalade skyldigheten att vägra att 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).

Elnätföretagets 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 transmissionsnätoperatörerna (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. Svenska kraftnät har därför tagit fram ytterligare krav med syfte att säkerställa driftsäkerheten, vilket ligger i linje med målen för förordningen.

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 ansluten till ett mellanspänningsnät 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 kap. 8 finns kompletterande föreskrifter.

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

Bestämmelserna i EMC-direktivet gäller utrustnings elektromagnetiska kompatibilitet. Syftet är att säkerställa EU-marknadens funktion genom krav på att utrustning 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

Utrustning 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.

2.2.1.2 Särskilda krav för fasta installationer

En fast installation ska installeras enligt god branschpraxis och i enlighet med informationen om hur dess komponenter är avsedda att användas för att uppfylla gällande skyddskrav. God branschpraxis ska dokumenteras och den eller de ansvariga personerna ska hålla dokumentationen tillgänglig för kontroll för berörda nationella myndigheter så länge som den fasta installationen är i drift. All elproduktion ska vara fast ansluten⁵.

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.

⁵Viss reservkraft behöver inte vara fast ansluten, men måste vara kopplad via trevägskopplare för att undvika sammankoppling med matande nät.

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 bland annat ansvar för skada genom inverkan av el från starkströmsanläggning, produktansvar vid skada orsakad av säkerhetsbrist, samt skadestånd vid driftstörning på elektrisk anläggning.

2.3.3 *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 (2016:742) med instruktion för Energimarknadsinspektionen tilldelar Energimarknadsinspektionen ansvaret för tillsyn, regelgivning och tillståndsprövning enligt ellagen.

Elsäkerhetsförordning (2017:218) innehåller säkerhetsbestämmelser för elektrisk materiel samt de krav som gäller vid elinstallationsarbete som avser utförande, ändring eller reparation av en elektrisk starkströmsanläggning. Förordningen innehåller även 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.

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

Förordning (2007:215) om undantag från kravet på nätkoncession 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 kap. 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 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) tilldelas Energimarknadsinspektionen ansvaret för tillsyn, regelgivning och tillståndsprövning enligt ellagen. Följande föreskrifter är av speciellt intresse i samband med anslutning av produktion till mellanspänningsnätet:

- 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)

Vidare så förbereder Energimarknadsinspektionen föreskrifter om datautbyte mellan transmissionsnätsföretag, distributionsnätsföretag och betydande nätanvändare.

Dessa föreskrifterna kompletterar Kommissionens förordning (EU) 2017/1485 om riktlinjer för driften av elöverföringssystem. De kommande föreskrifterna om datautbyte berör strukturella data, planeringsdata, prognosdata, och realtidsdata. Även avbrottsplaner förväntas hanteras av den kommande föreskriften.

2.5.2 *Elsäkerhetsverkets författningssamling*

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

- 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.

2.6 STANDARDS 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 leverans kvalitet.

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 kap, 1 §, 3 st.). 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 50549-2: Fordringar på generatoranläggningar för anslutning i parallell drift med elnät - Del 2: Anslutning till mellanspänningsnät - Generatoranläggningar upp till och med typ B. Standarden finns tillgänglig på engelska och beskriver krav på produktionsanläggningar av typ A och B.
- 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 testprocedurer 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 som installatör eller montör, 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 standarderna SS-EN 61936-1 och SS-EN 50522 i svensk översättning.
- IBH 14 - Anslutning av kundanläggningar 1-36 kV till elnätet.
- 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. Se även NÄT 2012 K (rev 2) och N (rev), pkt 3.7.
- Färdiganmälan. Anmälan inlämnad av registrerat elinstallationsföretag till elnätsföretaget avseende färdigställande av elinstallationsarbete enligt föregående inlämnad föranmälan. Se även NÄT 2012 K (rev 2) och N (rev) pkt 3.8.
- NÄT 2012 H (rev), Allmänna avtalsvillkor för anslutning av elektriska högspänningsanläggningar till elnät och överföring av el till eller från sådana anläggningar.
- Anslutning Mätning Installation (AMI), är en webbaserad handbok utgiven av Energiföretagen Sverige, där man snabbt och enkelt finner svaren på många viktiga frågor i samband med anslutning av produktionsanläggningar till elnätet.

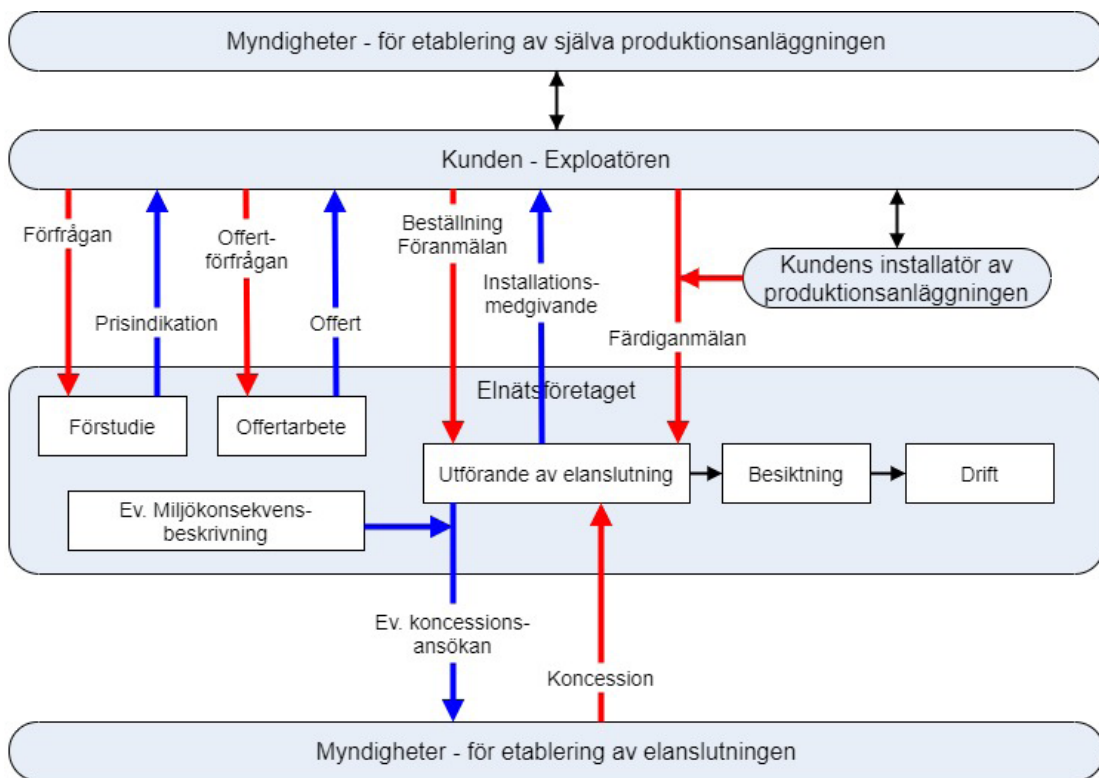
- Anslutning av produktion till lågspänningsnätet – ALP, utgiven av Energiföretagen Sverige.
- Anslutning av produktionsanläggningar till mellanspänningsnätet – AMP, föreliggande handbok, utgiven av Energiföretagen Sverige.
- Anslutning av större produktionsanläggningar till elnätet – ASP, utgiven av Energiföretagen Sverige.

2.6.3 *Enskilda tekniska riktlinjer*

Förutom branschgemensam praxis har respektive elnätsföretag sina specifika rutiner i samband med anslutning och drift av produktionsanläggningar. Dessa finns oftast på företagets hemsida.

3. Administrativa anvisningar

Elnätsföretaget har ansvar för elsäkerhet 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** illustreras de olika momenten och deras inbördes ordning.



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

För elproduktionsanläggningar om maximalt 1,5 MW får det anslutande elnätsföretaget, för överföring av el, endast fakturera kostnaden för mätning, beräkning och rapportering. Därutöver ska innehavaren betala en engångsavgift för anslutningen. (Ellagen 4 kap, 10 §)

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 / OFFERTFÖRFRÅGAN / BESTÄLLNING / FÖRANMÄLAN

För att elnätsföretaget ska kunna lämna en bindande offert på elanslutningen för produktionsanläggningen, måste kunden lämna en skriftlig offertförfrågan. Vid mindre produktionsanläggningar inkommer vanligtvis kunden med en föransmälan direkt. 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 föransmälan ska vara skriftlig och bör innehålla följande:

- Kontaktuppgifter
- Ifylld AMP-blankett (se *Bilaga 5*)
- Antal, fabrikat, och typ av kraftproduktionsmodul
- Anläggningens totala effekt
- Anläggningens plats (fastighetsbeteckning/karta/koordinater⁶/anslutningsvägar)
- Preliminär tidplan

Normalt ges kunden en prisindikation, för att ge kunden möjlighet att bedöma produktionsanläggningens lönsamhet innan kunden förbinder sig till en mer kostsam och tidskrävande förprojektering. 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).

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, etc.) anges om så är möjligt.

⁶ Sweref 99 eller av elnätsföretaget angivet koordinatsystem

3.3 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 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 offererade anslutningsavgiften. Ett alternativ till projekteringsavtal är att ta ut en offertavgift, som ska baseras på de kostnader elnätsföretaget har för att kunna offerera anslutningen. Offertavgiften avräknas vid beställning, men är förverkad om beställning uteblir.

3.4 OFFERT

En bindande 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 bindande offert bör innehålla:

- Teknisk kravspecifikation avseende den aktuella anslutningspunkten
- Anslutningsavgift
- Offertens giltighetstid, t ex 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 av produktionsanläggningen. Vad tidplanen ska innehålla framgår av *Energimarknadsinspektionens föreskrifter om utformning av tidsplaner avseende anslutning av elproduktionsanläggningar* (EIFS 2015:3).

3.5 BESTÄLLNING / FÖRANMÄLAN

En skriftlig föransmälan ska göras till aktuellt elnätsföretag för elinstallationsarbete som kräver ny eller ändrad servis eller större utbyggnad av en installerad 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.

3.6 FÄRDIGANMÄLAN OCH DRIFTTAGNING

Före första tillkoppling av en produktionsanläggning ska anläggningen färdiganmälas av auktoriserat elinstallationsföretag, samt nätavtal ha ingåtts. 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 föransökan ska nya uppgifter samt eventuellt nytt kopplingsschema inlämnas för godkännande av elnätsföretaget.

Elnätsföretaget ska innan drifttagningen 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 29-35), lämnat sitt medgivande. För att utfärda driftsmeddelande, ett för varje ny kraftproduktionsmodul, begär elnätsföretaget in information dels om varje enskild kraftproduktionsmodul, dels om kraftproduktionsanläggningen som sådan. För typ A sker informationsutbytet via ett *installationsdokument*, som är lite enklare till sin utformning, och för typ B och C sker informationsutbytet via ett så kallat KPM-dokument (*dokument för kraftproduktionsmodul*), som innehåller mer information. För kraftproduktionsmoduler typ C ska dessutom en simuleringsmodell tillhandahållas som korrekt återspeglar kraftproduktionsmodulens driftegenskaper i simuleringar av både stationärt tillstånd och dynamiska förlopp, samt för elektromagnetiska transienter, om den systemansvarige så begär.

För kraftproduktionsmoduler av typ B och C ska produktionsägaren 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

Elnätsföretaget ska efter godtagande av ett fullständigt och tillfredsställande KPM-dokument utfärda ett slutligt driftsmeddelande till ägaren av kraftproduktionsanläggningen.

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 förstärka sina anläggningsdelar, med avseende på:

1. Felströmsnivåer. Alla komponenter i kraftsystemet måste uthärda de felströmmar som de kan utsättas för.
2. Belastningsströmmar. Kraftsystemets komponenter måste uthärda 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 svarar för sitt nät, medan anläggningsägaren ansvarar för felbortkoppling inom produktionsanläggningen och eventuellt icke koncessionspliktigt nät.

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

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

Produktionsanläggningar med tillhörande utrustning ska vara utförda och uppställda 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 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. 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 kap, 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 standarder till anslutna kunder, t ex:

- 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)*

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*.

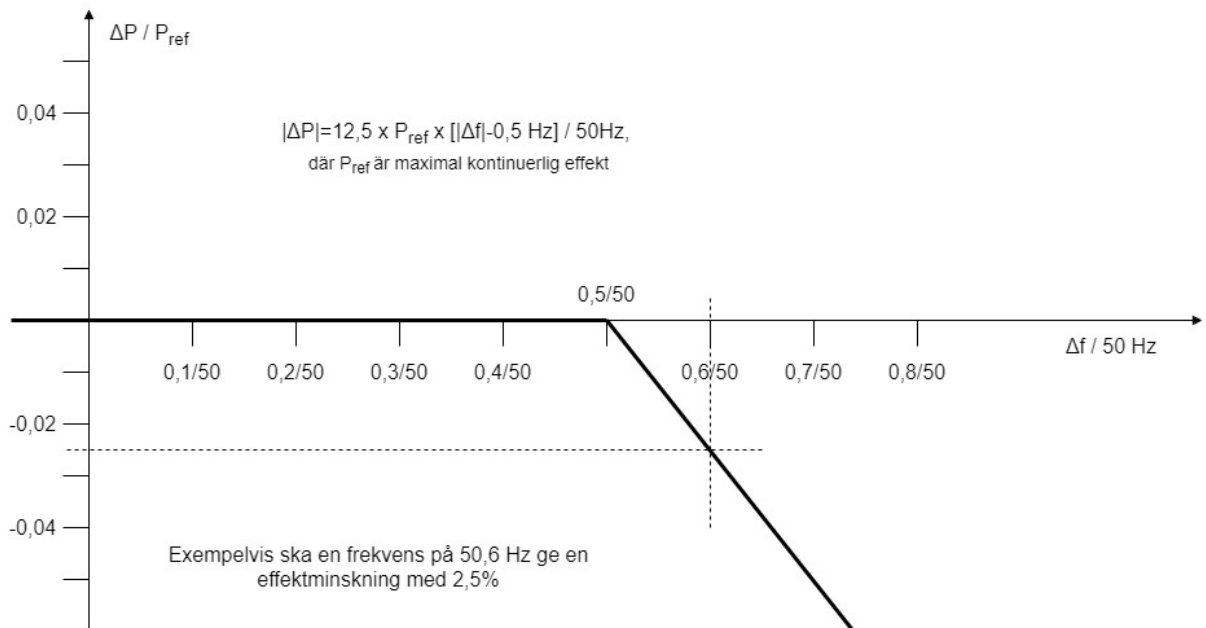
4.2.1 Reglerförmåga för aktiv effekt

För kraftproduktionsmoduler av typ A och B gäller förutom krav på bibehållen nätanslutning inom specificerade frekvensband, även krav på nedreglering vid överfrekvens och begränsad rätt att minska inmatningen vid låg frekvens (RfG, Art 13, 14).

För kraftproduktionsmoduler av typ C gäller förutom kraven för typ A och B enligt ovan 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 vara utrustade för kontinuerlig frekvensreglering

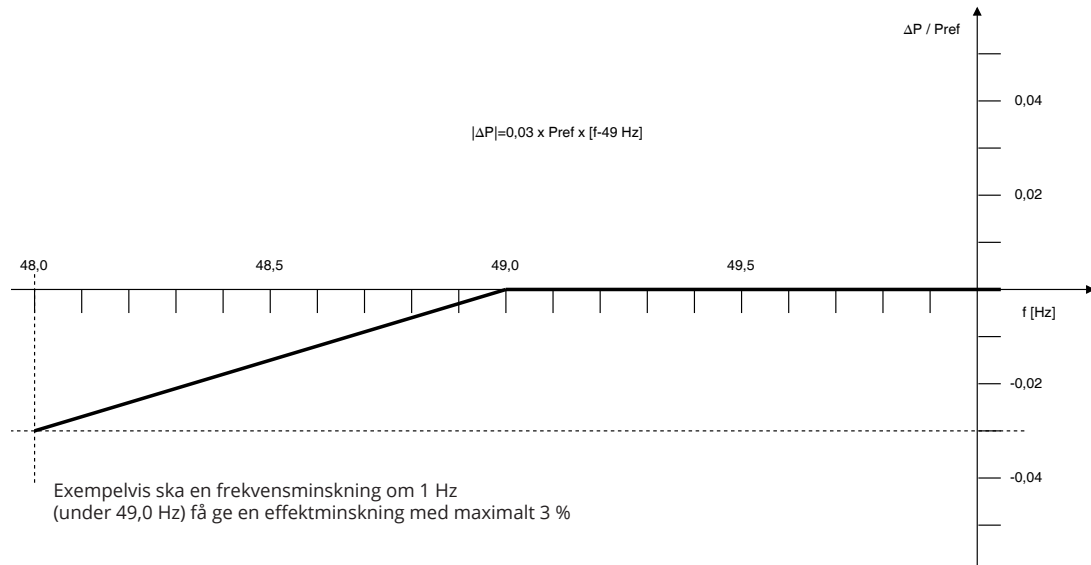
med statik. Här ställs även krav på reglersnabbhet. (RfG, Art 15).

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 kap 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 kap 3 §). *Funktionen ska aktiveras med en inledande fördröjning så kort som möjlig: < 2s.*



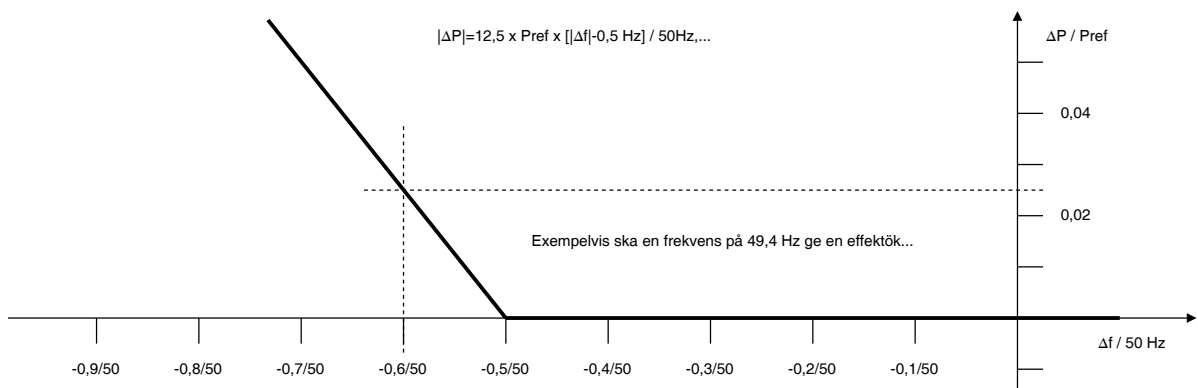
Figur 5. Krav på effektreduktion vid överfrekvens i LFSM-O, baserad på statikfaktorn 8 % (vilket ger faktorn 12,5).

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



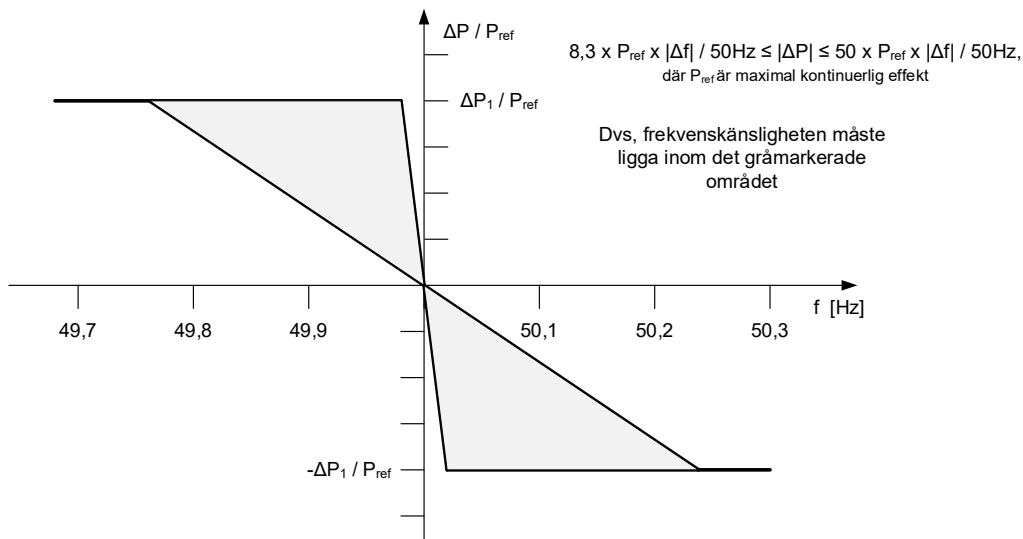
Figur 6. Maximalt tillåten effektreduktion vid underfrekvens, för typ A, B, C, och D.

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 kap 20 §).



Figur 7. Krav på frekvenssvar vid låg frekvens i LFSM-U.

Kraftproduktionsmoduler av typ C och D ska kunna aktivera drift i frekvenskänslighetsläge (FSM). FSM ska endast vara aktiverat om Svenska kraftnät beordrar det, se **Figur 8** (RfG art 15:2, EIFS 2018:2, 3 kap 23 §). Kraftproduktionsmoduler av typ C och D ska för drift i frekvenskänslighetsläge (FSM) arbeta med ett intervall för aktiv effekt i förhållande till maximal kontinuerlig effekt om 5–10 procent, dvs $\Delta P1/P_{ref}$ ska ligga i intervallet 0,05 till 0,10. EIFS 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 8,3 respektive 50); dödbandet om +/- 100 mHz är inte uttritat i figuren.

4.2.2 Reaktiv effektutbyte, spänningshållning och faskompensering

En produktionsanläggning har i regel inverkan på elnätsföretagens effekt- och energiuttag från ovanliggande nät. Hög produktion ger lägre aktivt uttag, medan utgångspunkten för reaktiv effektutbyte mellan en produktionsanläggning och ett matande mellanspänningsnät är att den ska hållas på ett minimum för att förhindra onödiga förluster i nätet. I vissa fall kan elnätsföretaget villkora anslutningen med att produktionsanläggningen på lämpligt sätt bidrar till spänningsregleringen, t ex genom att kompensera för spänningspåverkan av den egna produktionen. Normalt finns de tre olika driftmoderna: spänningsreglering, reaktiv effekterreglering, respektive $\cos(\varphi)$ -reglering. Faskompensering i produktionsanläggningen minskar behovet av utbyte av reaktiv effekt med ovanliggande nät. Produktionsanläggningar med asynkrona maskiner förses vanligen med kondensatorer som faskompensering, som automatiskt kopplas in och ur i proportion till den aktiva effektens variationer. För omriktaransluten produktion handlar det om en dimensionering av omriktaren och dess kontrollsystem. Används en konstruktion med omriktaranslutning av produktionsmodulen, finns större möjlighet att snabbt och kontinuerligt styra den reaktiva effekten. Metoden innebär även att det inom vissa ramar går att reglera spänningen för att uppnå önskad spänningsnivå i anslutningspunkten vid produktion.

För synkrona kraftproduktionsmoduler och för kraftparksmoduler om 1,5 MW och mer ger RfG:n (Art 17, 20) elnätsföretaget möjlighet att ställa krav på förmågan att tillhandahålla reaktiv effekt. För synkrona kraftproduktionsmoduler och för kraftparksmoduler om 10 MW och mer ger RfG:n (Art 18, 21) förutom elnätsföretaget även Svenska kraftnät möjlighet att ställa krav på förmågan att tillhandahålla reaktiv effekt.

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 kap, 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 kap, 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 kap, 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 kap, 3§).

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, t ex lindningskopplarreglering i matande 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.

Asynkrongeneratorer ska förses med faskompenseringsutrustning.

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

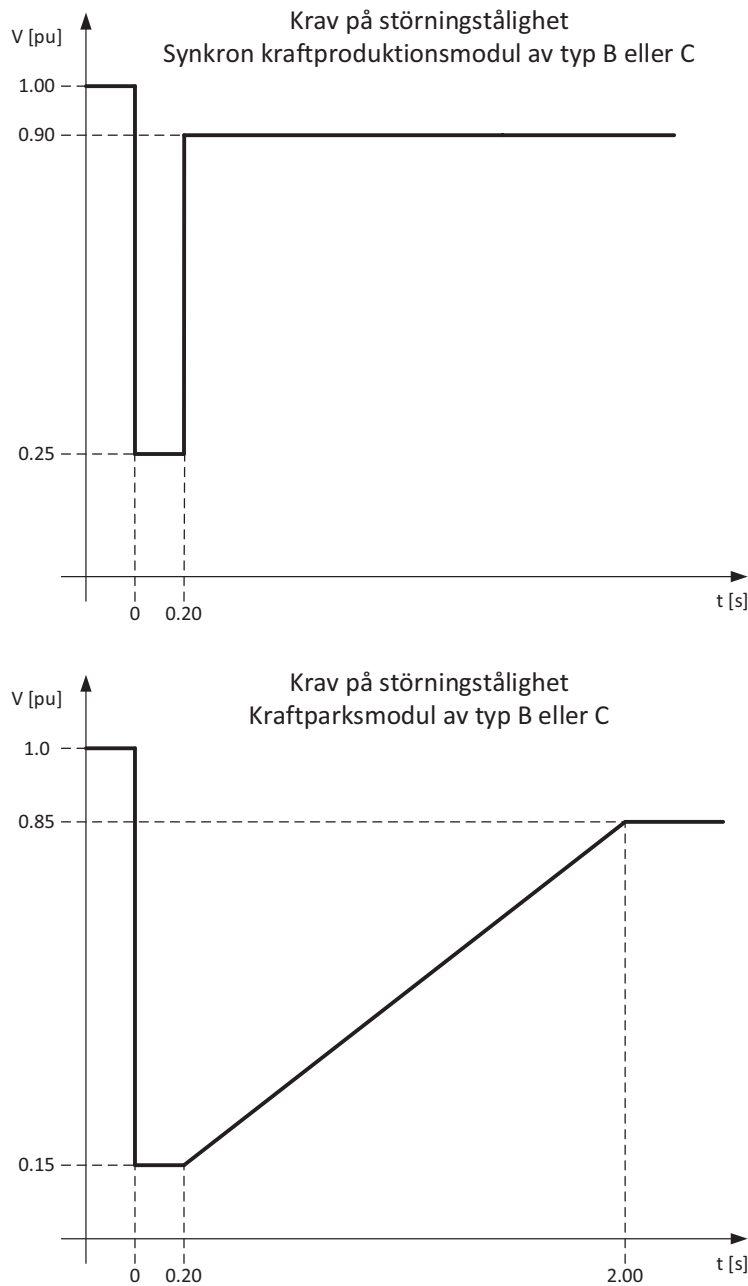
4.2.3 Störningstålighet

Störningstålighet för produktionsanläggningar av typ A kan delas in i tre kategorier:

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

- Åskstörningar i anslutande nät kan ge upphov till spänningsdippar eller överspänningar. För dessa händelser bör innehavaren av produktionsanläggningen avgöra om man önskar frångå sig från nätet för att skydda sin anläggning eller om man önskar kvarstå och därmed undvika onödigt produktionsbortfall.

Kraftproduktionsmoduler av typ B och C har krav på störningstålighet, dvs krav på bibehållen nätanslutning och effektutmatning för en specificerad spänningsprofil i anslutningspunkten, så kallat fault-ride-through (RfG, Art 14, 15; EIFS 3 kap. §§ 11-12), se **Figur 9**.



Figur 9. Krav på störningstålighet, dvs bibehållen nätanslutning för alla spänningsprofiler i anslutningspunkten, som helt och hållet ligger ovanför profilen för $t > 0$.

4.2.4 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 Hz. Nätfrekvensen i 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 kap,

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 ej tillåten

För att kraven på spänningsvariationer ska kunna uppfyllas krävs att elproduktionsanläggningar inte startas eller stoppas för snabbt utan att lindningskopplarna i anslutande nät hinner reglera spänningen. Detta kan vara ett problem exempelvis vid upprepade start och stopp nära maxproduktion. För vindkraftverk motsvarar detta start och stopp i närheten av märkvind.

4.2.5 Nedstyrning vid nätproblem

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

Att frånkoppla en elproduktionsanläggning med hjälp av brytarfrånslag vid full produktion kan innebära stora påfrestningar på anläggningen och även innebära att anläggningsinnehavaren blir tvungen att manuellt återställa anläggningen.

Vid onormal koppling eller störd drift i angränsande delar av elnätet kan det vara nödvändigt att styra ned eller frånkoppla 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 istället för att frånkoppla i de fall där det är möjligt.

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

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

4.2.6 Ödrift

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.

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

4.3 KOMMUNIKATION OCH DATAUTBYTE

Kraftproduktionsmoduler av typ B och C 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. Kommunikationsgränssnittet ska vara utrustat för överföring av åtminstone följande signaler från produktionsanläggningen till elnätsföretagets kontrollrum, i realtid och på ett säkert sätt:

- 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 kunna kontrollera resultatet av den genererade aktiva effekten som frekvenssvar från deltagande kraftproduktionsmoduler.

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 definierat 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 elnätsägaren 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 produktionsanläggningen. 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 Swedac⁷.

⁷ Sveriges nationella ackrediteringsorgan; <https://www.swedac.se/>

5. Säkerhet och skydd

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

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

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 kap, "Allmänna skyldigheter"*). Det är därför arbetsgivarens skyldighet att se till att allt arbete planläggs och anordnas så att en tillfredsställande arbetsmiljö skapas. Kravet på ett systematiskt arbetsmiljöarbete finns konkretiserat i 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 elmaterieförordningen.

Arbetsmiljöverket har till uppgift att kontrollera att maskindirektivets krav efterlevs, framförallt vad gäller arbetsmiljösäkerheten. Elsäkerhetsverket kontrollerar framförallt elsäkerheten och elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) enligt elmaterieförordningen.

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

Inför inkoppling av en elektrisk anläggning, 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 tålighet mot förväntade transienta överspänningar enligt Cat II, III eller IV, vilket framgår av bruksanvisning och av märkning på instrumentet.

5.1.4 *Jordfelsbrytare*

Typ av jordfelsbrytare (A eller B) ska väljas med hänsyn till förekommande driftförhållanden för anläggningen och slag av ansluten elmateriel. Därvid är det viktigt att beakta förekommande likströmskomponenter (ELSÄK-FS 1999:5). Jordfelsbrytare av typ A upphör att fungera vid c:a 6 mA likström. Jordfelsbrytare av typ B är försedda med filter och klarar högre likströmskomponenter. Ansvar för att informera om vilka komponenter som krävs i en elanläggning ligger hos installationsföretaget.

5.2 ANLÄGGNINGSANSVAR

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

Innehavaren av en produktionsanläggning ska fastställa anvisningar för att förebygga skada orsakad av el, i de fall då svensk standard måste kompletteras där anläggningens beskaffenhet eller skötsel så kräver det. Elsäkerhetsanvisningarna (ESA) är ett exempel på sådana anvisningar (dvs annan erkänd standard/praxis) som avses i föreskrifterna för såväl skötsel som arbete. ESA är kraftindustrins gemensamma anvisningar som täcker sådana anläggningar som är vanliga inom branschen.

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 10**. 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 nätägarens driftorganisation ska ske före inkoppling av en produktionsanläggning. Kontaktvägarna bör följa vedertagen praxis enligt ESA.

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 10. 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 som behövs för att ett arbete ska kunna genomföras 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 modulramar, bärställningar, apparatkaplingar, 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, 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 på mellanspänningsnätet bör ventilavledare anslutas i övergången mellan luftledning och kabel. Ventilavledare behövs dessutom, på samma sätt som vid anslutning direkt till en friledning, även i kundens anläggning eftersom åsköverspänningar förstärks genom reflektioner mot kundens transformator och kan uppnå för höga nivåer då kabeln är kortare än 1500 m.

Eventuell systemjordning av 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 (*ELSÄK-FS 2008:1*). En starkströmsanläggning ska enligt föreskrifterna vara utförd enligt god elsäkerhetsteknisk praxis så att den ger betryggande säkerhet mot person- eller sakskada på grund av el. För att uppfylla föreskriftens krav på betryggande säkerhet måste felbortkopplingssystemet var snabbt och tillförlitligt. Reläskyddssystemen ska utformas så att de skyddar

såväl produktionsanläggningen som elnätet, oavsett var felet inträffar. God elsäkerhetsteknisk praxis i fråga om utformning av felbortkopplingssystemet innebär normalt att alla fel, oavsett feltyp (jordfel eller kortslutning) och felläge, ska ha både ordinarie bortkoppling och reservbortkoppling och att dessa i någon mån är oberoende, samt att felbortkopplingstiderna är i enlighet med gällande föreskrifter. Felbortkopplingen ska vara snabb, säker, selektiv och i överensstämmelse med kraven om bibehållen nätanslutning, enligt 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 (ELSÄK-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 skyddsfunktioner:

- 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 skyddsfunktioner:

- över- och underfrekvensskydd
- trefasigt över- och underspänningsskydd
- kortslutningsskydd
- överströmsskydd

- jordfelsskydd
- bakeffektskydd
- 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 t ex vara olämpligt med överströmsskydd, och man tvingas anskaffa underimpedansskydd.

Elsäkerhetsverkets föreskrifter innehåller endast ett fåtal detaljbestämmelser för produktionsanläggningar. ELSÄK-FS 2008:1, (3 kap, 1-5§), anger de grundläggande säkerhetskraven rörande skyddfunktioner som ska uppfyllas. Om svensk standard tillämpas som komplement till föreskrifterna anses anläggningen utförd enligt god elsäkerhetsteknisk praxis.

För produktionsanläggningar av typ A, B och C anslutna till mellanspänningsnätet 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 ödrift samt för att inte förvärpa uppkomna systemfel i nätet. Förutom att det skyddar elnätet fungerar det också som ett internt skydd i produktionsmodulen genom att skydda mot onormal drift.

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:

- Skyddet ska bryta produktionsmodulens förbindelse med nätet vid en frekvens överstigande 51,5 Hz, med en tidsfördröjning av 0,5 sekunder.

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. Överspänning i kombination med normal eller låg frekvens kan leda till skadlig övermagnetisering av generatoren eller aggregattransformatorn. Underspänningsskyddet kan även indirekt skydda mot överström i vissa lägen. Spänningsskydden bör, så långt möjligt, ställas selektivt mot övriga skydd i nätet.

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

Rekommenderade inställningar för överspänning:

- Ett snabbt skydd som fränkopplar anläggningen för en spänning överstigande

- 120 %, med en tidsfördröjning om 0,2 s.
- Ett långsamt skydd som frångöper anläggningen för en spänning överstigande 115 %, med en tidsfördröjning om 3 s.

Rekommenderade inställningar för underspänning:

- Ett snabbt skydd som frångöper anläggningen för en spänning understigande 80 %, med en tidsfördröjning om 4 s.
- Ett långsamt skydd som frångöper anläggningen för en spänning understigande 85 %, med en tidsfördröjning om 10 s.

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

5.6.3 Kortslutningsskydd / Överströmsskydd

För skydd mot kortslutning i produktionsanläggningen som matas från nätet kan överströmsskydd i kombination med effektbrytare alternativt smältsäkringar normalt användas. Storleken på produktionsmodulen eller nätimpedansen får avgöra valet av kortslutningsskydd. Det är anläggningsinnehavaren 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:

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

Rekommenderade inställningar för skydd av anslutande nät:

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

5.6.4 Jordfelsskydd

I *Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om hur elektriska*

starkströmsanläggningar ska vara utförda, ELSÄK-FS 2008:1, redovisas allmänna bestämmelser, god elsäkerhetsteknisk praxis, grundläggande säkerhetskrav och särskilda säkerhetskrav för olika anläggningstyper. Av speciellt intresse är att:

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

Rekommenderade inställningar:

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

5.6.5 Skydd mot oönskad 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. 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.

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

I de fall där aktiv och reaktiv effektbalans råder i önätet vid övergången kan det ta lång tid innan 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 fränkoppling 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 s.

5.6.6 Bakeffektskydd

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

Rekommenderade inställningar:

- Fränkoppling inom 5 sekunder efter att produktionsmodulen börjat konsumera aktiv effekt. Effektförbrukningen vid konsumtion varierar beroende på typ av primärenergi, men brukar vara någon eller några procent av märkeffekten. Effektinställningen väljs vanligen till halva värdet för effektförbrukningen vid konsumtion (vanligen generator i motordrift).

5.6.7 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 anslutande elnätet än totalt 2 % minusföljdsspänning, enligt SS-EN-61000-2-12). Normalt ställs osymmetriskyddet efter vad produktionsmodulen tål.

5.7 ÖVRIGA SKYDDSKRAV OCH SKYDDSANORDNINGAR

För att elnätsföretagets personal ska kunna arbeta säkert vid nätägarens mätare och på det matande elnätet, ska låsbar elkopplare med brytförmåga för anläggningens totala märkeffekt monteras i anslutningspunkten till elnätsföretagets nät. Elkopplaren ska sitta lättåtkomligt för nätägaren, helst i direkt anslutning till nätägarens mätare. Ytterligare krav på elkopplare för anläggningar över 1 kV finns i IBH14. I sådana anläggningar ska det vid risk för bakspänning, till exempel från en produktionsanläggning, finnas sektioneringsbrytare både före och efter mätfacket så att det går att frånskilja båda sidorna av mätaren vid arbete i mätfacket.

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

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.

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

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

Produktionsanläggningen 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 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 leverantörens anvisningar.

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

6. Mätning

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

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.

Mätutrustning ska placeras i mätarskåp eller serviscentral utförda enligt SS 430 01 10.

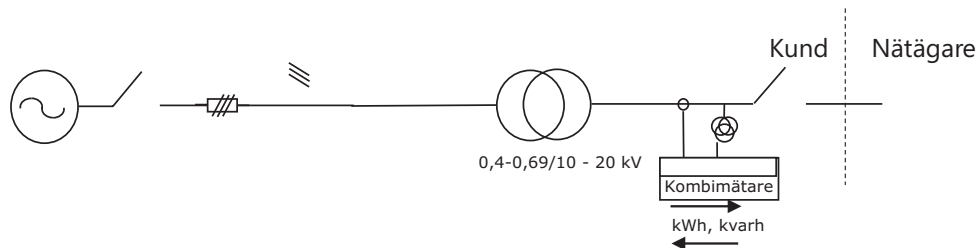
6.1 INSTALLATIONSBESTÄMMELSER

Installation av mätanläggning vid högspänning ska utföras av registrerat elinstallationsföretag. Installation av mätanordning ska vid inomhus kundanläggning utföras enligt *IBH 14 - Anslutning av kundanläggningar 1-36 kV till elnätet*. I bestämmelserna finns bl. a. 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 inmatningspunkten, dvs i den punkt där elproducenten är ansluten till och matar in på elnätsföretagets nät.

Äger producenten t ex en transformator till 10 kV sker mätningen på uppsidan av transformatorn, se **Figur 11**.



Figur 11 Ren inmatningsleverans alternativt kombinerad inmatnings- och uttagsleverans på 10 eller 20 kV.

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 6:e år varför mättransformatorernas primär- och sekundäranslutningar måste vara enkelt åtkomliga.

Mätsystemet och elmätaren måste utformas så att de fungerar på avsett sätt i den miljö där de installeras. Många elnätsföretag har arbetat fram rutiner och utrustning för att underlätta installation, utbyte och kontroll av mätare samt tillhörande mättransformatorer.

6.3 ACKREDITERING FÖR KONTROLL AV MÄTARE OCH MÄTSYSTEM

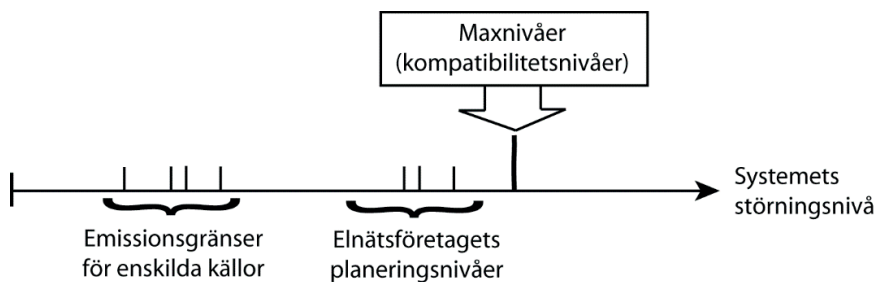
Den som utför kontroll av mätsystem i samband med drifttagning eller återkommande kontroll ska vara ett ackrediterat kontrollorgan av typ A, B eller C. Kontrollorganet ska därvid uppfylla kvalitetsstandard SS-EN ISO/IEC 17020, och rapporterna ska vara försedda med information om att kontrollen utförts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

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 långsamma och dynamiska egenskaper 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 planeringsnivåer⁹ som elnätsföretaget fastställer. Utifrån planeringsnivåerna tilldelas olika kunder olika störutrymme. Då maxnivåerna speglar nätets uppbyggnad så kommer elnätskunders störutrymme att vara olika i olika delar av nätet. Sambandet mellan respektive elnätskunds störutrymme (emissionsgräns), elnätsföretagets planeringsnivåer samt föreskrifternas maxnivåer, som baseras på rimliga kompatibilitetsnivåer för elektriska apparater, är illustrerade i **Figur 12**.



Figur 12, Sambandet mellan respektive elnätskunds störutrymme (emissionsgräns), elnätsföretagets planeringsnivåer samt standardernas maxnivåer.

7.1 SNABBA SPÄNNINGSVARIATIONER

Enstaka snabba spänningsändringar uppstår vid kopplingar i nätet, bortkoppling av produktion, samt vid in- respektive urkoppling av belastningsobjekt. Upprepadesnabba spänningsvariationer kan uppstå till följd av effektpulsationer orsakade av tornskuggan på ett vindkraftverk.

⁹ Mer 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.

7.1.1 Enstaka snabba spänningsändringar

Rekommendationen är att en urkoppling av en produktionsanläggningens 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. En beräkningsmodell för spänningsfallsberäkningar beskrivs i avsnitt 8.1.

Tabell 3: Gränsvärden för maximala spänningsnivåändringar

Maximal spänningsändring vid in- och urkoppling		Motsvarande förhållande mellan kortslutningseffekt och anslutningseffekt
I anutningspunkten 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 kan göra att behovet av kortslutningseffekt blir mindre. Detta bestäms genom mer detaljerade beräkningar och det är spänningens egenskaper som blir avgörande. För att möta krav på snabba spänningsändringar enligt EIFS 2013:1 kan antalet in- och urkopplingar av hela produktionsanläggningens effekt behöva begränsas.

För att begränsa spänningssänkningen vid inkoppling av asynkrongeneratorer, som inte är försedda med särskild startanordning för begränsning av inkopplingsströmmen, ska inkopplingen ske vid 98 – 102 % av det synkrona varvtalet.

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

Spänningsändringar vid start beror i första hand på magnetiseringen av generatoren. Vid inkoppling av asynkrongenerator, t ex för vattenkraft, kan man magnetisera generatoren med kondensatorer före inkoppling mot nätet för att hålla nere inkopplingsströmmen. Det finns exempel på att inkopplingsströmmen utan magnetisering kan bli i storleksordningen 4 gånger märkström, under c:a 1 sekund.

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

Vid avsaknad av värde beräknas spänningsändringen med en spänningsändringsfaktor, $k_u(\Psi_k)=3$.

7.1.2 Flimmer

Regelbundet återkommande snabba spänningsvariationer förorsakar flimmer genom att ljuset från glödlampor varierar med spänningen. Flimmer definieras i *SS-EN 50160* som "visuellt intryck av instabilitet orsakat av ljusintryck som varierar intensitetsmässigt över tiden". Regelbundet återkommande stegvisa spänningsändringar kan bedömas med hjälp av kurvan i **Figur 13**. Det bör i sammanhanget poängteras att en spänningsdipp räknas som två ändringar, dvs först sjunker spänningen (ändring nummer ett) sedan återgår spänningen (ändring nummer två).

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

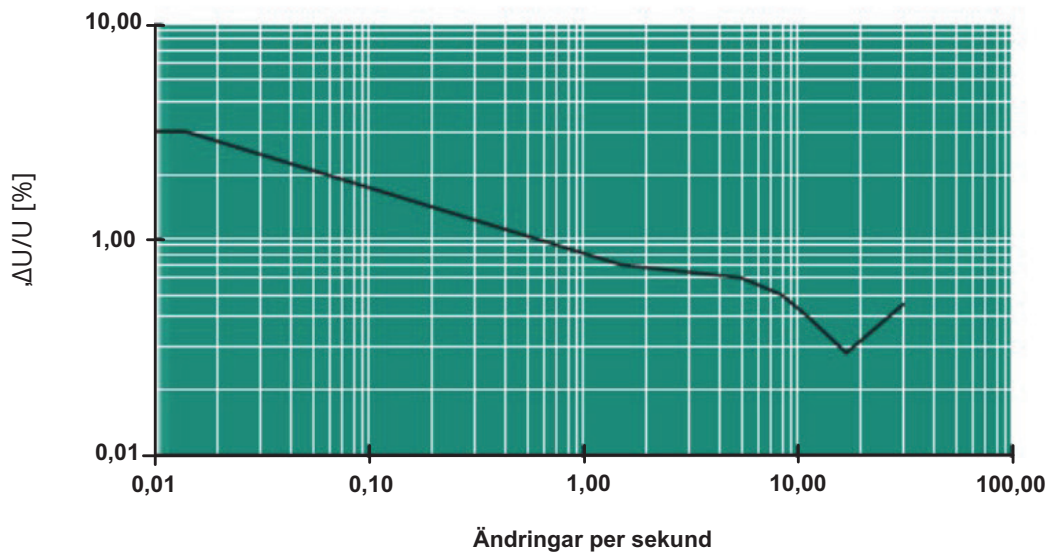
I *SS-EN 61000-2-2* anges kompatibilitetsnivåer för flimmer.

P_{st} är flimrets korttidsvärde mätt över en tiominutersperiod¹⁰.

P_{lt} är flimrets långtidsvärde mätt över en tvåtimmarsperiod¹⁰.

Kurvan i **Figur 13** definierar flimmeremissionen $P_{st}=1$. Enligt **Figur 13** får då inte spänningsändringen överstiga 0,65 % för en flimmeremission motsvarande $P_{st}=1$ som ett viktat genomsnitt över 10 minuter. Enstaka snabba spänningsändringar som förorsakas av strömändring i anslutningen får på motsvarande sätt uppgå till högst 3 % om de inträffar högst en gång under två timmar.

¹⁰ Mer precisa matematiska definitioner av P_{st} och P_{lt} återfinns i *SS-EN 61000-4-15*



Figur 13, 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.

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, $c(\Psi_k)$, krävs då från tillverkaren av vindkraftverket. Saknas värdet beräknas spänningsändringen förorsakad av effektpulsationer med en flimmerkoefficient, $c(\Psi_k) = 20$.

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 2013:1, som beskriver spänningsgodhet i elnät upp till och med 35 kV, anger att effektivvärdet ska ligga inom intervallet $\pm 10\%$ och 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.

I de fall det är aktuellt att beakta långsamma spänningsändringar kontrolleras de två extremfall som kan förekomma, maximal belastning och ingen produktion samt minimal belastning och full produktion. Skillnaden i spänning mellan de två extremfallen rekommenderas då vara max $\pm 3\%$ för alla punkter i nätet.

7.3 ÖVERTONER OCH MELLANTONER

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 3:e tonen. Mellantoner är på motsvarande sätt periodiska ström- eller spänningskomponenter med en frekvens som inte är en heltalsmultipel av grundtonsfrekvensen.

Övertoner och mellantoner kan förekomma såväl i nätspänningen som i strömmen från anslutna objekt. Övertoner i nätspänningen 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:

$$THD = \sqrt{\sum_{i=2}^{i=n} \left(\frac{U_i}{U_1}\right)^2} \quad [\text{Ekv. 7.1}]$$

där U_1 är nätspänningens grundton och U_i är 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** är kompatibilitetsnivåer för system och utrustning. 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.

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

Emission av mellantoner ska undvikas. Förekommer kännedom om att anläggningar kommer att avge mellantoner ska samråd med nätägaren ske redan i projekteringsstadiet. Det har visat sig att solcellanläggningar 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 övertonsnivåerna genom att mäta i nät med anslutna solcellsanläggningar.

Anslutna anläggningar får ej avge likströmskomponent.

7.4 ÖVERTONSANALYS OCH ÅTGÄRDER

Det är viktigt att på ett tidigt stadium få tillverkarens uppgifter om anläggningens emission av övertoner, för att 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 SS-EN 50160. Mätutrustning bör installeras för att registrera övertoner under minst några veckor före anslutningen av en ny

produktionsanläggning, för att kunna analysera produktionsanläggningens påverkan på övertonshalten.

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, småskalig vattenkraft och småskaliga kraftvärmeanläggningar så är vindkraften det produktionsslag där det finns risk för mest 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 7.1.2 och 7.3. *Tabell 5* nedan summerar vilka faktorer som är viktiga att kontrollera för respektive produktionsslag.

Tabell 5: Sammanfattning av nätpåverkansfaktorer för respektive produktionsslag.

	Maximal spänningsändring	Långsam spänningsändring	Övertoner	Flimmer
Vindkraft	Ja	Ja	Ja	Ja
Solceller	Ja	Ja	Ja	Ja
Vattenkraft	Ja	Ja	Nej	Nej
Kraftvärme	Ja	Ja	Nej	Nej

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

8. Beräkningsmetoder

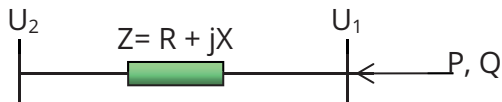
Det här kapitlet beskriver beräkningsmetoder för spänningsnivåändringar, flimmer och övertoner.

8.1 MAXIMAL SPÄNNINGSNIVÅÄNDRING VID FRÅNKOPPLING AV EN PRODUKTIONSANLÄGGNING

Ändringar av spänningsnivån mellan två knutpunkter, se **Figur 14**, som orsakas av inmatad produktion, kan beräknas enligt nedanstående förenklade uttryck.

$$\frac{\Delta U}{U_1} \cong \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U_1^2} \cdot 100\% \quad [\text{Ekv. 8.1}]$$

ΔU är skillnaden mellan spänningen före och efter frånkoppling. Resistans (R) och reaktans (X) utgör nätets kortslutningsimpedans (Z). Vidare ingår inmatad aktiv effekt (P) och inmatad reaktiv effekt (Q). U_1 är i detta fall spänningen innan produktionsbortkopplingen och U_2 är spänningen efter produktionsbortkopplingen, dvs då $P=Q=0$. Beräkningen utförs utan inverkan från andra produktionskällor eller förbrukningsobjekt.



Figur 14, Impedansmodell för beräkning av snabba och långsamma variationer av spänningens nivå.

8.2 LÅNGSAMMA SPÄNNINGSVARIATIONER

De långsamma spänningsvariationerna i nätet beräknas genom att spänningen i nätets olika punkter beräknas för två extremfall, maximal produktion och minimal konsumtion respektive ingen produktion och maximal konsumtion. Samma ekvation som i avsnitt 8.1 används i dessa beräkningar. Om det blir fler än en produktionsanläggning i samma nät alternativt om det är ett stort nät så kan beräkningen snabbt bli ganska omfattande. Det rekommenderas därför att ha en programvara som kan utföra spänningsnivåberäkningarna i samtliga nätpunkter för de två olika fallen.

8.3 FLIMMER

Flimmer förorsakade av produktionsanläggningar kan uppstå både vid start och drift.

8.3.1 Start av vindkraftverk

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

$k_u(\Psi_k)$, som:

$$S_k \geq 25k_{u\max}(\Psi_k)S_{ref} \quad [\text{Ekv. 8.2}]$$

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, $k_u(\Psi_k)=3$.

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, $k_f(\Psi_k)$. Det maximala antalet inkopplingar, N_{120} , under en tvåtimmarsperiod beräknas enligt:

$$S_k \geq 8 \frac{1}{P_{lt}} k_f(\Psi_k) N_{120}^{\frac{1}{3,2}} S_{ref} \quad [\text{Ekv. 8.3}]$$

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

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

$$P_{lt,tot} = \sqrt[3,2]{\sum_k P_{lt,k}^{3,2}} \quad [\text{Ekv. 8.4}]$$

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

8.3.2 Drift av vindkraftverk

Vindkraftverk 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

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} c_f(\Psi_k) S_{ref} \quad [\text{Ekv. 8.5}]$$

Normalt kan avvikelsen på flimmerkoefficient för 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:

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} c_f(\Psi_k) S_{ref} \sqrt{k} \quad [\text{Ekv. 8.6}]$$

där k är antalet produktionsmoduler.

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

$$P_{lt,tot} = \sqrt{\sum_k P_{lt,k}^2} \quad [\text{Ekv. 8.7}]$$

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

8.3.3 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:

$$P_{st_1} = P_{st_2} \cdot \frac{S_{k_2}}{S_{k_1}} \quad [\text{Ekv. 8.8}]$$

där P_{st_1} är flimmer i punkt 1 och P_{st_2} flimmer i punkt 2 och S_{k_1} och S_{k_2} är kortslutningseffekterna i respektive punkter.

8.4 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:

$$i_n = \frac{u_n U^2}{Z_n S_{max}} \quad [\text{Ekv. 8.9}]$$

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

$$Z_n \cong n(X_k + X_l) \quad [\text{Ekv. 8.10}]$$

där X_k är transformatorns kortslutningsreaktans för grundtonen, X_l är reaktansen i ledningen för grundtonen och n är övertonens ordningstal. Med transformatorn avses transformatorn i det överliggande nätet, ej aggregattransformator.

Om flera produktionsenheter ansluts till samma punkt summeras övertonerna som:

$$i_n = \sqrt[\alpha]{\sum_k i_{n,k}^\alpha} \quad [\text{Ekv. 8.11}]$$

där $i_{n,k}$ är överton av ordningstal n från produktionsenhet nummer k och α en exponent som väljs enligt **Tabell 6**.

Tabell 6: Summationsexponent för övertoner.

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

Bilagor

Bilaga 1 Flödesscheman

Bilaga 2 Ordförklaring

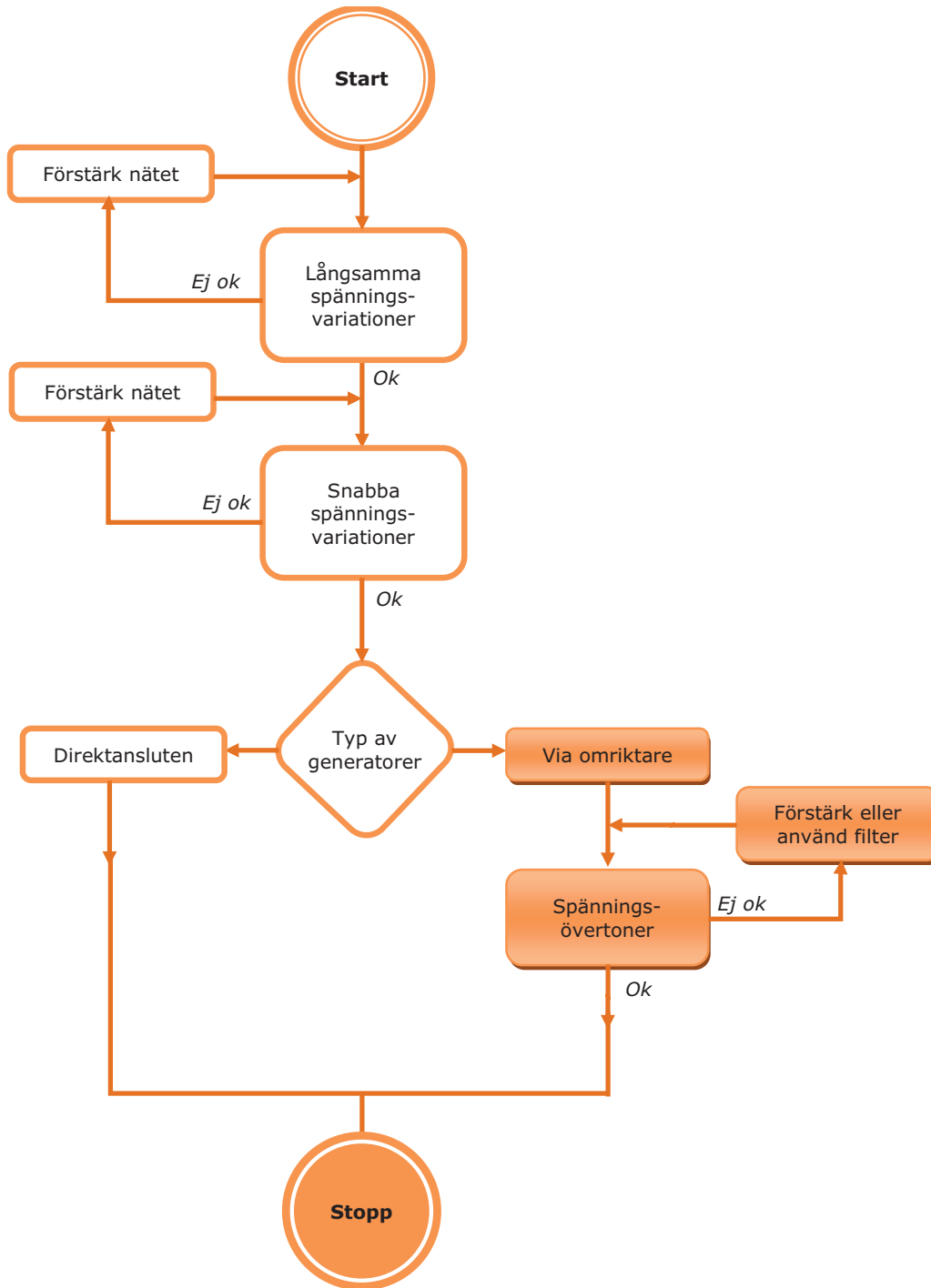
Bilaga 3 Härledning av ekvationer för dimensionering av elnät

Bilaga 4 Beräkningsexempel

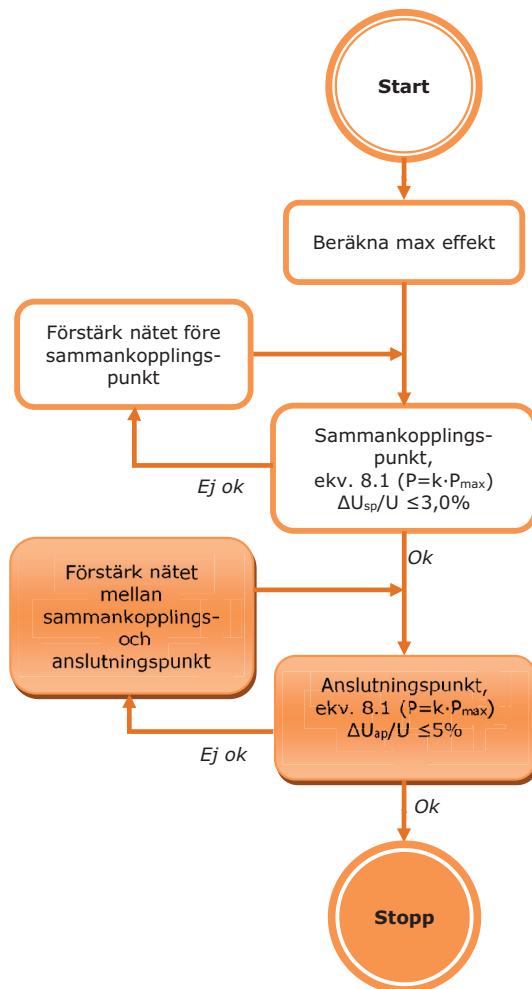
Bilaga 5 AMP-blankett – Offertförfrågan för anslutning av produktionsanläggning

BILAGA 1 FLÖDESSCHEMAN FÖR BERÄKNINGAR

Flödesschema över beräkningsgång



Flödesschema - Långsamma spänningsvariationer

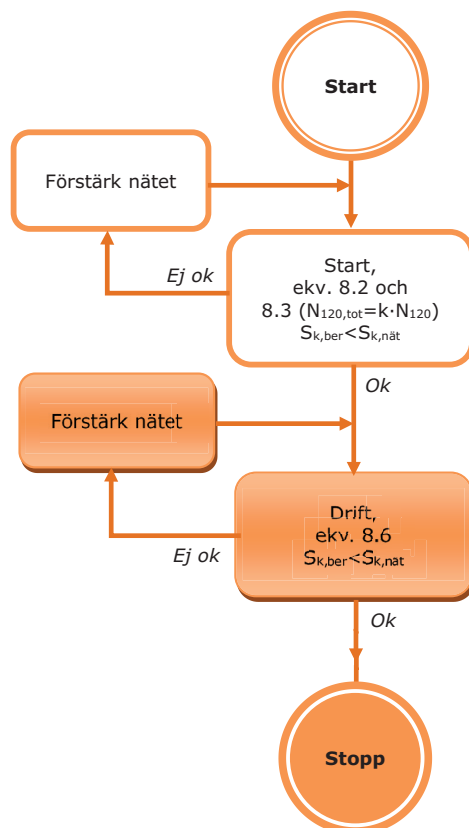


ΔU_{sp} avser total spänningsvariation i sammankopplingspunkten

ΔU_{ap} avser total spänningsvariation i anslutningspunkten

total spänningsvariation inkluderar även spänningsregleringens dödband

Flödesschema - Snabba spänningsvariationer

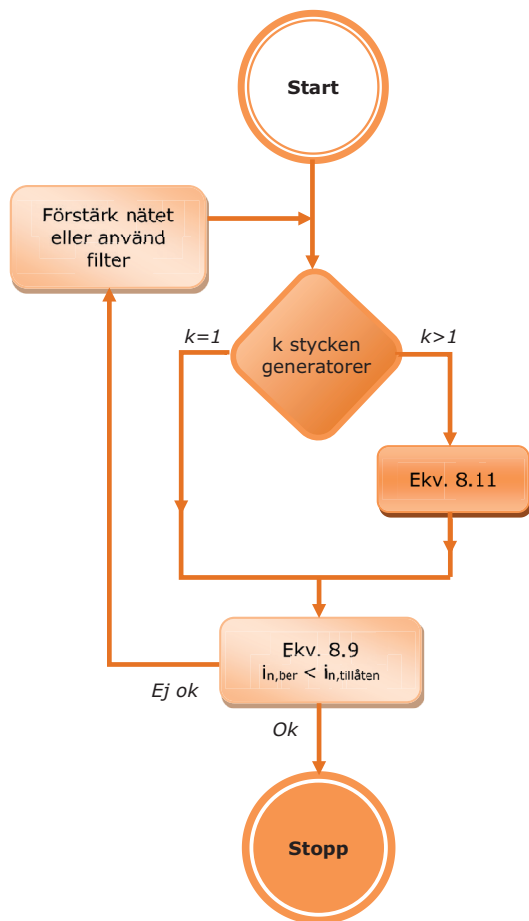


$S_{k,nät}$ avser nätets kortslutningseffekt i sammankopplingspunkten

$S_{k,ber}$ 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

BILAGA 2 ORDFÖRKLARINGAR

Anslutningspunkt	Den punkt i vilken elektrisk energi kan överföras mellan en kundanläggning och ett koncessionspliktigt nät.
Faktorn p	Förhållandet mellan det maximala 10 minuters medelvärdet av en produktionsmoduls produktion av aktiv effekt och modulens referenseffekt.
Flimmer	Subjektiva intrycket av spänningsfluktuationer i en glödlampa, det vill säga hur hjärnan och ögat uppfattar flimmer, 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, dvs $S_k = \sqrt{3} \times U_{tomgång} \times I_{kortslutning}$

Kortslutningsimpedans	<p>Kvoten mellan tomgångsspänning och kortslutningsström, dvs</p> $Z_k = \frac{U_{\text{tomgång}}}{\sqrt{3} * I_{\text{kortslutning}}}$
Kortslutningsförhållandet	$\frac{S_k}{S_{\text{ref}}}$ <p>där S_k är kortslutningseffekten i anslutningspunkten och S_{ref} är produktionsmodulens skenbara referenseffekt.</p>
Kortslutningsvinkel, Ψ_k	<p>Nätets kortslutningsvinkel i anslutningspunkten kan bestämmas av uttrycket:</p> $\Psi_k = \arctan \frac{X_k}{R_k}$ <p>där R_k och X_k är nätets kortslutningsresistans och kortslutningsreaktans i anslutningspunkten.</p>
Loss of Mains (LoM)	Bortfall av kopplingen mellan produktionsmodulen och anslutande nät.
Maximal avgiven effekt, P_{max}	Den maximala effekt, mätt som ett 10 minuters medelvärde, som produktionsmodulen inte överskrider oberoende av väder- och nätförhållanden.
Pitchreglering (bladvinkelreglering)	Reglermetod för att, vid höga vindhastigheter, begränsa uteffekten från turbinen genom att vrida (eng. pitch) bladen.
Point of Common Coupling (PCC), Sammankopplingspunkt	Punkten i ett elnät, elektriskt närmast en specifik kundanläggning, och till vilken andra kundanläggningar är eller kommer att anslutas, oavsett om dessa kundanläggningar tillför eller konsumerar elektricitet.

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.
Referensström, I_{ref}	10 minuters medelvärde av strömmens effektivvärde när produktionsmodulen producerar skenbar referenseffekt.
Sammankopplingspunkt (PCC)	Se Point of Common Coupling
Skenbar referenseffekt, S_{ref}	10 minuters medelvärde av skenbar effekt när en produktionsmodul producerar referenseffekt vid nominell spänning och frekvens.
Rotorströmsreglering	Reglering av rotorvarvtalet genom variation av rotorströmmen på en asynkrongenerator.
Spänningsregulatorns dödband	Bestäms av storleken på stegen i transformatorns lindningskopplare. Till exempel är dödbandet för en transformator vars lindningskopplare har stegen $\pm 1,67\%$ $(\pm 1,67 * 1,2) / 2 = \pm 1\%$ faktorn 1,2 är en säkerhetsfaktor för att inte lindningskopplaren skall reglera kontinuerligt.
Spänningsändringsfaktorn, $k_u(\Psi_k)$	Bestäms utifrån uppmätt ström och spänning samt ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel, Ψ_k , som parameter, se IEC 61400-21-1. Faktorn används för att beräkna den största spänningsändringen som uppträder vid inkoppling av en produktionsmodul.
Stallreglering (överstegsreglering)	Reglermetod för att begränsa effekten från en vindkraftsturbin vid höga vindhastigheter. Bladens aerodynamiska utformning åstadkommer turbulens och därigenom en effektminskning vid höga vindhastigheter. Turbinen sägs då överstegra (eng. stall).
Ödrift	Drifttillstånd 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}	vindkraftverkets 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 vindkraftverket 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 4 % tillåts fås:

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

Erforderlig kortslutningseffekt i anslutningspunkten vid inkoppling kan då skrivas som:

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

Flimmeremission vid start

Enligt IEC 61000-3-7 kan flimmeremissionen orsakat av enstaka stegformadespänningsändringar 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:

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

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:

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

Om approximationen

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

insättes i (B3.8) fås

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

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

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

Flimmeremission under drift

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

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

vilket ger en kortslutningseffekt på:

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

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

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

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

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

där k är antalet vindkraftverk.

Sammanlagd flimmeremission från flera olika vindkraftverk kan summeras enligt:

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

Övertoner

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

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

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

Förhållandet mellan en övertonsström och en övertonsspänning kan tecknas som:

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

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

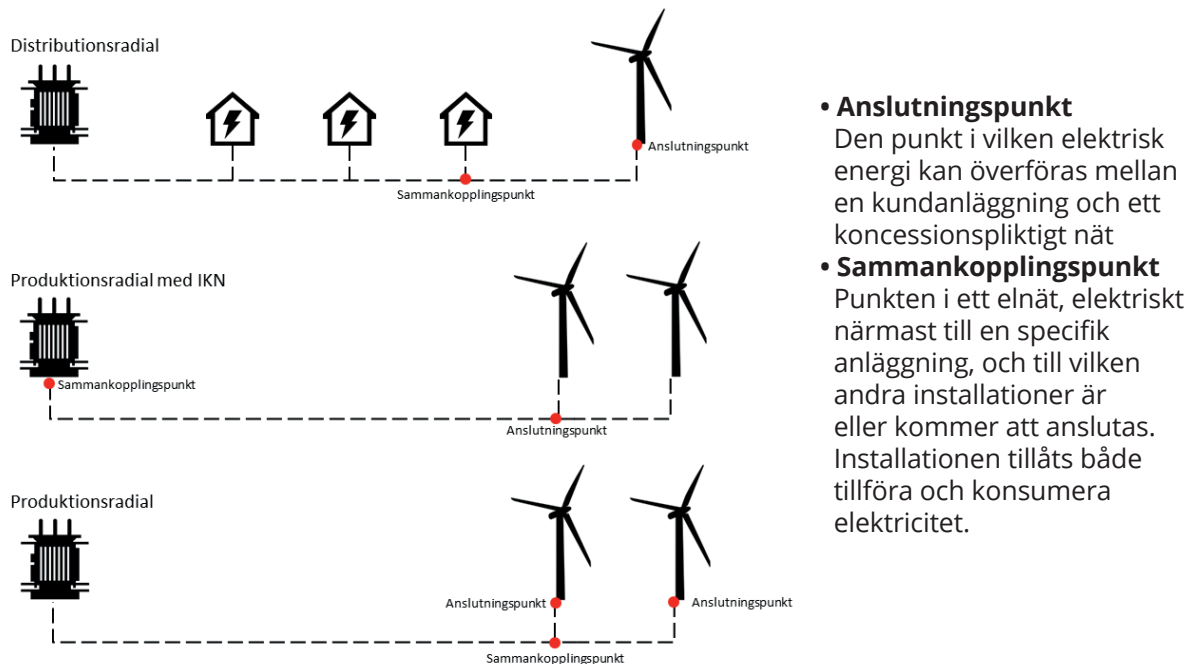
$$i_n = \frac{u_n U}{Z_n I_{\max}} = \frac{u_n U^2}{Z_n S_{\max}} \quad (\text{B3.21})$$

där k är antalet vindkraftverk och exponenten α väljs enligt **Tabell B3:1**. Ekvation (B3.21) är även giltig för summation av övertonsströmmar.

Tabell B3.1: Summationsexponent för övertoner

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

Bilaga 4 Beräkningsexempel



- **Anslutningspunkt**
Den punkt i vilken elektrisk energi kan överföras mellan en kundanläggning och ett koncessionspliktigt nät
- **Sammankopplingspunkt**
Punkten i ett elnät, elektriskt närmast till en specifik anläggning, och till vilken andra installationer är eller kommer att anslutas. Installationen tillåts både tillföra och konsumera elektricitet.

Figur B4:1, Begreppen anslutningspunkt respektive sammankopplingspunkt.

Dimensioneringskriterier:

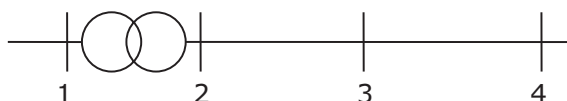
I sammankopplingspunkten tillåts en maximal ändring av spänningens effektivvärde på 3,0 %. I anslutningspunkten kan en större ändring, upp till 5 %, i många fall tillåtas.

I sammankopplingspunkten ska flimmeremissionen, P_{it} , inte överstiga 0,25.

Exempel 1: Långsamma spänningsvariationer

En solcellspark ska anslutas till en 10 kV-radial enligt **Figur B4:2**. Solcellsparken klassas som rent resistiv och total installerad effekt uppgår till 3 MW. Mellan knutpunkt 2 och knutpunkt 3 finns en 5 km lång kabel av typ AXCE 240, mellan knutpunkt 3 och knutpunkt 4 finns en 1 km lång friledning av typ FeAl 99. Antag att första kund är ansluten vid knutpunkt 3. Knutpunkt 3 benämnes då sammankopplingspunkt och knutpunkt 4 benämnes anslutningspunkt.

Antag att nätet ovanför 10 kV-radialen har hög kortslutningseffekt och inte påverkar spänningsvariationen.



Figur B4:2, 10 kV-radial

Kabeln och friledningen har följande data:

AXCE 240: $R=0,125 \Omega/\text{km}$ $X=0,085 \Omega/\text{km}$

FeAl 99: $R=0,329 \Omega/\text{km}$ $X=0,346 \Omega/\text{km}$

Sammanlagd resistans respektive reaktans i kabel och friledning mellan knutpunkt 2 och knutpunkt 4 blir således:

$$R_{2-4} = 5 \cdot 0,125 + 1 \cdot 0,329 = 0,625 + 0,329 = 0,954 \Omega$$

$$X_{2-4} = 5 \cdot 0,085 + 1 \cdot 0,346 = 0,425 + 0,346 = 0,771 \Omega$$

Solcellsparken kommer enligt ekvation 8.1 att orsaka en spänningsvariation i anslutningspunkten på:

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U^2} \cdot 100 \% = \frac{0,954 \cdot 3 + 0,771 \cdot 0}{10^2} \cdot 100 \% = 2,9 \%$$

Spänningsvariationen i anslutningspunkten hamnar inom nivån 5 %, som kan accepteras i en ren produktionsradial.

På samma sätt kommer solcellsparken att förorsaka en spänningsvariation i sammankopplingspunkten på:

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U^2} \cdot 100 \% = \frac{0,625 \cdot 3 + 0,425 \cdot 0}{10^2} \cdot 100 \% = 1,9 \%$$

I sammankopplingspunkten hamnar spänningsvariationen inom tillåten nivå 3,0 %.

Exempel 2: Snabba spänningsvariationer

Startförlopp:

Fyra vindkraftverk med en referenseffekt på vardera 3300 kW ska anslutas till en 20 kV-ledning med kortslutningsvinkeln 73° . Av de tekniska upplysningarna framgår att flimmerstegfaktorn, $k_f(70^\circ)=0,02$ och det maximala antalet inkopplingar för ett verk per tvåtimmarsperiod är, $N_{120} \leq 12$. Erforderlig kortslutningseffekt i sammankopplingspunkten vid start blir enligt ekvation 8.3, där k är antalet verk:

$$S_k \geq 8 \cdot \frac{1}{P_{lt}} \cdot k_f(\Psi_k) \cdot (k \cdot N_{120})^{\frac{1}{3,2}} \cdot S_{ref} = 8 \cdot \frac{1}{0,25} \cdot 0,02 \cdot (4 \cdot 12)^{\frac{1}{3,2}} \cdot 3,3 = 7 \text{ MVA}$$

I beräkningen har den skenbara referenseffekten, S_{ref} , för enkelhetens skull ersatts med den aktiva referenseffekten, 3300 kW. Har vindkraftverket en effektfaktor $>0,98$ vid referenseffekt ger denna förenkling ett fel på mindre än 2 %.

Exempel 3: Snabba spänningsvariationer*Drift:*

Fem vindkraftverk med en referenseffekt på vardera 2000 kW ska anslutas till en 20 kV-ledning. Tillverkaren har, vid kortslutningsvinkeln $\psi=70^\circ$, angett flimmerkoefficienten $c_f(70^\circ)=2,1$. Erforderlig kortslutningseffekt i sammankopplingspunkten vid drift blir enligt *ekvation 8.6*:

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} \cdot c_f(\Psi_k) \cdot S_{ref} \cdot \sqrt{k} = \frac{1}{0,25} \cdot 2,1 \cdot 2 \cdot \sqrt{5} = 38 \text{ MVA}$$

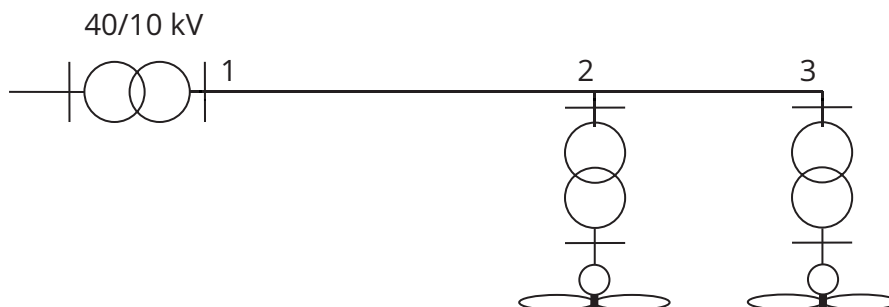
Exempel 4: Snabba spänningsvariationer*Drift:*

Ett vindkraftverk med fulleffektomriktare ska anslutas i samma punkt som ett redan befintligt vindkraftverk är anslutet. Flimmeremissionen under drift för det befintliga vindkraftverket, med fast varvtal, har beräknats till $P_{lt}=0,43$. Flimmeremissionen från det nya verket, med variabelt varvtal, har beräknats till $P_{lt}=0,092$. Den totala flimmeremissionen under drift i anslutningspunkten blir enligt *ekvation 8.7*:

$$P_{lt,tot} = \sqrt{\sum_k P_{lt,k}^2} = \sqrt{0,43^2 + 0,092^2} = 0,44$$

Beräkning av flimmervärdet vid olika punkter i ett nät.

Två vindkraftverk är anslutna till en 10 kV-radial med sammankopplingspunkt i knutpunkt 3. Flimmeremissionen under drift för vindkraftverket i knutpunkt 3 uppgår till 0,18 och kortslutningseffekten uppgår till 63 MVA. I sammankopplingspunkten är ett annat vindkraftverk anslutet där flimmeremissionen uppgår till 0,10 och kortslutningseffekten är 87 MVA.



Figur B4:3, Flera vindkraftverk anslutna till samma distributionsradial.

Flimmervärdet avtar när det fortplantar sig mot en punkt med högre kortslutningseffekt än den ursprungliga punkten. Flimmervärdet för vindkraftverk i knutpunkt 3 omräknat till knutpunkt 2 beräknas enligt *ekvation 8.8*:

$$P_{st_2} = P_{st_3} \cdot \frac{S_{k_3}}{S_{k_2}} = 0,18 \cdot \frac{63}{87} = 0,13$$

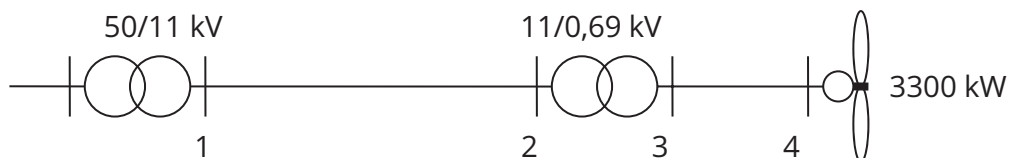
Den totala flimmeremissionen under drift i sammankopplingspunkten blir enligt *ekvation 8.7*:

$$P_{lt,tot} = \sqrt{\sum_k P_{lt,k}^2} = \sqrt{0,18^2 + 0,13^2} = 0,22$$

Flimmeremissionen från ett vindkraftverk kan beräknas med hjälp av *ekvation B3.14, Bilaga 3*.

Exempel 5:

Ett vindkraftverk med märkeffekten 3300 kW ska anslutas till en 10 kV-radial, se **Figur B4:4**. Anslutningspunkten är i knutpunkt 2 vilket också antas vara sammankopplingspunkten. Antag att transformatorn mellan knutpunkt 2 och 3 inte påverkar spänningsvariationerna.



Figur B4:4, Vindkraftverk anslutet till en distributionsradial.

Långsamma spänningsvariationer

Lågspänningssidan:

Enligt vindkraftfabrikanten är den maximala uteffekten 110 % av märkeffekten, dvs $1,1 \cdot 3,3 = 3,63$ MW. Vid en uteffekt på 3,63 MW förbrukar vindkraftverket 0,25 Mvar reaktiv effekt. Vindkraftverket är på lågspänningssidan anslutet till 690 V via en kabel vars resistans är $0,005 \Omega$ och reaktans är $0,001 \Omega$. Det ger, med *ekvation 8.1*, en spänningsvariation på lågspänningssidan mellan knutpunkt 3 och 4 på:

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U^2} \cdot 100 \% = \frac{0,005 \cdot 3,63 + 0,001 \cdot (-0,25)}{0,69^2} \cdot 100 \% = 3,8 \%$$

Högspänningssidan:

Ledningsimpedansen mellan knutpunkt 1 och 2 är $0,625 + j0,425 \Omega$.

Spänningsvariationen på högspänningssidan blir på motsvarande sätt

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U^2} \cdot 100 \% = \frac{0,625 \cdot 3,63 + 0,425 \cdot (-0,25)}{11^2} \cdot 100 \% = 1,8 \%$$

Lindningskopplaren på 52/11 kV transformatorn har steg på 1,67 %. Med säkerhetsfaktorn 1,2 blir spänningsregulatorns dödband då:

$$\frac{\pm 1,67 \% \cdot 1,2}{2} = \pm 1,0 \%$$

Den totala spänningsvariationen i sammankopplingspunkten blir således $1,8 + 1,0 = 2,8 \%$, vilket är inom tillåtna $3,0 \%$. Förstärkningar krävs således inte i nätet innan sammankopplingspunkten.

Spänningsvariationen på lågspänningssidan vid verket, i knutpunkt 4, blir $1,8 + 1,0 + 3,8 = 6,6 \%$.

Snabba spänningsvariationer*Startförlopp:*

Kortslutningseffekten i sammankopplingspunkten, knutpunkt 2, är beräknad till 60 MVA med en kortslutningsvinkel $\Psi = 45^\circ$. Av de tekniska upplysningarna från vindkraftfabrikanten framgår att spänningsändringsfaktorn, $k_u(50^\circ) = 0,07$, flimmerstegfaktorn, $k_f(50^\circ) = 0,01$, flimmerkoefficienten, $c_f(50^\circ) = 2$ och att maximalt antal kopplingar under en tvåtimmarsperiod, $N_{120} \leq 12$. Flimmerkoefficienten är vald för kortslutningsvinkeln 50° eftersom den ligger närmast nätets 45° .

Kortslutningseffekten i sammankopplingspunkten måste, enligt ekvation 8.2, vid en enkel inkoppling först och främst överstiga:

$$S_k \geq 25 \cdot k_u(\Psi_k) \cdot S_{ref} = 25 \cdot 0,07 \cdot 3,63 = 6,4 \text{ MVA}$$

I värsta fall kan vindkraftverket kopplas in 12 gånger under en tvåtimmarsperiod, $N_{120} = 12$. För att inkopplingarna inte ska orsaka flimmer måste kortslutningseffekten i sammankopplingspunkten, enligt ekvation 8.3, vara större än:

$$S_k \geq 8 \cdot \frac{1}{P_{lt}} \cdot k_f(\Psi_k) \cdot N_{120}^{\frac{1}{3,2}} \cdot S_{ref} = 8 \cdot \frac{1}{0,25} \cdot 0,01 \cdot 12^{\frac{1}{3,2}} \cdot 3,63 = 2,5 \text{ MVA}$$

Drift:

För att vindkraftverket inte ska orsaka flimmer under drift måste, enligt *ekvation 8.5*, kortslutningseffekten i sammankopplingspunkten vara större än

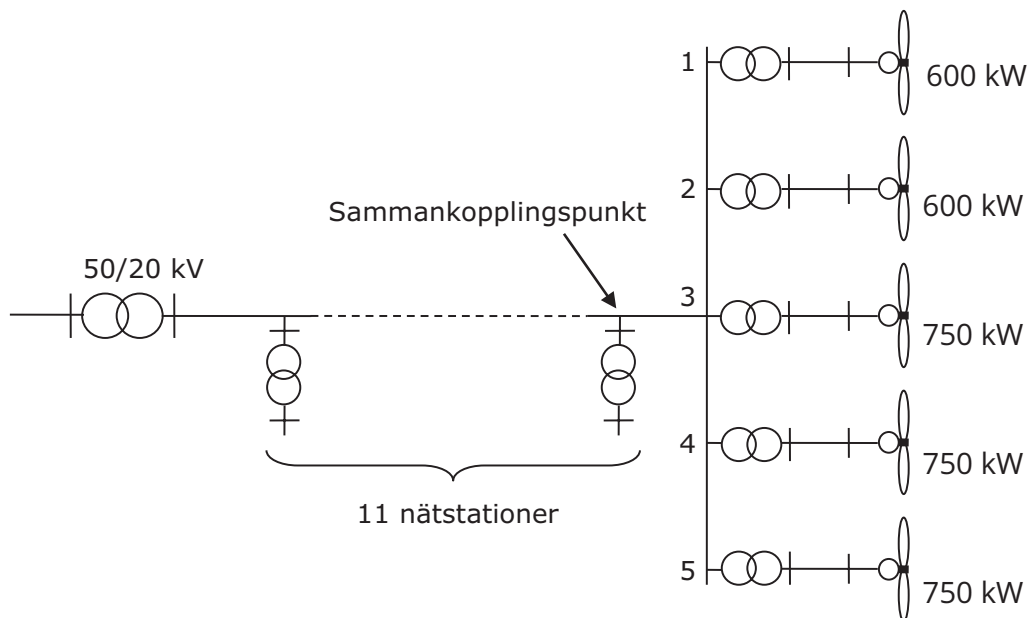
$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} \cdot c_f(\Psi_k) \cdot S_{ref} = \frac{1}{0,25} \cdot 2 \cdot 3,63 = 29 \text{ MVA}$$

Exempel 6:

En vindkraftpark bestående av fem verk ska anslutas till en 20-kV radial. Två verk har märkeffekten 600 kW och tre verk har märkeffekten 750 kW. Matningen sker via en distributionsradial från en 50/20 kV transformatorstation, se **Figur B4:5**. Längs distributionsradialen finns totalt elva nätstationer, 20/0,4 kV.

Är verken separat anslutna till radialen är verkens anslutningspunkt i respektive knutpunkt 1-5. Är verken istället gemensamt anslutna till radialen via ett internt nät är anslutningspunkten i knutpunkt 3. Sammankopplingspunkten är i nätstationen närmast vindkraftparken.

I sammankopplingspunkten beräknas kortslutningseffekten uppgå till minst 62 MVA och impedansen, $R_k + jX_k$, är $4,52 + j6,30$. Impedansen i ledningen mellan sammankopplingspunkten och 50/20 kV-stationen, $R_l + jX_l$, är $3,67 + j2,55 \Omega$.



Figur B4:5, Fem vindkraftverk anslutna till en distributionsradial med 11 nätstationer, 20/0,4 kV, längs radialen.

Långsamma spänningsvariationer

Högspänningssidan:

Enligt tillverkaren är 750 kW-verkets maximala uteffekt 113 % av märkeffekten, dvs $P_{\max} = 1,13 \cdot 750 = 848$ kW. Den angivna skenbara märkeffekten är 765 kVA vilket ger följande reaktiva effektförbrukning vid märkeffekt:

$$Q_{\text{ref}} = \sqrt{S_{\text{ref}}^2 - P_{\text{ref}}^2} = \sqrt{765^2 - 750^2} = 151 \text{ kvar}$$

Den reaktiva effektförbrukningen hos en asynkrongenerator är proportionell mot effekten i kvadrat, dvs:

$$Q = k \cdot P^2 \Rightarrow k = \frac{Q}{P^2} = \frac{151}{750^2} = 2,68 \cdot 10^{-4}$$

Den maximala förbrukningen av reaktiv effekt vid maximal aktiv effektproduktion blir då:

$$Q_{\max} = k \cdot P_{\max}^2 = 2,68 \cdot 10^{-4} \cdot 848^2 = 193 \text{ kvar}$$

På motsvarande sätt har följande värden beräknats för 600 kW-verket:

$$P_{\max} = 672 \text{ kW}, S_{\text{ref}} = 623 \text{ kVA} \text{ och } Q_{\max} = 210 \text{ kvar}$$

Spänningsvariationen i sammankopplingspunkten på högspänningssidan blir, enligt *ekvation 8.1*:

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \frac{3,67 \cdot (3 \cdot 0,848 + 2 \cdot 0,672) + 2,55 \cdot (3 \cdot (-0,193) + 2 \cdot (-0,210))}{20^2} \cdot 100\% = 2,93\%$$

Lindningskopplaren på 50/20 kV transformatorn har steg på 1,67 %.

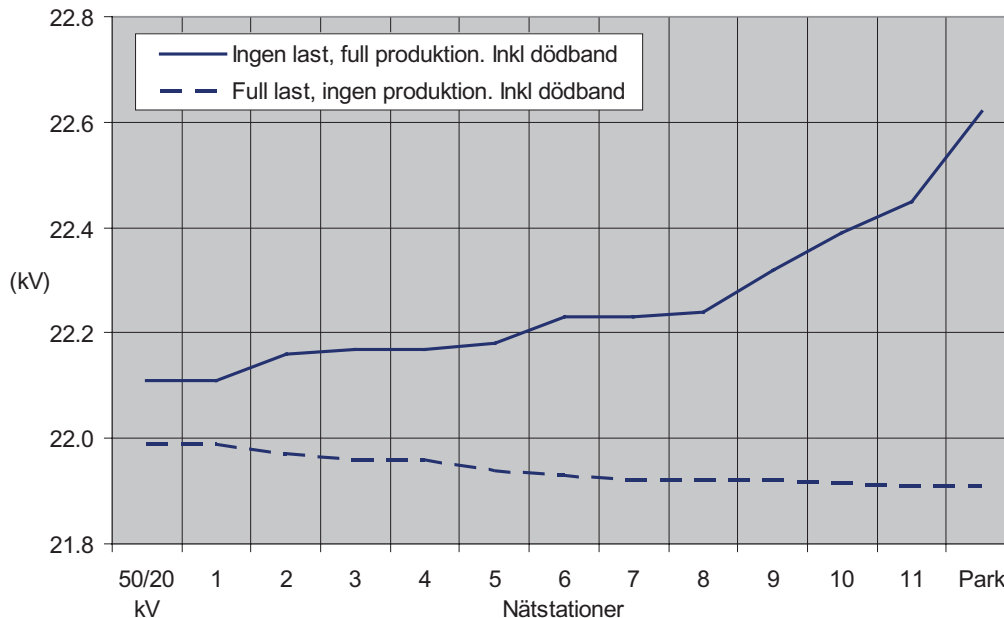
Spänningsregulatorns dödband blir då, med säkerhetsfaktorn 1,2:

$$\frac{\pm 1,67\% \cdot 1,2}{2} = \pm 1,0\%$$

Den totala spänningsvariationen i sammankopplingspunkten blir således $2,9 + 1,0 = 3,9\%$, vilket är större än tillåtna 3,0 %. Detta föranleder en mer noggrann studie av spänningsvariationerna längs distributionsradialen.

För att beräkna de av vindkraftverken uppkomna långsamma spänningsvariationerna har ett nätberäkningsprogram använts där spänningen i alla elva knutpunkterna (20/0,4 kV-stationer) kan studeras. Resultatet ses i **Figur B4:6**. Spänningen längs radialen är beräknad för de två extremfallen:

- ingen belastning och full effektproduktion hos vindkraftverken
- full belastning och ingen effektproduktion hos vindkraftverken



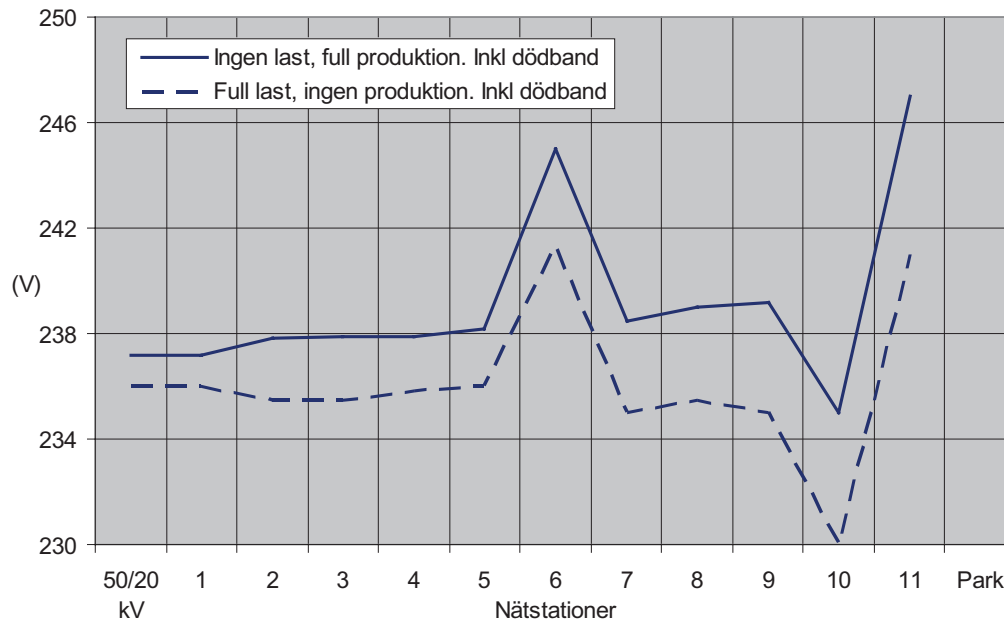
Figur B4:6, Spänningsnivåer längs 20 kV-distributionsradialen.

Som framgår av **Figur B4:6** är spänningsvariationen längs 20 kV-radialen störst vid vindkraftparken, drygt 3,5 %. I första sammankopplingspunkt, nätstation 11, är spänningsvariationen 2,7 % på 20 kV-sidan.

Lågspänningssidan:

Figur B4:7 visar motsvarande spänningar på lågspänningssidan vid nätstationerna. I figuren är den verkliga spänningsomsättningen hos varje 20/0,4 kV-transformator medtagen. Som framgår av figuren blir spänningen för hög, över 244 V, i station 6 och 11. För att en vindkraftetablering ska bli möjlig krävs en lägre spänningsomsättning i dessa två stationer så att spänningen ligger närmare 230 V och definitivt under 244 V. Är transformatorerna omkopplingsbara kan omsättningen justeras på befintliga transformatorer, i annat fall måste de bytas mot transformatorer med en lägre spänningsomsättning.

Spänningsvariationen i första sammankopplingspunkt, station 11, är ungefär 2,6 % vilket är i största laget. Emellertid är denna variation baserad på två extremfall i belastning och vindproduktion. Slutsatsen är att de långsamma spänningsvariationerna är acceptabla om transformatorerna i station 6 och 11 kopplas om eller byts.



Figur B4:7, Spänningsnivåer på lågspänningssidan vid nätstationerna.

Snabba spänningsvariationer

Startförlopp:

På AMP-blanketten, se Bilaga 5, för respektive vindkraftverk är en spänningsändringsfaktor, $k_u(\Psi_k)$, angiven vid olika kortslutningsvinklar. Kortslutningsvinkeln i den aktuella anslutningspunkten är:

$$\Psi_k = \arctan \frac{X_k}{R_k} = \arctan \frac{6,30}{4,52} = 54^\circ$$

Spänningsändringsfaktorn är, $k_u(50^\circ)=1,4$ för 750 kW-verket och $k_u(50^\circ)=2,1$ för 600 kW-verket. Erforderlig kortslutningseffekt med avseende på en start av ett 750 kW-verk blir enligt ekvation 8.2:

$$S_k \geq 25 \cdot k_u(\Psi_k) \cdot S_{ref} = 25 \cdot 1,4 \cdot 0,765 = 27 \text{ MVA}$$

och ett 600 kW-verk:

$$S_k \geq 25 \cdot k_u(\Psi_k) \cdot S_{ref} = 25 \cdot 2,1 \cdot 0,623 = 33 \text{ MVA}$$

Vid låga vindhastigheter kan vindkraftverken komma att startas och stoppas upprepade gånger. Flimmeremissionen vid upprepade starter, med k antal verk, kan enligt ekvation 8.3 beräknas som:

$$S_k \geq 8 \cdot \frac{1}{P_{lt}} \cdot k_f(\Psi_k) \cdot (k \cdot N_{120})^{1/3,2} \cdot S_{ref} \Rightarrow P_{lt} \leq 8 \cdot k_f(\Psi_k) \cdot (k \cdot N_{120})^{1/3,2} \cdot \frac{S_{ref}}{S_k}$$

Enligt AMP-blanketten är flimmerstegsfaktorn för 750 kW-verket, $k_f(50^\circ)=1,1$ och $k_f(50^\circ)=2,1$ för 600 kW-verket. Vidare framgår att maximala antalet starter per verk och tvåtimmarsperiod är, $N_{120} \leq 12$. Detta gäller båda typerna av verk. Flimmeremissionen vid upprepade starter blir då för de tre 750 kW-verken:

$$P_{lt} \leq 8 \cdot 1,1 \cdot (3 \cdot 12)^{1/3,2} \cdot \frac{0,765}{62} = 0,33$$

och för de två 600 kW-verken:

$$P_{lt} \leq 8 \cdot 2,1 \cdot (2 \cdot 12)^{1/3,2} \cdot \frac{0,623}{62} = 0,46$$

Den totala flimmeremissionen blir då, enligt ekvation 8.4:

$$P_{lt,tot} = \sqrt[3,2]{\sum_k P_{lt,k}^{3,2}} = \sqrt[3,2]{0,33^{3,2} + 0,46^{3,2}} = 0,50$$

Högsta tillåtna flimmeremission från vindkraftgruppen är 0,25. Som framgår av ovanstående beräkning är den totala flimmeremissionen för hög.

Om antalet starter per tvåtimmarsperiod begränsas till $N_{120} \leq 2$ för 750 kW-verken och $N_{120} \leq 1$ för 600 kW-verken fås flimmeremissionen för de tre 750 kW-verken:

$$P_{lt} \leq 8 \cdot 1,1 \cdot (3 \cdot 2)^{1/3,2} \cdot \frac{0,765}{62} = 0,19$$

och för de två 600 kW-verken:

$$P_{lt} \leq 8 \cdot 2,1 \cdot (2 \cdot 1)^{1/3,2} \cdot \frac{0,623}{62} = 0,21$$

vilket ger en total flimmeremission vid upprepade starter på:

$$P_{lt,tot} = \sqrt[3,2]{0,19^{3,2} + 0,21^{3,2}} = 0,25$$

Drift:

Flimmeremissionen under drift beräknas utgående från en av tillverkaren angiven flimmerkoefficient, $c_f(\Psi_k)$ och kan beräknas enligt ekvation 8.6:

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} \cdot c_f(\Psi_k) \cdot S_{ref} \sqrt{k} \Rightarrow P_{lt} \leq c_f(\Psi_k) \cdot \frac{S_{ref}}{S_k} \cdot \sqrt{k}$$

Flimmerkoefficienten för 750 kW-verket är $c_f(50^\circ)=6,44$ och för 600 kW-verket, $k(50^\circ)=4,14$. Flimmeremissionen för de tre 750 kW-verken blir:

$$P_{lt} \leq 6,44 \cdot \frac{0,765}{62} \cdot \sqrt{3} = 0,14$$

och för de två 600 kW-verken:

$$P_{lt} \leq 4,14 \cdot \frac{0,623}{62} \cdot \sqrt{2} = 0,059$$

Total flimmeremission under drift från vindkraftparken blir då, enligt ekvation 10.8:

$$P_{lt,tot} = \sqrt{\sum_k P_{lt,k}^2} = \sqrt{0,14^2 + 0,059^2} = 0,15$$

De tekniska kraven för anslutning av vindkraftverken kan anses uppfyllda under förutsättning att:

- transformatorerna i station 6 och 11 kopplas om eller byts ut
- antalet starter begränsas till två per timme för 750 kW-verken och en per timme för 600 kW-verken.

BILAGA 5 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) kW
- Produktionsenhetens referenseffekt (Pref): kW/enhet
- Maximal effektproduktion Pmax (10 minuters medelvärde): kW/enhet
- Maximal effektproduktion (0,2 sekunders medelvärde): kW/enhet
- Uttagen reaktiv effekt vid märkspänning:
 - Vid tomgång kvar/enhet
 - Vid referenseffekt med kompensering: kvar/enhet
 - Vid referenseffekt utan kompensering: kvar/enhet
- Maximalt uttag av reaktiv effekt under drift vid mät punkt: kvar/enhet
(10 minuters medelvärde)
- Produktionsenhetens märkspänning: V
- Produktionsenhetens märkeffekt: MVA

Handlingar och uppgifter som ska bifogas:

- spänningsnivån för angivna testvärden
- namn på anläggningens innehavare
- mätrapport (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 data¹
- ¹ tillämpliga fall

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

Redovisning av övertonsströmmar och mellantonström

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

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

Maximalt effektivvärde för diskret mellantonström angivet som % av I_n	
Uteffekt (kW) vid maximalt effektivvärde av diskret mellantonström	

Datum: _____ Underskrift: _____
Namnförtydligande:
Produktionsanläggningens leverantör

Datum: _____ Underskrift: _____
Namnförtydligande:
Produktionsanläggningens innehavare

