



# **Frekvens, tidsavvik, regulérstyrke og reserve**

**16. mai 1997  
Utdrag av rekommandasjon**

## Innholdsfortegnelse

<b>1. INNLEDNING</b> .....	<b>2</b>
<b>2. PRIMÆRREGULERING, FREKVENNS (HZ), TIDSSAVVIK (SEK.)</b> .....	<b>2</b>
<b>3. SEKUNDÆRREGULERING, INNSTILLINGSFEIL</b> .....	<b>3</b>
<b>4. ENDRING AV INNSTILT PRODUKSJON ELLER AVTALT KRAFTUTVEKSLING</b> .....	<b>3</b>
<b>5. NETTVERN</b> .....	<b>4</b>
5.1 <i>Eksempler på viktige nettvern:</i> .....	4
<b>6. RESERVER</b> .....	<b>4</b>
6.1 <i>Momentan reserve (MW)</i> .....	4
6.2 <i>Frekvensregulærreserve (MW)</i> .....	5
6.3 <i>Momentan driftsforstyrrelsesreserve (MW)</i> .....	5
6.4 <i>Hurtig reserve (MW)</i> .....	5
6.5 <i>Langsom reserve (MW)</i> .....	5
6.6 <i>Reaktiv reserve (MVar)</i> .....	6
<b>7. REGULÉRSTYRKE (MW/HZ)</b> .....	<b>6</b>
<b>8. SYSTEMANSVAR</b> .....	<b>7</b>
<b>9. FREKVENNSSTYRTE TILTAK I NORDEL - SYSTEMET</b> .....	<b>8</b>

## 1. Innledning

I alle elektrisk system er det slik at effekten må produseres i det samme øyeblikket som den forbrukes. Det er ingen mulighet for å lagre elektrisk energi som sådan. Energi må lagres i form av magasiner (kull, olje, vann, m.m.) for store kraftsystem, og som kjemisk energi (batterier) for små kraftsystem. Dette innebærer at produksjonssystemet må være tilstrekkelig fleksibelt til at både endringer i forbruk og utfall av produksjon og overføring kan håndteres momentant, helst uten at forbrukerne merker det.

De nasjonale delsystemene i Norge, Sverige, Finland og Sjælland er koplet sammen til et samkjørende synkront elektrisk system. (Jylland er tilkopledd det kontinentale system - UCPTE.) Dette innebærer at hendelser i ett delsystem kan påvirke de øvrige delsystem.

Det nordiske kraftsystemet er et blandet vann- og varmekraftbasert produksjonsapparat som forsyner et geografisk ujevnt fordelt forbruk. Hovedvekten av vannkraftressursene er lokalisert i systemets nordre og vestre deler og varmekraftressursene i de sørøstre.

Overføringsnettets utbygging har vært basert på produksjonssystemets og forbrukets utvikling, og de overføringsbehov som dermed har oppstått. Mellomriksforbindelsene har vært motivert av økonomiske fordeler ved samkjøring.

I følge NORDEL's årsberetning for 1995 var maksimallasten i hele det nordiske kraftsystemet 54600 MW (januar), minimallast var 24300 MW (juli).

## 2. Primærregulering, frekvens (Hz), tidssavvik (sek.)

Frekvensen er et mål på hvor hurtig maskinene i systemet roterer. Ved lastpågang vil (som ved alle andre roterende maskiner) frekvensen (turtallet) synke, og ved lastavgang vil frekvensen (turtallet) stige. De regulerende enheter vil da automatisk utføre primærregulering slik at det igjen blir balanse mellom produksjon og forbruk. Hvor mye frekvensen synker blir påvirket både av det totale treghetsmomentet (inertia), og av hvor hurtig primærreguleringen er.

I det nordiske systemet tillates frekvensen normalt å variere mellom 49,9 og 50,1 Hz. Middelveien av frekvensen skal være 50 Hz. Avviket mellom aktuell frekvens og 50 Hz er definert som frekvensavviket.

Ved frekvenser under 50,0 Hz er sum last høyere enn innstilt produksjon, ved frekvenser over 50,0 Hz er sum lavere enn innstilt produksjon. I praksis varierer lasten kontinuerlig. Følgelig vil de regulerende enheter kontinuerlig utføre den tidligere nevnte primærregulering.

At frekvensens middelvei er korrekt kontrolleres ved hjelp av tidssavviket. Teoretisk er dette den integrerte av frekvensavviket. I praksis måles det ved at et elektrisk ur som følger frekvensen sammenliknes med et ur som viser astronomisk tid. Tidssavviket skal ikke overstige 10 sek.

### 3. Sekundærregulering, innstillingsfeil

Når frekvensen eller tidsavvik nærmer seg utkanten av det lovlige området, (49,9 - 50,1 Hz,  $\pm 10$  sek.) må innstilt produksjon endres, det må foretas en sekundærregulering (I NORDEL er denne manuell). Dette kan gjøres ved å starte/stoppe aggregater, eller ved å endre innstilt produksjon på igangværende aggregat. Frekvensen vil igjen stabilisere seg på en akseptabel verdi.

Begrepet innstillingsfeil er utviklet for å være et kriterium til å detektere hvor (i hvilket eller hvilke delsystem) det skal reguleres. Dette tilsvarer effekt/frekvensreguleringen i UCPTE.

Dessuten informerer innstillingsfeilen hvor om stort avvik mellom plan og aktuell overføring som til enhver tid kan aksepteres (frekvensavhengig).

Definisjon av momentan innstillingsfeil (for et enkelt verk, et område eller et enkelt land):

$$I \text{ (MW)} = +\Delta P + R * \Delta f = (P_{\text{målt}} - P_{\text{avtalt}}) + R * \Delta f$$

$\Delta P$  = Avvik mellom målt og avtalt utveksling (+ indikerer retning ut av området/landet)

$R$  = Aktuell regulérstyrke i området/landet (omtales i kap. 7)

$\Delta f$  = Frekvensavvik mellom aktuell frekvens og 50 Hz.

Max. momentan innstillingsfeil for det enkelte land motsvarer (om intet annet er avtalt) en tallverdi 1,5 x landets krav til frekvensregulérreserve (Kap. 6.2)

### 4. Endring av innstilt produksjon eller avtalt kraftutveksling

Endring av innstilt produksjon skal gjøres i følgende tilfelle:

- Når den momentane innstillingsfeilen er på vei til å overskride den tillatte grensen og endringen samtidig reduserer  $|\Delta f|$ .
- Når det momentane avviket på en mellomriksforbindelse er på vei til å overskride den tillatte grensen.
- Når den integrerte innstillingsfeil over en time er på vei til å overskride den tillatte grensen.
- Når tidsavviket  $|\Delta T|$  er på vei til å overskride 10 sek (dvs. ved ca. 8 sek.). Dette er en oppgave for Sverige og Norge.
- Når frekvensavviket  $|\Delta f|$  er på vei til å overskride 0,1 Hz. Sverige og Norge har hovedansvaret for at frekvensen holdes i disse situasjoner.
- Når oppfordringen kommer fra et naboland. Økonomiske konsekvenser gjøres opp bilateralt.

## 5. Nettvern

Nettvern kan ha to formål:

- Å øke overføringskapasiteten i kraftsystemet
- Å være en form for “siste linje forsvar” slik at nettsammenbrudd etter feil unngås.

### 5.1 Eksempler på viktige nettvern:

Produksjonsfrakopling (PFK) brukes normalt for å øke overføringskapasiteten. Aggregat koples bort med effektbryter, eller det kjøres ned automatisk så hurtig som mulig. Fordrer at det er tilstrekkelig momentan reserve i det øvrige systemet. Påliteligheten må være på samme nivå som relévernet.

Automatisk start av gassturbiner, HVDC-forbindelser og belastningsfrakopling (BFK) er nettvern som skal hindre nettsammenbrudd.

I Finland og Sverige startes det gassturbiner og på Sjælland dieselanlegg i frekvensområdet 49,7 - 49,5 Hz.

På HVDC-forbindelsene er det installert regulérutrusning slik at disse også regulerer etter frekvens og/eller spenning. Det gjøres normalt ved lave eller høye frekvenser, og kalles da vanligvis nødeffektinngrep.

Ved lav frekvens koples det automatisk ut belastning etter en forutbestemt plan. De første trinnene utløses normalt ved ca. 49,0 Hz, og de siste ved ca. 47 Hz.

## 6. Reserver

Foruten reserver for den normale driften, for å klare avvikelse fra forventet belastning, må det finnes reserve som begrenser virkningene av de feil som kan inntreffe i nettet og i produksjonsapparatet.

### 6.1 Momentan reserve (MW)

Momentan reserve skal ideelt sett aktiveres i samme øyeblikk som lasten endres eller annen produksjon faller ut. Dette tilsier at denne reserve på ligge i de roterende maskiner, enten inne i systemet, eller via HVDC-forbindelsene. I det nordiske systemet er det primært vannkraftaggregat som brukes til momentan reserve. (Evt. last som kan koples ut momentant.) Vannkraftaggregat har vanligvis sin høyeste virkningsgrad rundt 80% av maksimal produksjon. Differensen mellom maksimal produksjon og aktuell produksjon vil inngå i den momentane reserven.

## 6.2 Frekvensregulérreserve (MW)

For frekvensreguleringen skal det finnes en effektreserve på minst 600 MW i de regulerende aggregat. Ved 49,9 Hz vil pr. definisjon hele frekvensregulérreserven være tatt i bruk.

Frekvens er således en indikator på hvor mye av frekvensregulérreserven som til enhver tid er brukt opp.

Krav til frekvensregulérreserve fordeles mellom landene etter årsforbruk.

## 6.3 Momentan driftsforstyrrelsesreserve (MW)

Selv om hele frekvensregulérreserven på forhånd skulle være brukt opp, skal kraftsystemet tåle dimensjonerende feil. Dimensjonerende tilsvarer normalt effekten til den største blokken på det kjernekraftverket som er i drift, normalt 1200 MW.

Momentan driftsforstyrrelsesreserve bestemmes slik at kraftsystemet tåler dimensjonerende feil minus 200 MW. Stasjonær frekvens skal ikke synke under 49,5 Hz. Fratrukk av de 200 MW motiveres av kraftsystemet såkalte selvregulering.

Denne reserve skal aktiveres ved 49,9 Hz, og skal pr. definisjon være fullt utnyttet ved 49,5 Hz. Det skal være en tilnærmet lineær økning gjennom frekvensbåndet.

Til den momentane driftsforstyrrelsesreserve utnyttes til en viss grad varmekraft (Sjælland, Finland), men i det nordiske systemet først og fremst vannkraft. I det samme frekvensområde aktiveres en del nødeffekt over likestrømsforbindelsene. Dessuten frakoples visse elektrokjeler automatisk.

Krav til momentan driftsforstyrrelsesreserve fordeles mellom landene proporsjonalt med dimensjonerende feil i de enkelte land.

## 6.4 Hurtig reserve (MW)

Innen hvert land skal det på grunn av usikkerhet i lastprognoseringen finnes reserve som er så stor at en eventuell ubalanse mellom produksjon og forbruk skal kunne elimineres i løpet av 15 minutter. Da reetableres den momentane reserve.

Hurtig driftsforstyrrelsesreserve skal være fordelt slik at belastningsfordelingen i nettet er akseptabel også etter at reserven er aktivert.

## 6.5 Langsom reserve (MW)

Langsom aktiv reserve skal ha slike egenskaper at den kan frigjøre hurtig aktiv reserve. Økonomiske vurderinger teller med når det bestemmes hvor rask den langsomme reserve skal være.

Den hurtige og langsomme prognoserreserven sees som en integrert del av produksjonsplanen. Størrelsen på disse reserver er følgelig helt avhengig av planleggingens forutsetninger og usikkerheter.

## 6.6 Reaktiv reserve (MVar)

En reaktiv driftsforstyrrelsesreserve behøves fordi produksjonsbortfall og nettfelil ikke skal medføre uakseptable spenninger og stabilitetssvikt. Hvert delsystem har ansvaret for å holde reaktiv driftsforstyrrelsesreserve innen eget område.

## 7. Regulérstyrke (MW/Hz)

Begrepet regulérstyrke forteller hvordan frekvensregulérreserven blir aktivert som funksjon av frekvensen. Som følge av at det i hele kraftsystemet skal være aktivert en frekvensregulérreserve på minimum 600 MW ved 49,9 Hz, er kravet til regulérstyrke 6000 MW/Hz. I perioder med stor produksjon (og høy last) kan denne være vesentlig større (12000 - 14000 MW/Hz). Jo større regulérstyrken er, jo mindre blir systemet (frekvensen) påvirket av lastvariasjoner og produksjonsutfall.

Krav til regulérstyrke fordeles mellom de nordiske land på samme måte som krav til frekvensregulérreserve - etter årsforbruk. Innen det enkelte land fordeles dette igjen ut på det enkelte aggregat som deltar i frekvensreguleringen.

Dette gjøres normalt ved å stille statikken på det enkelte aggregats regulator:  
(I denne sammenheng ser man bort fra de dynamiske forløp)

$$s = \text{statikk} = - \frac{\frac{\Delta f}{f_n}}{\frac{\Delta P}{P_n}} * 100 \quad (\%)$$

$f_n = \text{merkefrekvens} = 50 \text{ Hz}$   
 $P_n = \text{merkeeffekt (MW)}$

Regulérstyrken for et enkelt aggregat:

$$R_{\text{aggr}} = \frac{1}{\frac{s}{100}} * \frac{1}{f_n} * P_n = \frac{2 * P_n}{s} \quad (\text{MW/Hz})$$

Regulérstyrken summeres:

For en stasjon:	$R_{\text{stasjon}} = \sum R_{\text{aggr}}$
For et område:	$R_{\text{omr}} = \sum R_{\text{stasjon}}$
For et land:	$R_{\text{land}} = \sum R_{\text{omr}}$
For Norden:	$R = \sum R_{\text{land}}$

## 8. Systemansvar

Det er ingen overordnet systemansvarlig for hele det nordiske kraftsystemet. De systemansvarlige i de enkelte land har individuelt ansvar for drift av eget system og bilaterale avtaler overfor nabosystemer, samt kollektivt ansvar for samdriften av de nasjonale kraftsystemer.

Systemansvarlig utøver ansvaret gjennom å:

- fastlegge og overvåke overføringsbegrensninger
- fastlegge og overvåke driftsreserver for aktiv og reaktiv effekt
- opprettholde nasjonal effektbalanse
- beordre/godkjenne koplinger i stamnett/hovednett og mellomriksforbindelser
- samordne at anleggsdeler tas ut av drift
- sørge for korrekt bortkopling av feil gjennom samordning/koordinering av relevernets funksjoner, omfanget av ansvaret varierer fra land til land
- sørge for samordnet innstilling av relevante automatikkfunksjoner
- analysere driftsforstyrrelser og gjennomføre nødvendige avhjelpende tiltak
- utferdige instruksjoner for driftstiltak.

Systemansvarlig er den som svarer for stamnettet i det enkelte land.

De systemansvarlige har regelmessig møter der samkjøringsforhold behandles og avklares. Likeledes behandles disse spørsmål regelmessig i Operative Komitéen og NOKSY.



## 9. Frekvensstyrte tiltak i NORDEL - systemet

