

Kärnkraftens möjligheter att bistå med frekvensreglering

Thomas Smed
Sture Lindahl-symposiet 18 april 2023

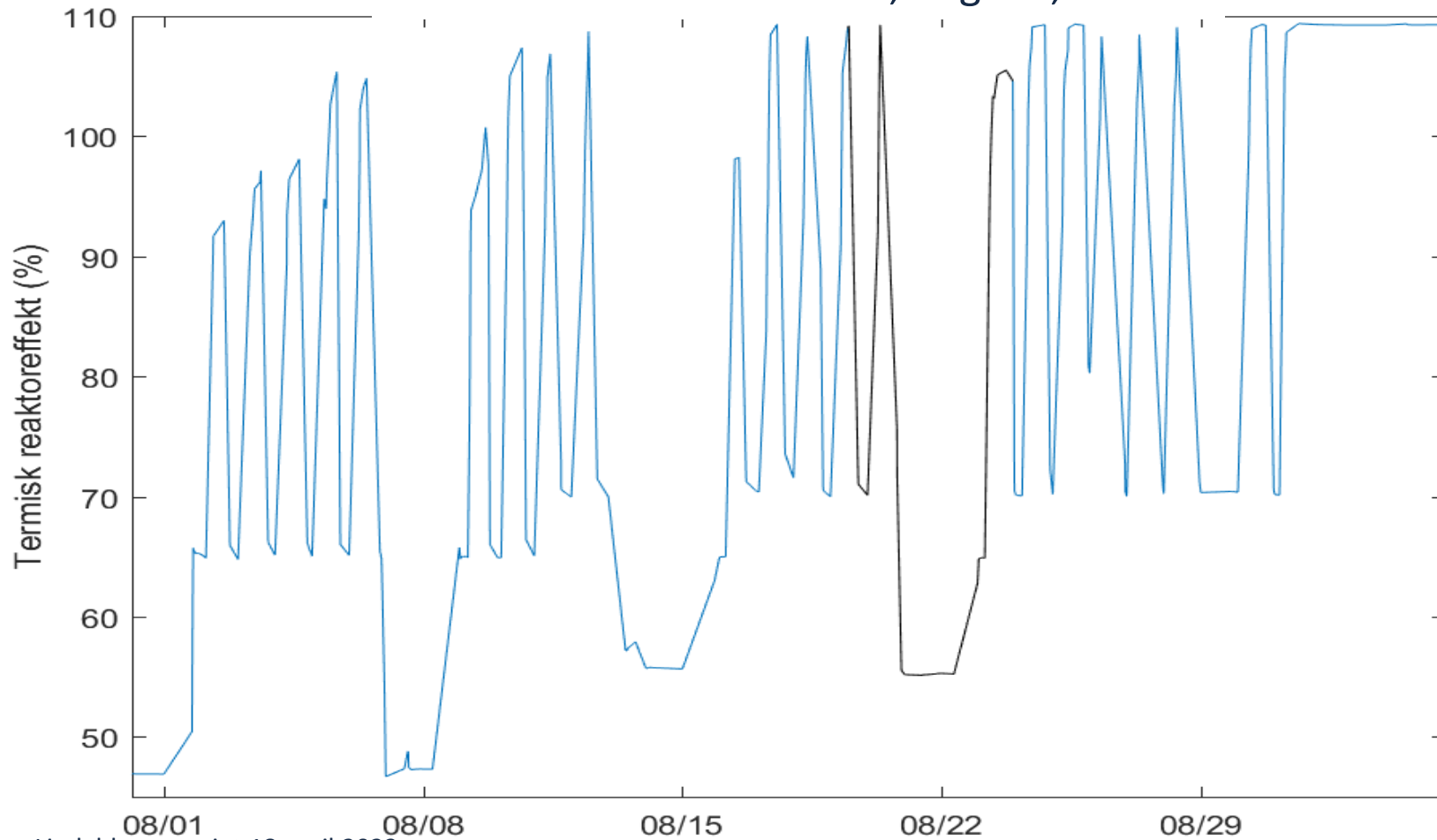
BAKGRUND

- Inslaget av intermittent kraft på nätet ökar
- Icke planerbara krafter i allmänhet anslutna via strömriktare
- Denna presentation beskriver vad som är tekniskt/ekonomiskt rimligt och möjligt att genomföra
- Ett exempel på skarpt införande på Forsmark 3 sommaren 2023 presenteras

DEL I: LASTFÖLJNING

- Det ökade inslaget av intermitterent kraft ger ett ökat behov av att reglera uteffekten
- Tidskala: dagar eller möjligen delar av dagar

Termisk effekt Forsmark 3, augusti, 1993



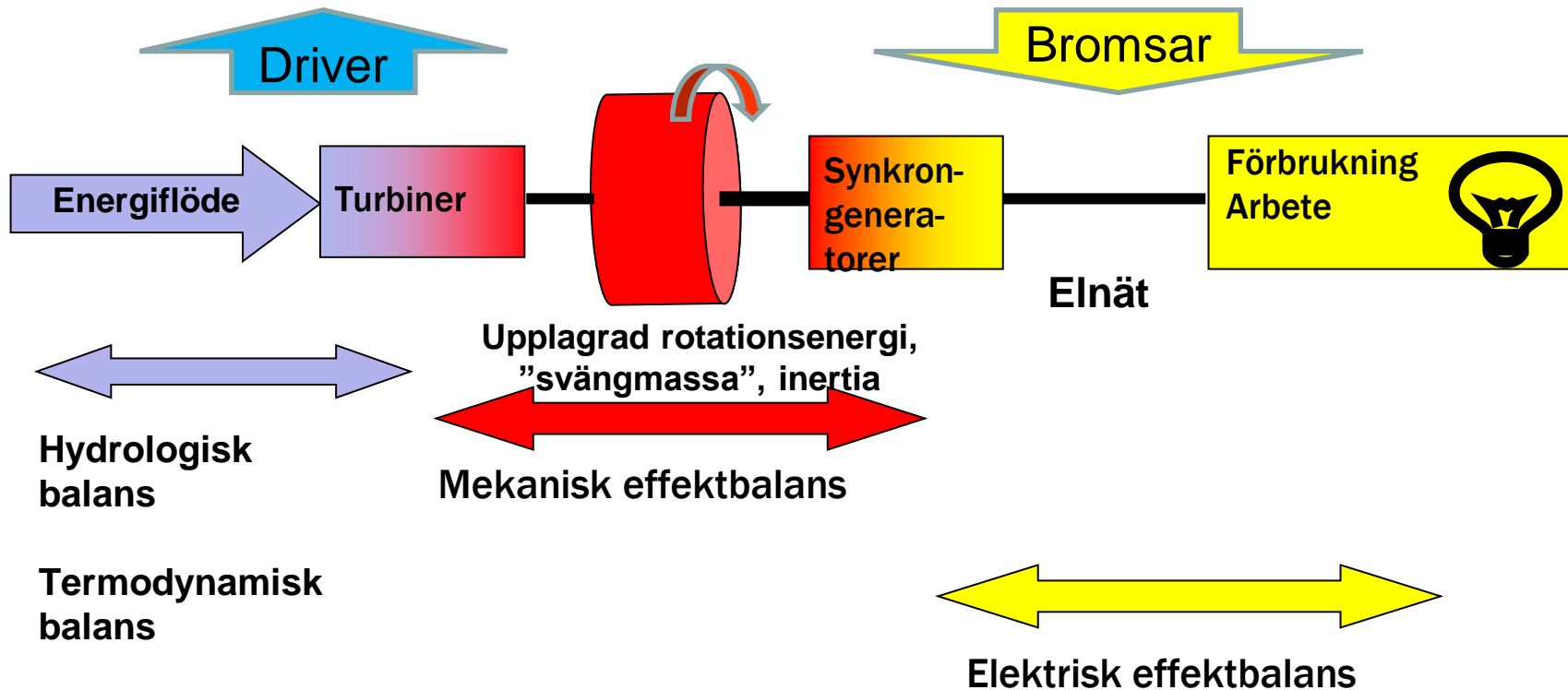
SAMMANFATTNING LASTFÖLJNING

- Vi har gjort detta historiskt och kan göra det igen
- Vi vill undvika stora styrstavsmanövrar om vi har en bränsleskada

DEL II: STORA STÖRNINGAR

- Tidskala: <10-20 sekunder
- Minimera frekvensavvikelsen

BALANS I ETT SYNKRONT ELKRAFTSYSTEM



Sving-ekvationen

$$I \frac{d\omega}{dt} = \tau_m - \tau_e$$

Newtons andra lag:

$$ma = F$$

SVÄNGMASSA

Upplagrad roterande kinetisk energi ("svängmassa") minskar då kärnkraft läggs ned.

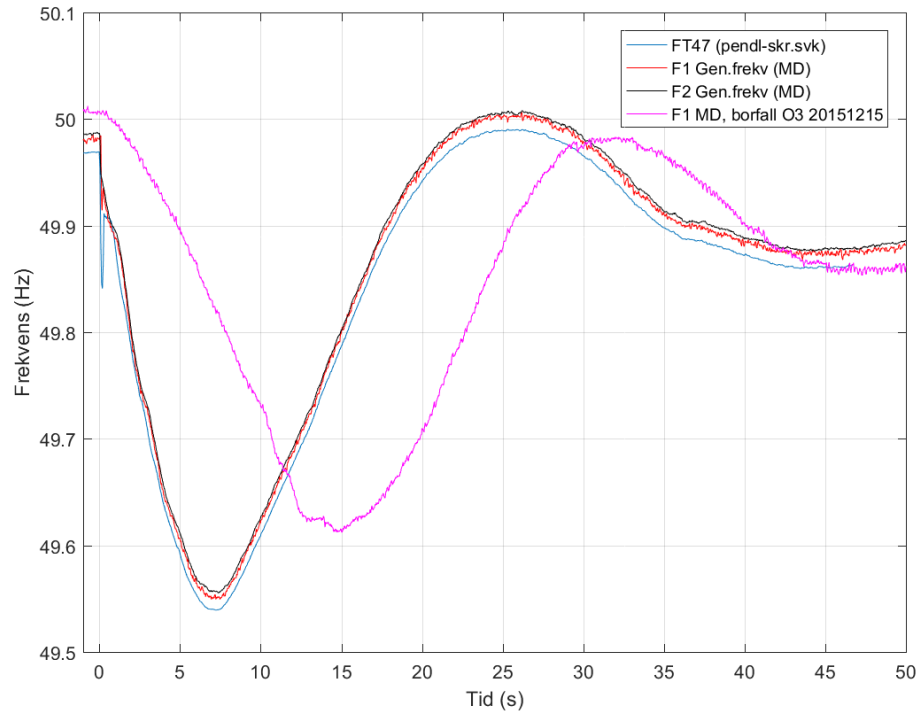
Citat ur teknisk tidskrift 1947:

"Termen *svänghjul* får på grund av hävd tolereras; storheten "svängmoment", även kallad "svängmassa", som numeriskt är 4 gånger en kropps tröghetsmoment, är däremot även som begrepp tämligen suspekt och kan få försvinna utan saknad."

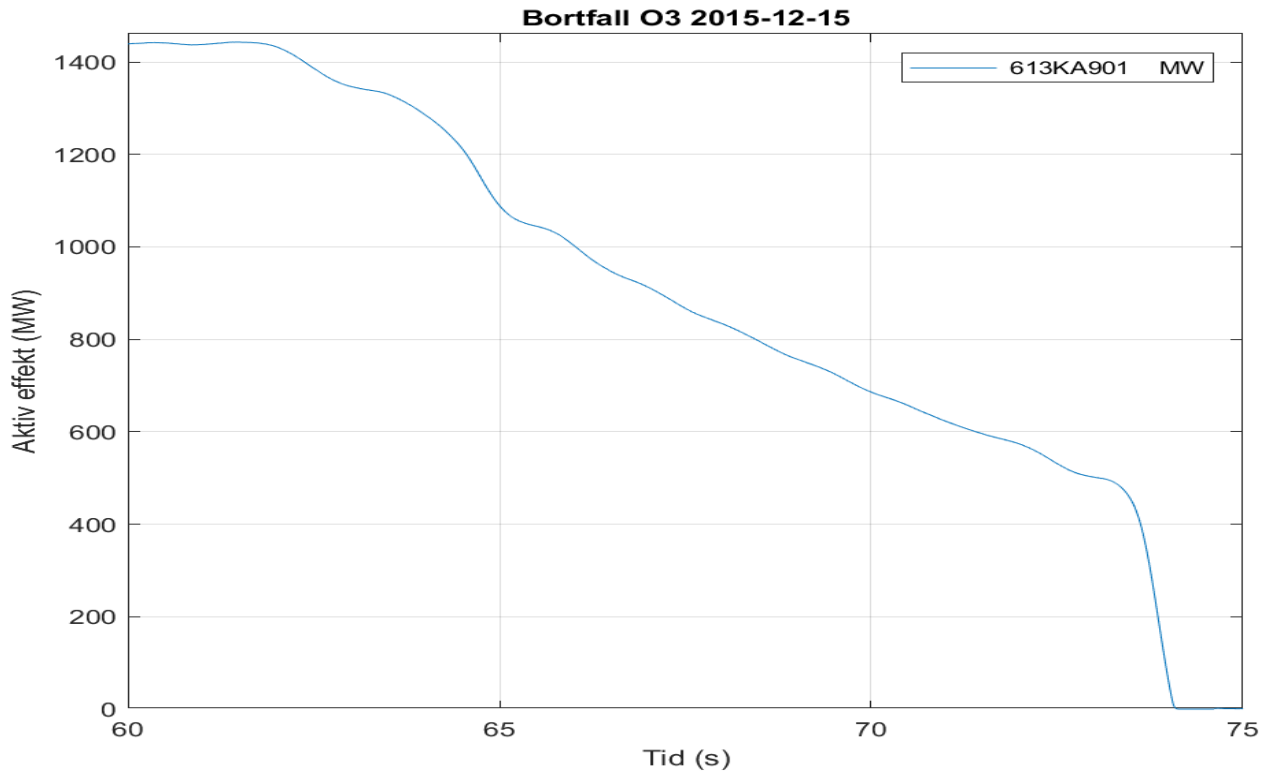
UPPLAGRAD KINETISK ENERGI

$$W_{kin} = \frac{1}{2} I \omega_m^2$$

BORTFALL AV STORT AGGREGAT



O3 BORTFALL



Period:

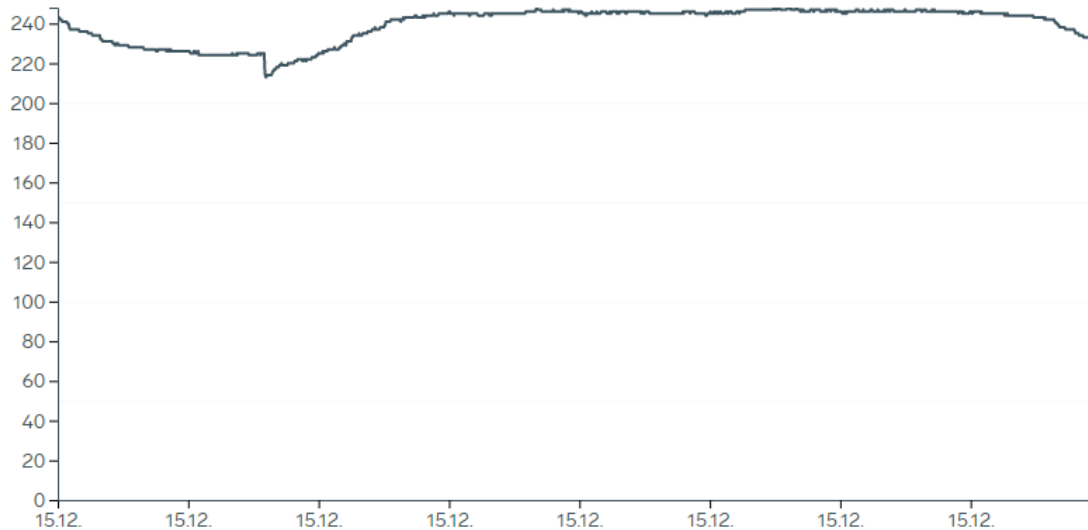
15.12.2015

-

15.12.2015

Search

Voit tarkastella arvoja tarkemmin rullaamalla hiirtä kuvaajan päällä



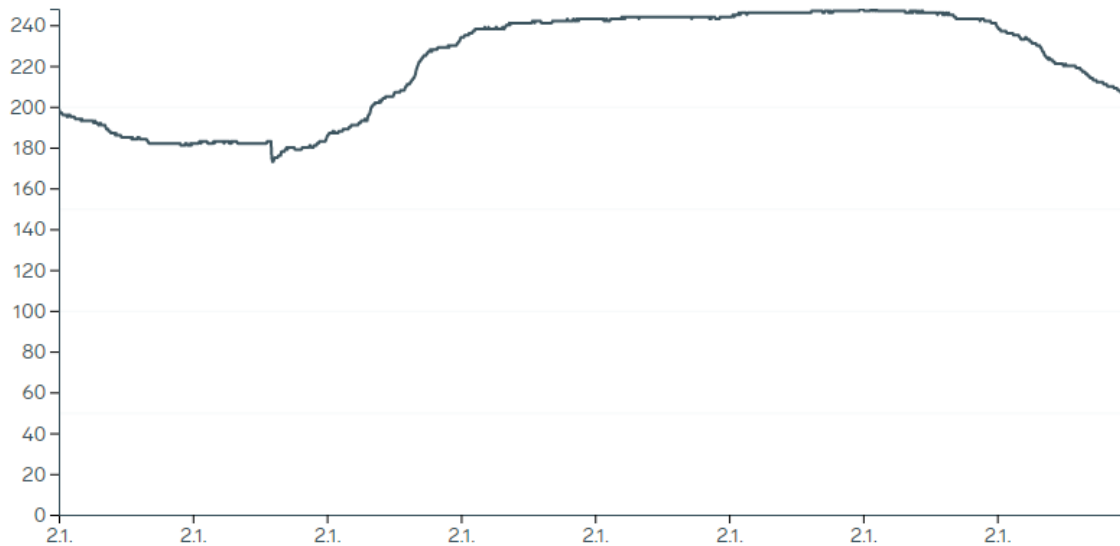
Name	Minimum	Maximum	Average
Inertia	213	248	239 GWs

Period:

2.1.2018

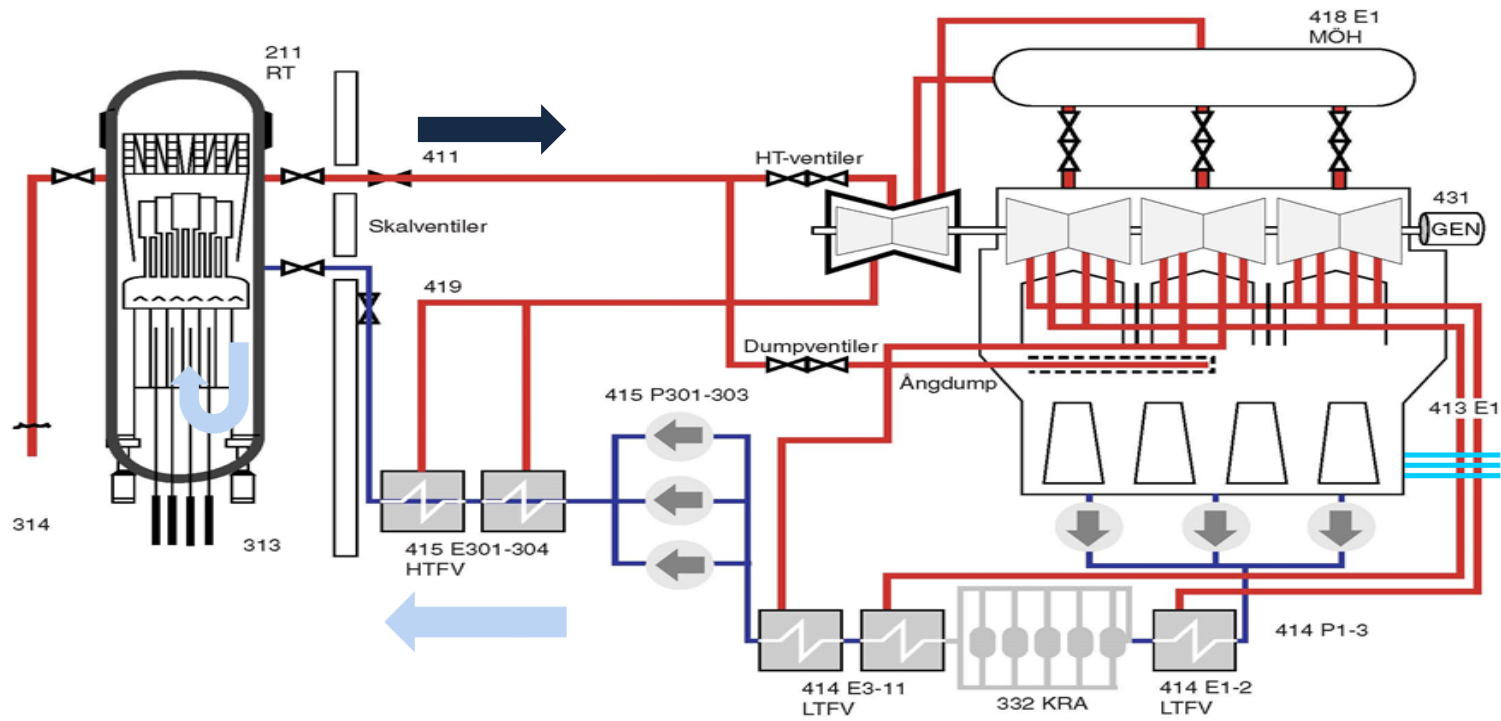
-

2.1.2018

Search*Voit tarkastella arvoja tarkemmin rullaamalla hiirtä kuvaajan päällä*

Name	Minimum	Maximum	Average
● Inertia	173	248	222 GWs

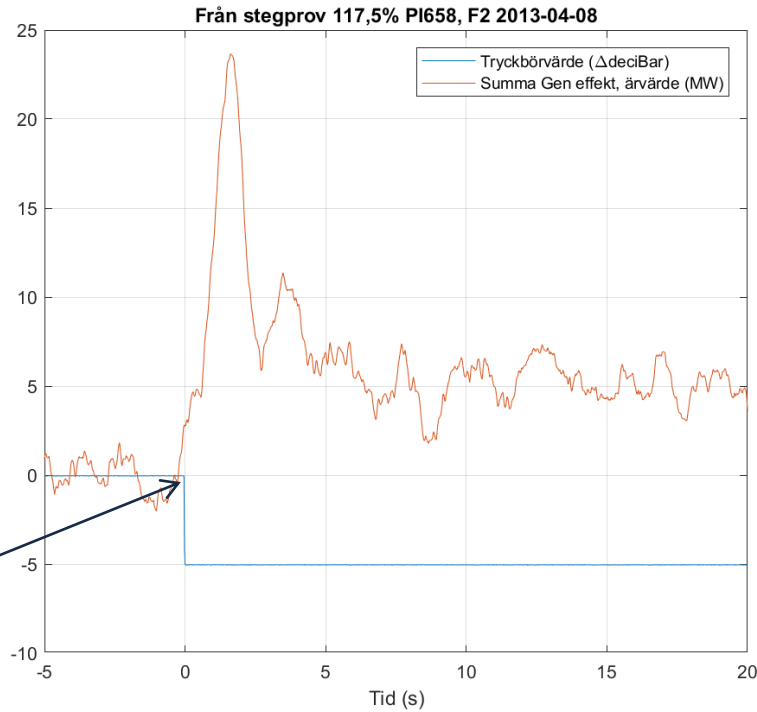
REGLERSYSTEM



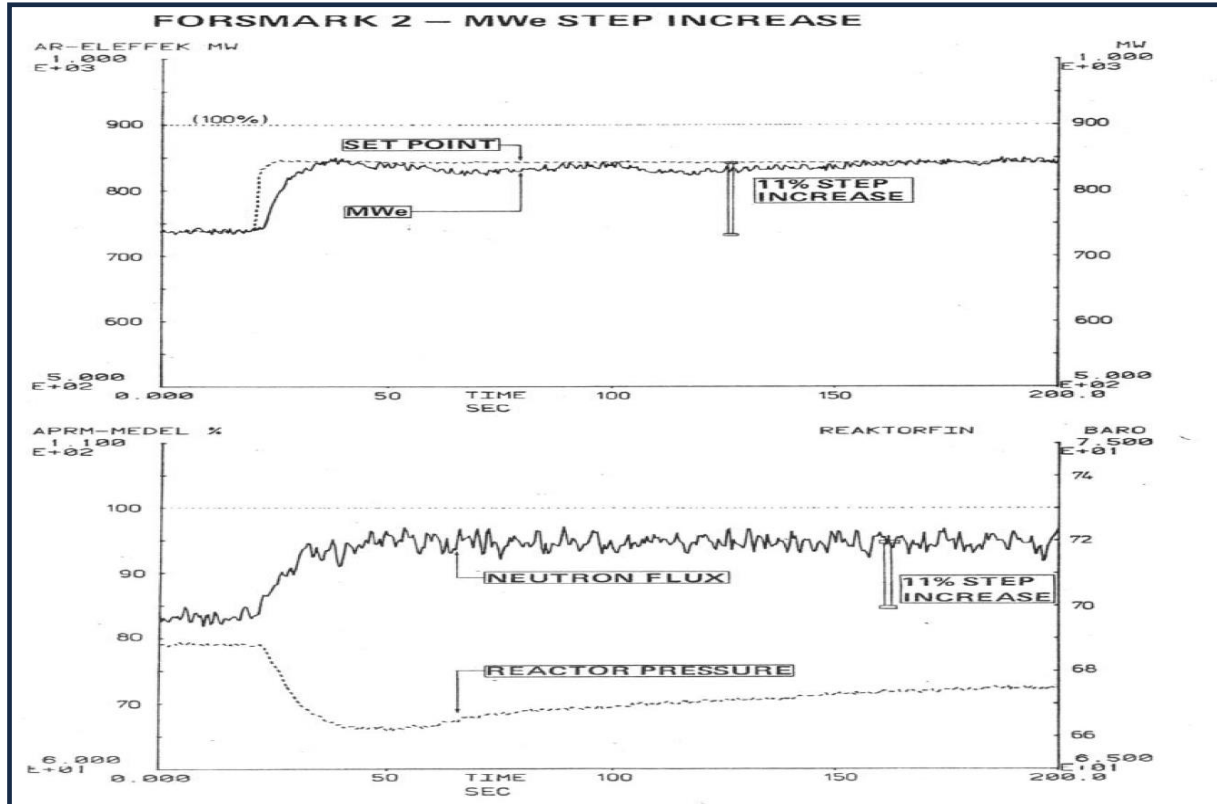
LÅNA ENERGI FRÅN ÅNGDOMEN

PSPA Light

$$\Delta P_{ref} = -0.5 \text{ Bar}$$



PSPA – PRESSURE SET POINT ADJUSTMENT

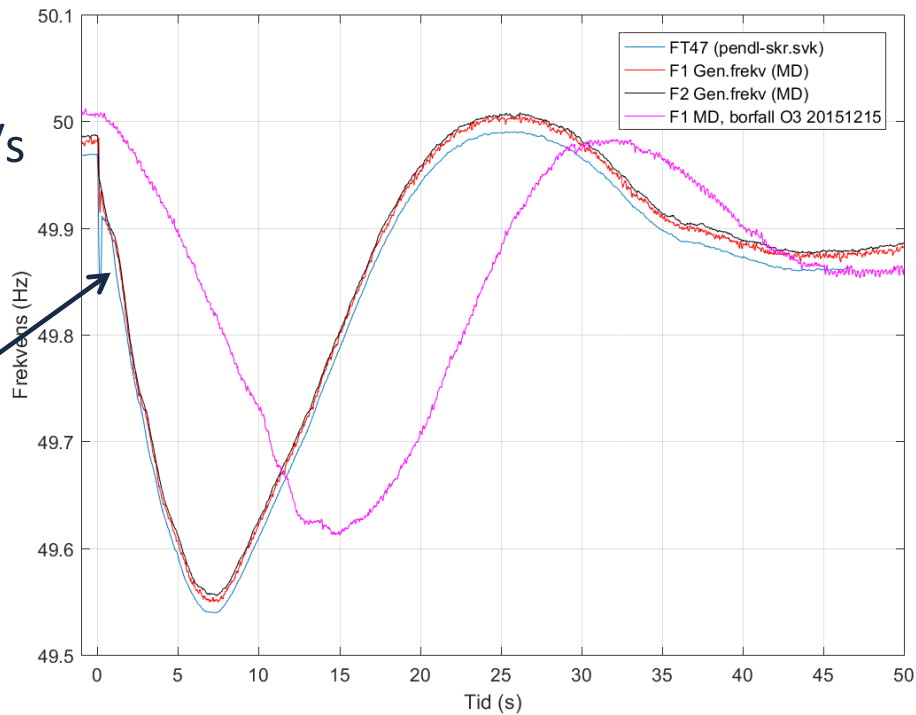


TJUUVSTART

Bekräfta att $f < 49,85$ Hz

OCH att $\frac{df}{dt} < -0,04 \text{ Hz/s}$

Subtrahera 0,5-2 Bar
från tryckbörvärdet



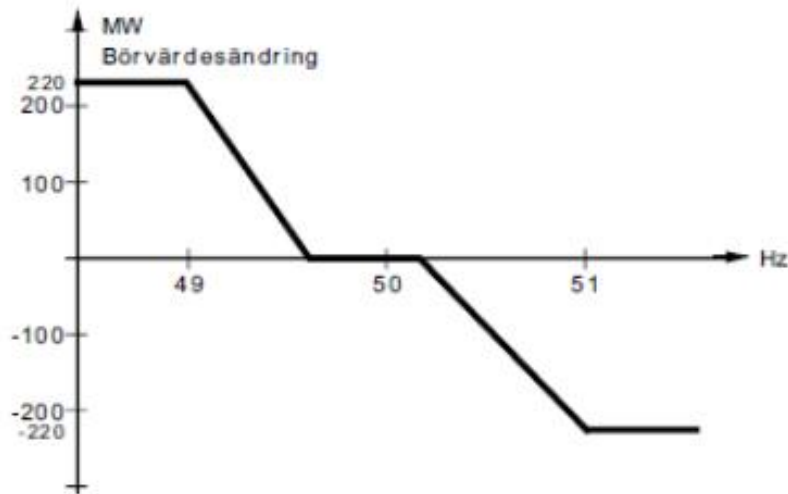
DEL III: NORMAL FREKVENNSREGLERING – FCR-N

- Tidskala: sekunder ~ minuter
- Kontinuerlig reglering

- Hur kan Kärnkraft bidra i det nordiska systemet?

VAD FANNS I URSPRUNGET? FREKVENNSREGLERING

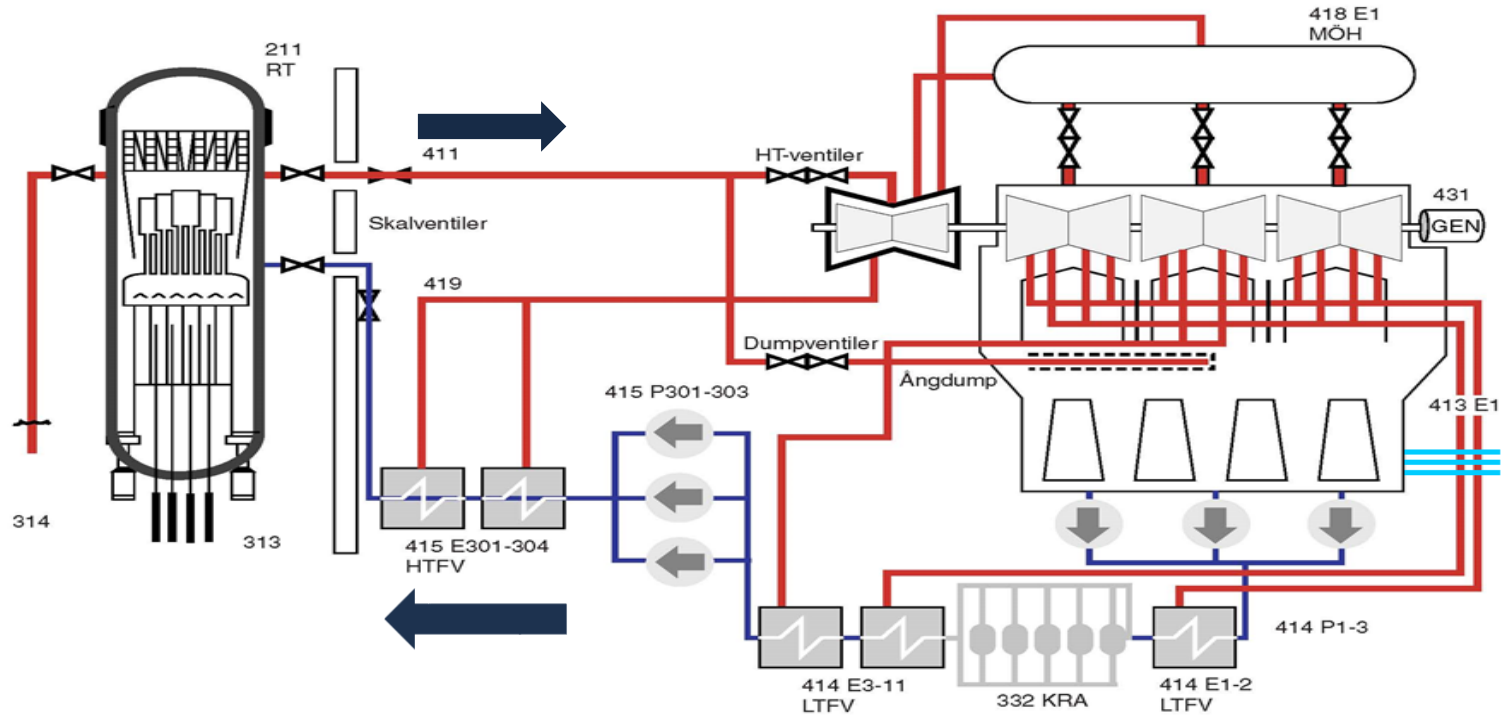
Om nätfrekvensen är 49,4 Hz så kommer effektbörvärdet att ökas $(49,6-49,4) \times 220 \text{ MW})/0,6 = 73,3 \text{ MW}$ om gällande effektbörvärdesbegränsningar tillåter.



Figur 5.4 Effektbörvärdesenhet beroende av frekvensen.

Effektbörvärdesändringen från frekvensregulatorn begränsas i PIP-regulatorn till $\pm 220 \text{ MW}$ (20 %).

HUR BESTÄMS TERMISK EFFEKT?

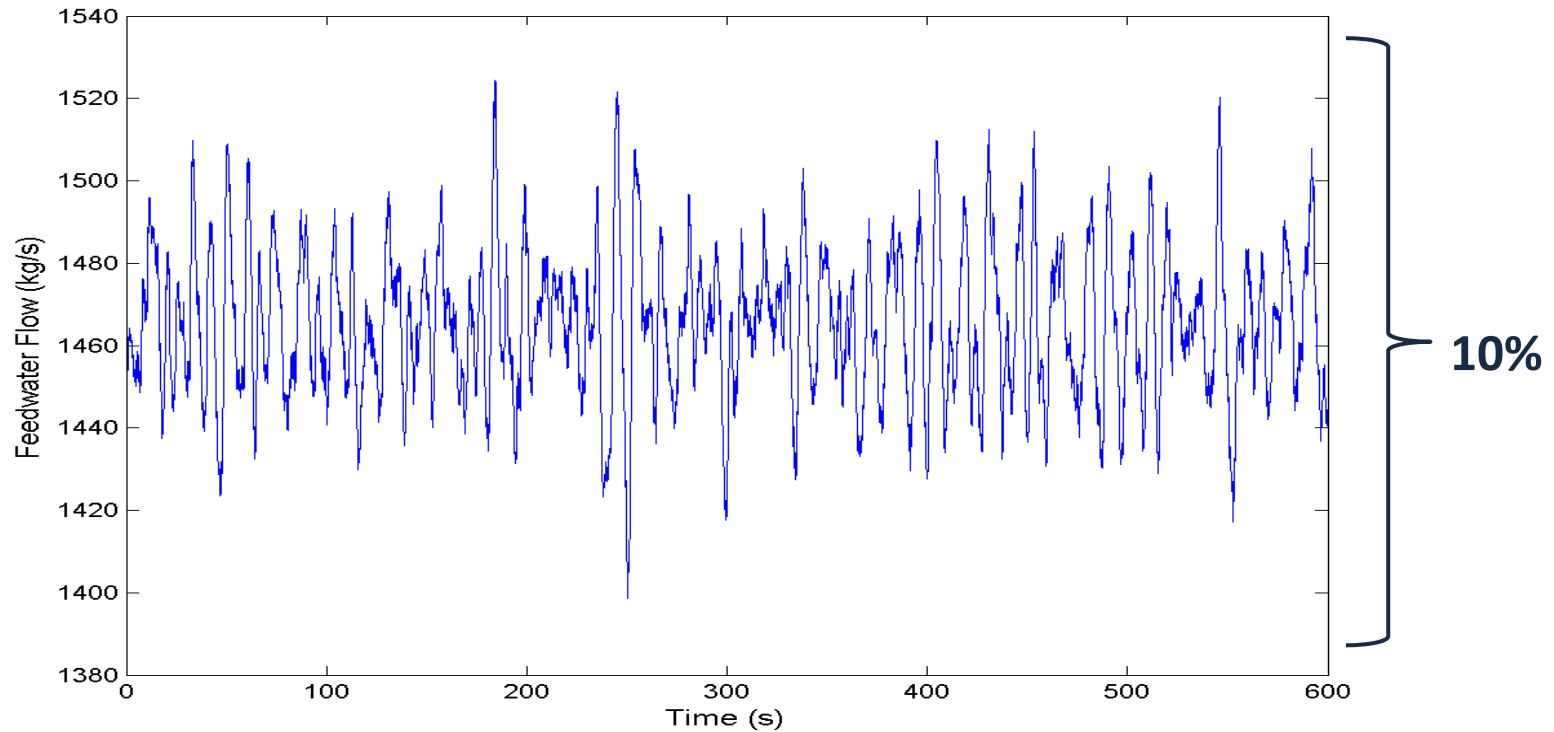


HUR BESTÄMS TERMISK EFFEKT?

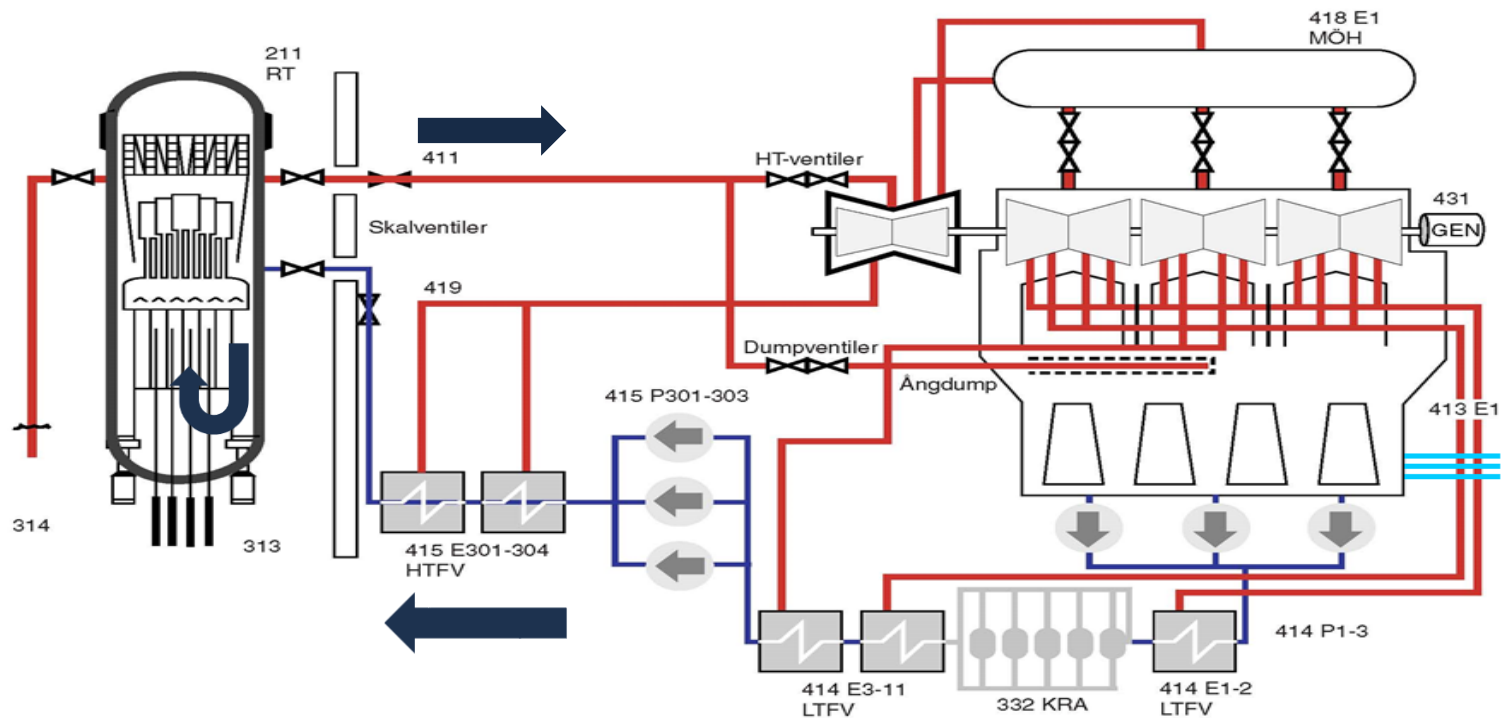
Dominerande osäkerhet vid bestämning av termisk effekt är matarvattenflöde

$$Q = \dot{m}_{FW} (h_{steam} - h_{FW}) + \delta$$

MÄTT MATARVATTENFLÖDE PÅ F2 2012-02-14

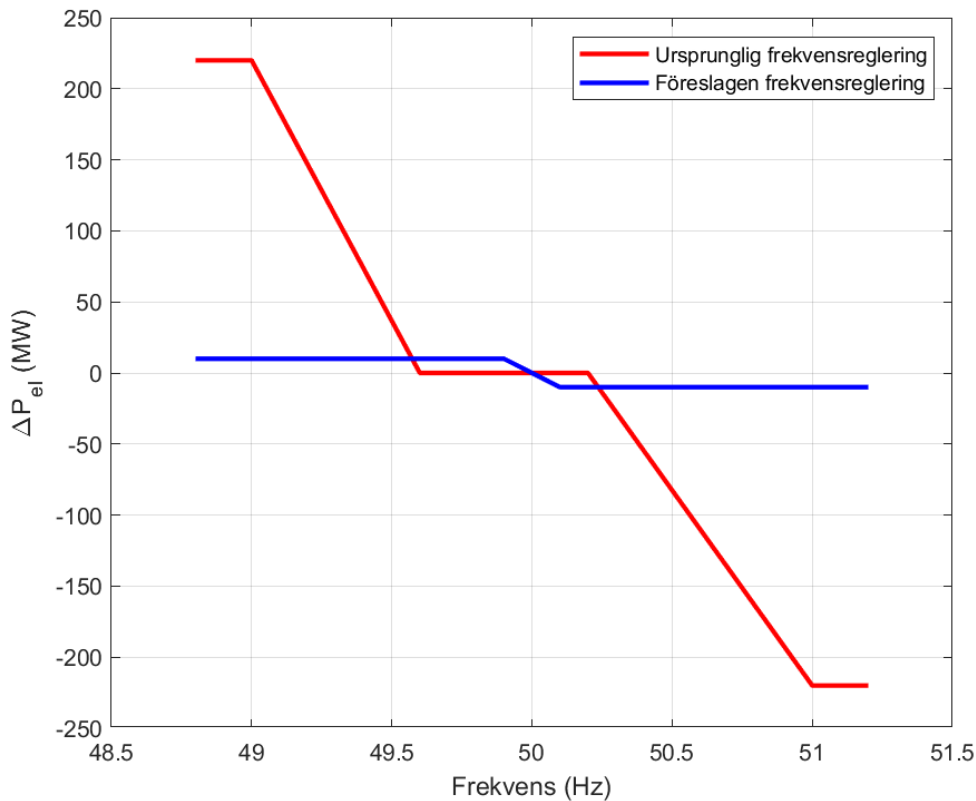


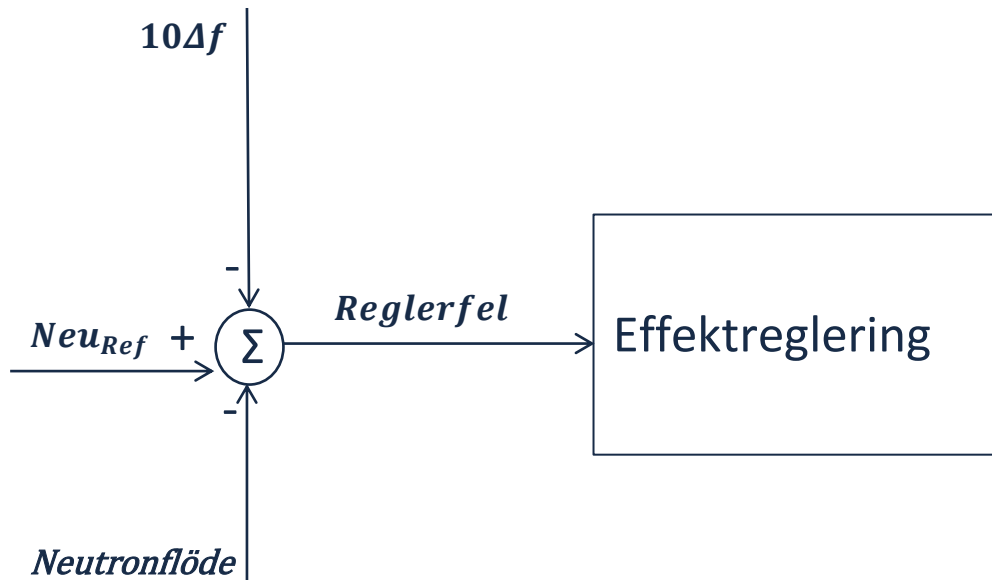
REGLERSYSTEMEN

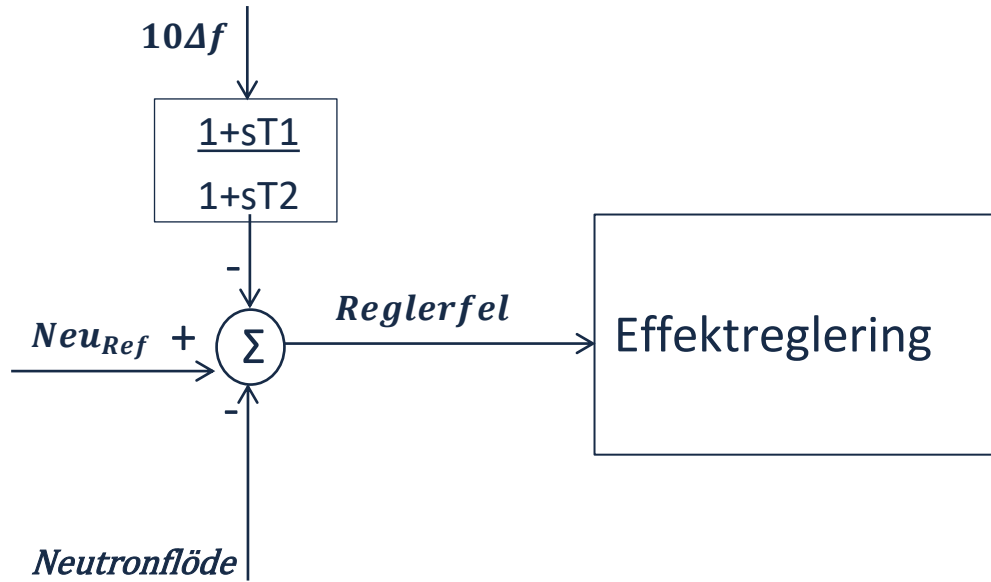


F12-A1-600-008
2000-01

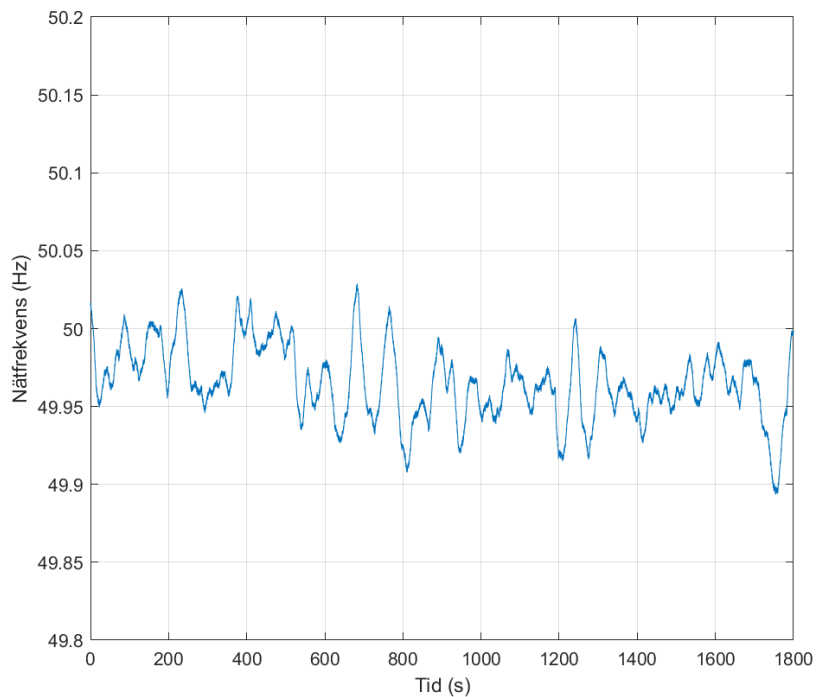
FÖRESLAGEN KARAKTÄRISTIK



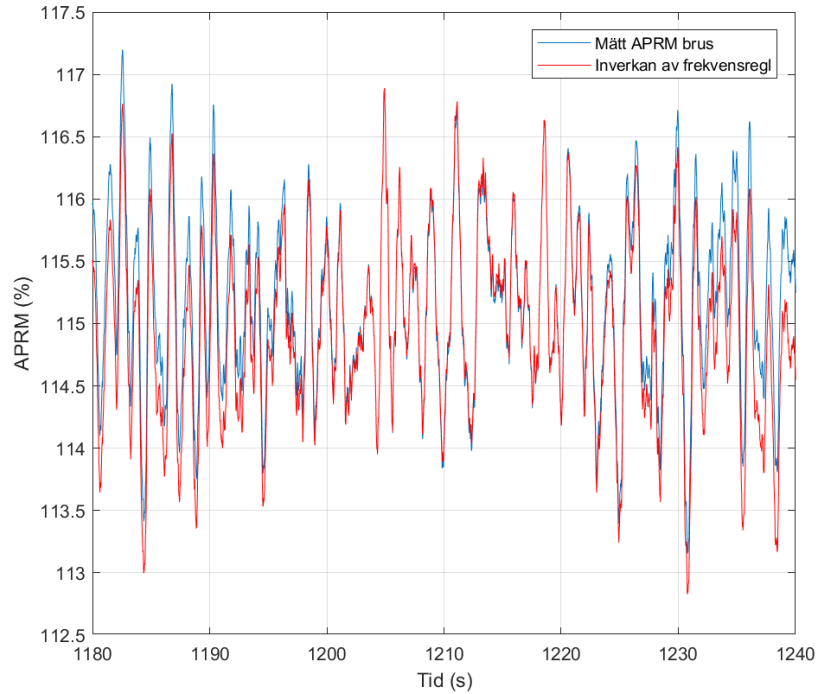




HUR SER DET UT?

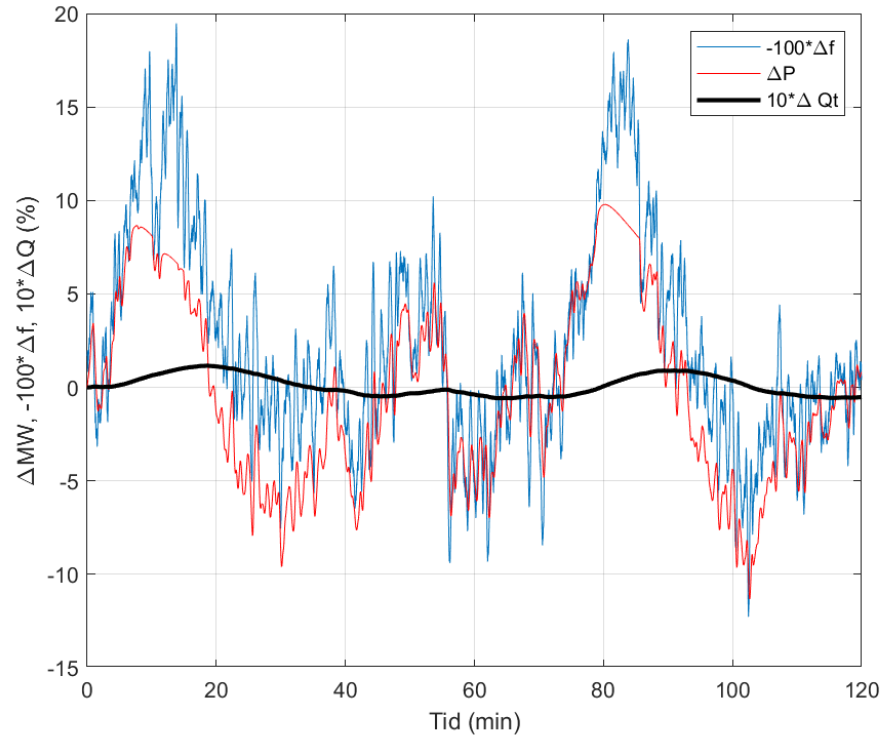


HUR SER DET UT?



Effekten sänkt 0,5%

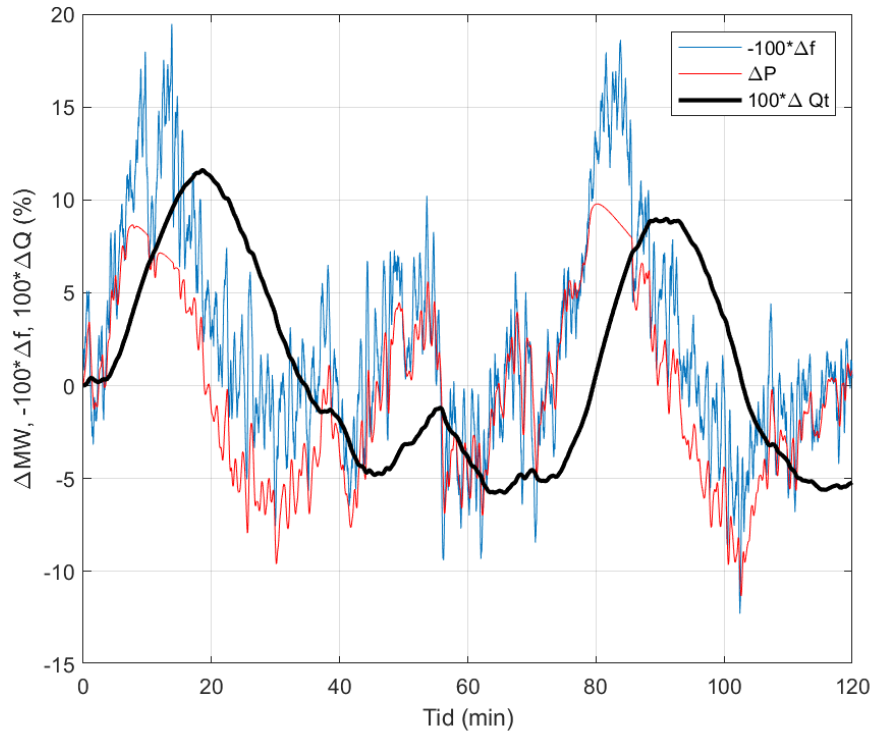
EN MORGON MED FREKVENSDIPP?



2019-01-14

05:50-07:50

EN MORGON MED FREKVENSDIPP

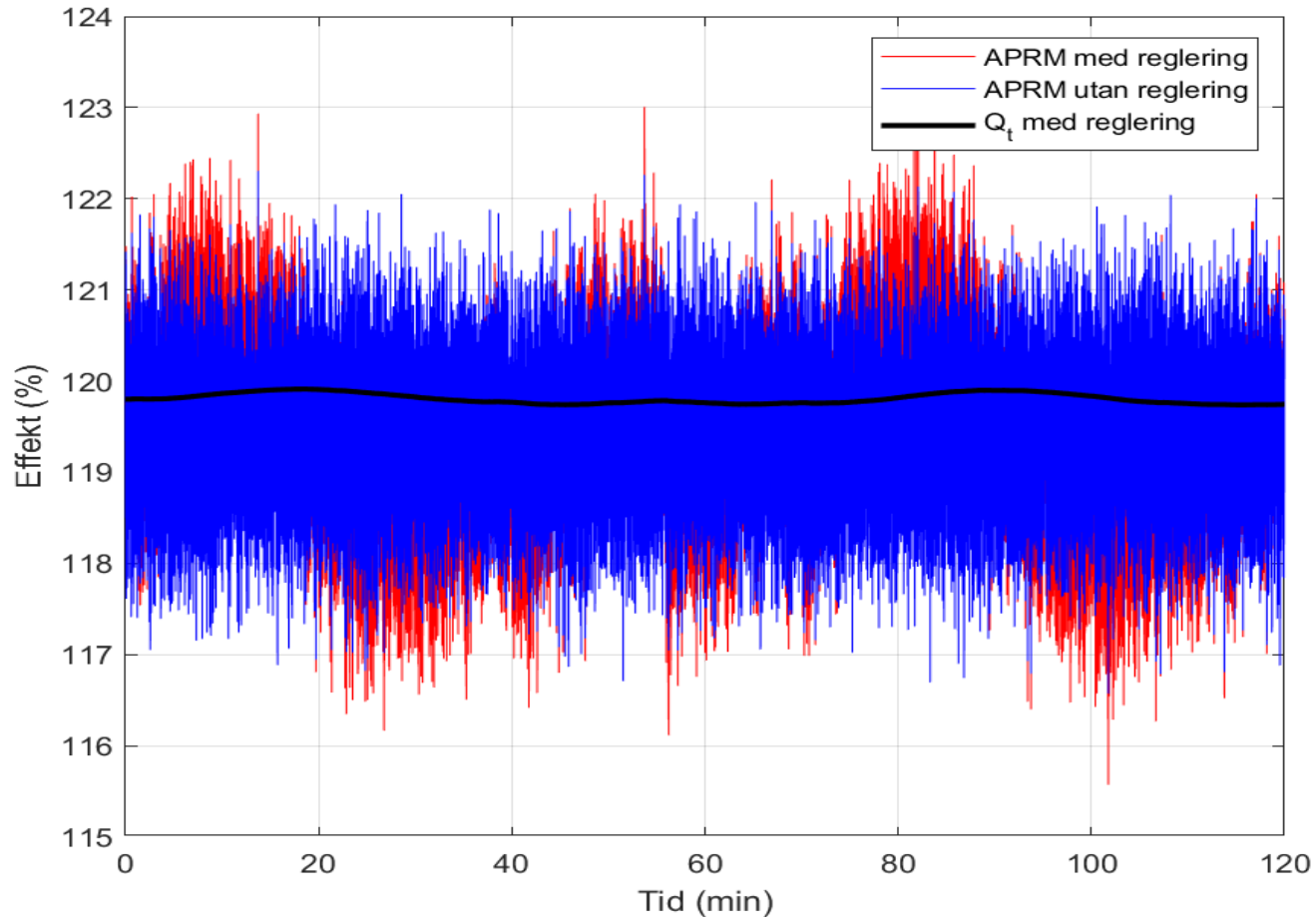


2019-01-14

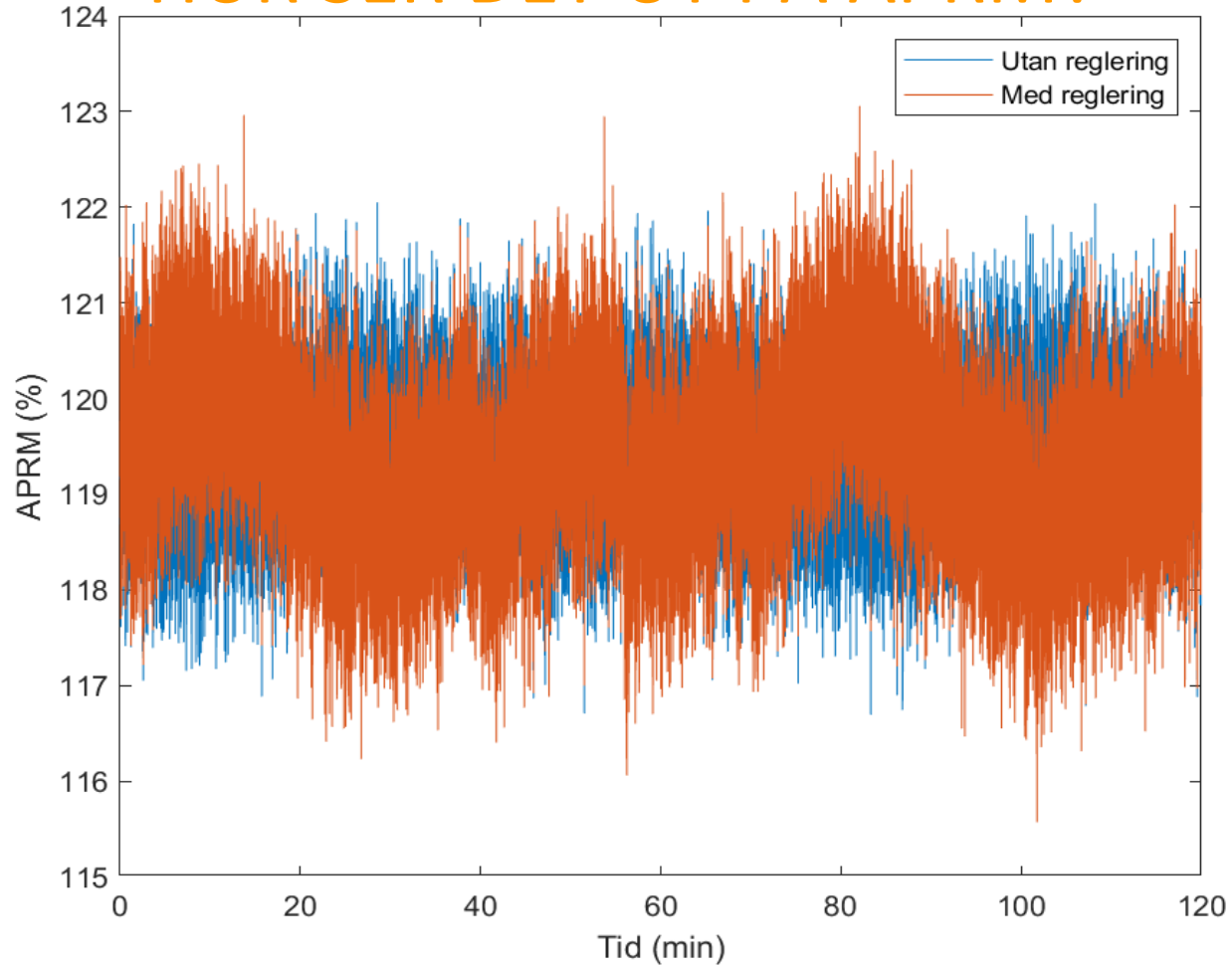
05:50-07:50

Termiska effektens
medelvärde över 2
timmar ökar 0,1%

HUR SER DET UT PÅ APRM?

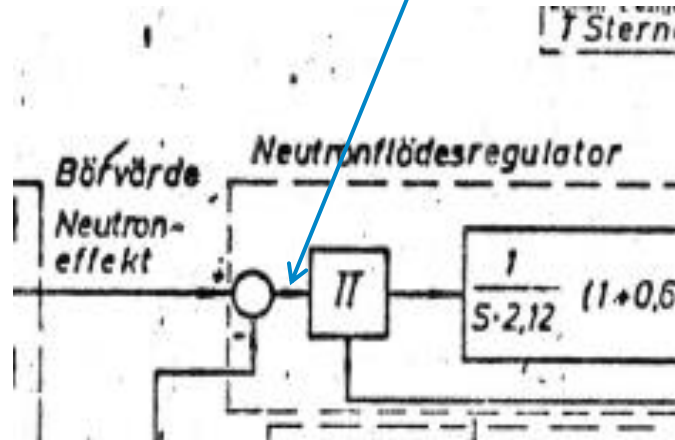


HUR SER DET UT PÅ APRM?

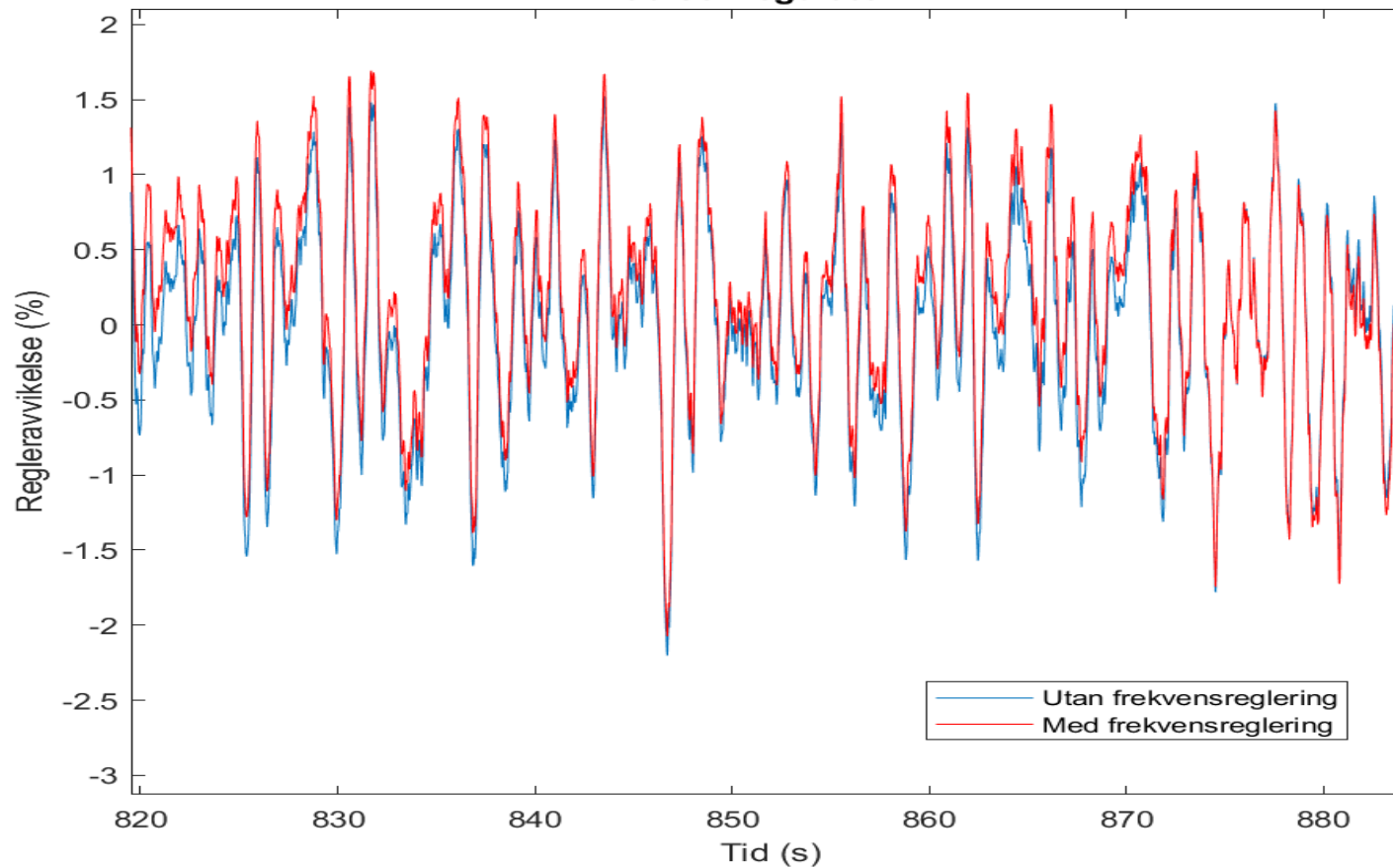


VAD SER REGULATORN?

Reglerfel



Vad ser regulatoren?



GRUNDTANKEN

- Det ska inte synas att vi frekvensreglerar om man inte tittar med lupp
- Vi ska inte behöva sänka effekten lika mycket som vi reglerar
- Det ska vara ofarligt för bränslet
- Det ska vara värt besväret
- Vi ska uppfylla de formella kraven

SAMMANFATTNING

- Lastföljning – inga konstigheter
- Stora störningar – fullt möjligt att det kan bli aktuellt
- Kontinuerlig frekvensreglering – Vi kommer att införa detta på F3 2023

RESERVBILDER I HÄNDELSE AV FRÅGOR

FÖRVÄNTADE INVÄNDNINGAR

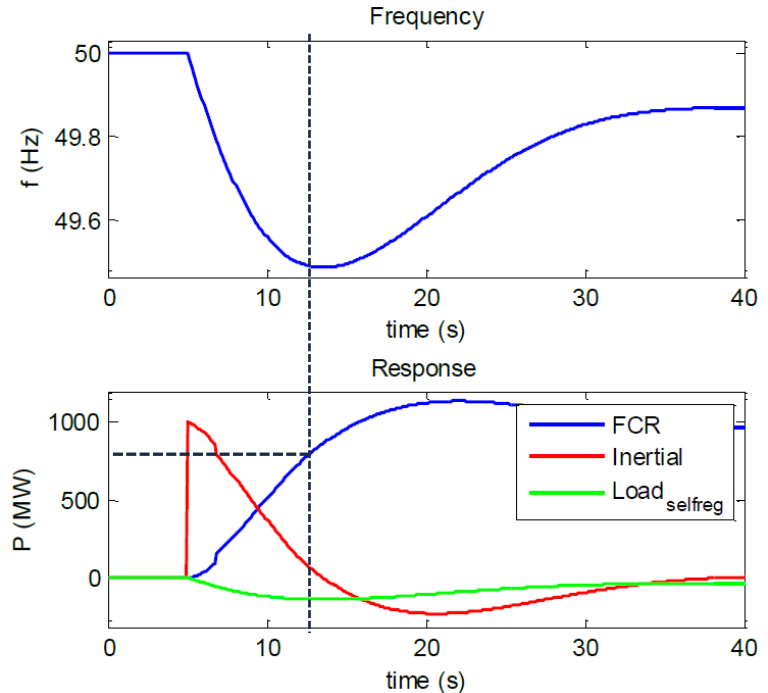
- Tål bränslet detta?
 - **Utan tvekan!**
- Blir det större slitage på hc-pumpar och regleringen?
 - **Förmodligen inte, men denna fråga måste bottnas. Om man tittar på vad regulatorn ser är det lätt att genast dra slutsatsen att det inte kan spela någon roll, men det är inte riktigt sant. Frekvensregleringen slår igenom på hc-pumparna (tidsskalor igen, men denna gång i en "ogynnsam" riktning).**
- Blir det termiska transienter på mavabananerna?
 - **Nej, inte värre än vad vi har. Titta på hur mavafloëdet sett ut i 35 år. Jfr Ringhals 2-4.**
- Utbränning – fissionsproduktinventarium?
 - **Påverkan är så liten att den inte är detekterbar. Tidsskala: veckor.**
- Xenon?
 - **Ej detekterbart. Tidsskala: timmar.**

FÖRVÄNTADE INVÄNDNINGAR

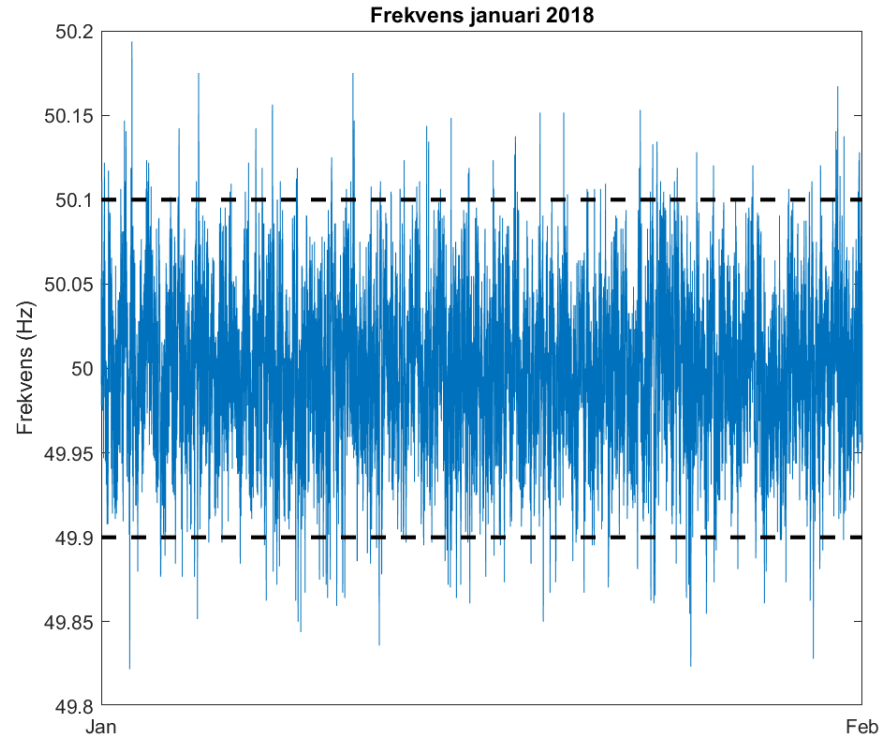
- Köra övereffekt med berätt mod?
 - Vi kan göra detta utan att bryta mot de regler som gäller. Vi har historiskt kört MER övereffekt under längre perioder än denna reglering ger – även om vi minskar effekten 0,1%. Betrakta bortfall av annat block som en H2-transient och arbeta in i SAR.
- Kan det bli växelverkan mellan härdstabilitet och nätstabilitet?
 - I princip ja, men detta löses genom att inte tillåta frekvensreglering då OPRM är aktiv.
- Man ska inte låta någon yttre signal påverka reaktorn
 - Påverkan är liten, dessutom har vi låtit kylvattentemperaturen påverka reaktorn i 35 år.
- Är det värt besväret?
 - Vet inte. Svk kan sprida ljus över denna fråga.

ÄR DET VÄRT BESVÄRET?

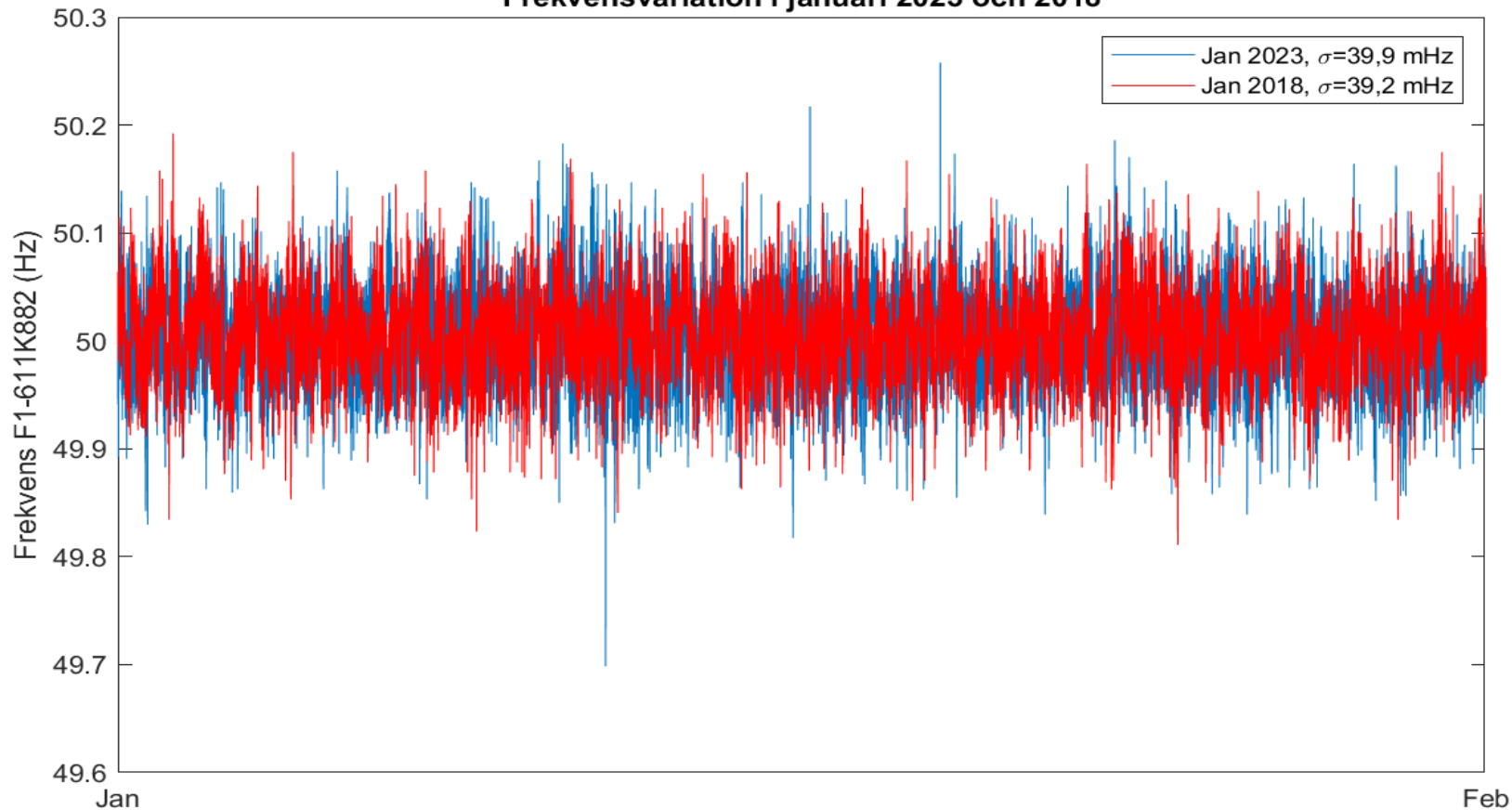
- Figuren är från ENTSOE-rapporten "Future System Inertia". Det simulerade fallet har en total produktion på 36 GW. 1 GW faller bort. Det simulerade systemet har 200 GWs roterande energi.
- FCR bidrar med $750 * 7/2 \approx 2600 \text{ MWs}$
- Om ett verk kan bidra med 60-100 MWs så borde det kunna vara värt besväret, i synnerhet om vi hjälps åt!



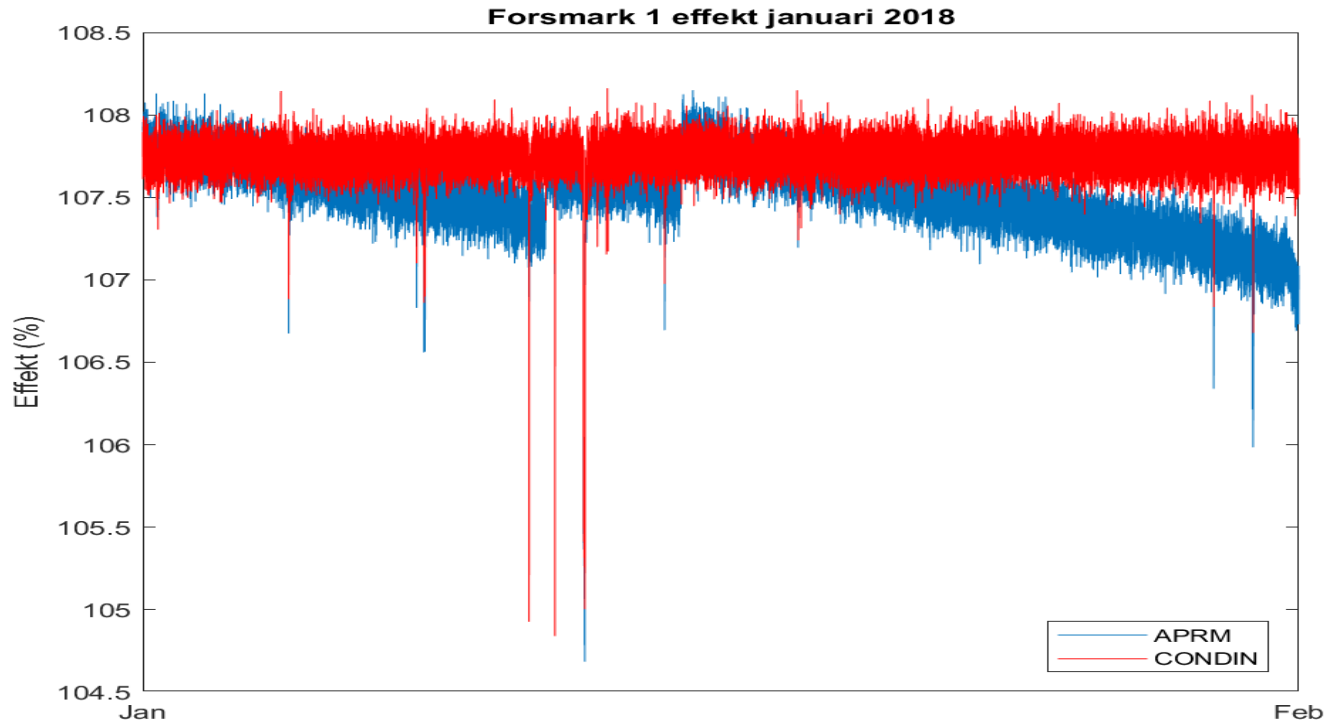
HUR SER DET UT PÅ FREKVENSEN?



Frekvensvariation i januari 2023 och 2018



APRM-UTBRÄNNING

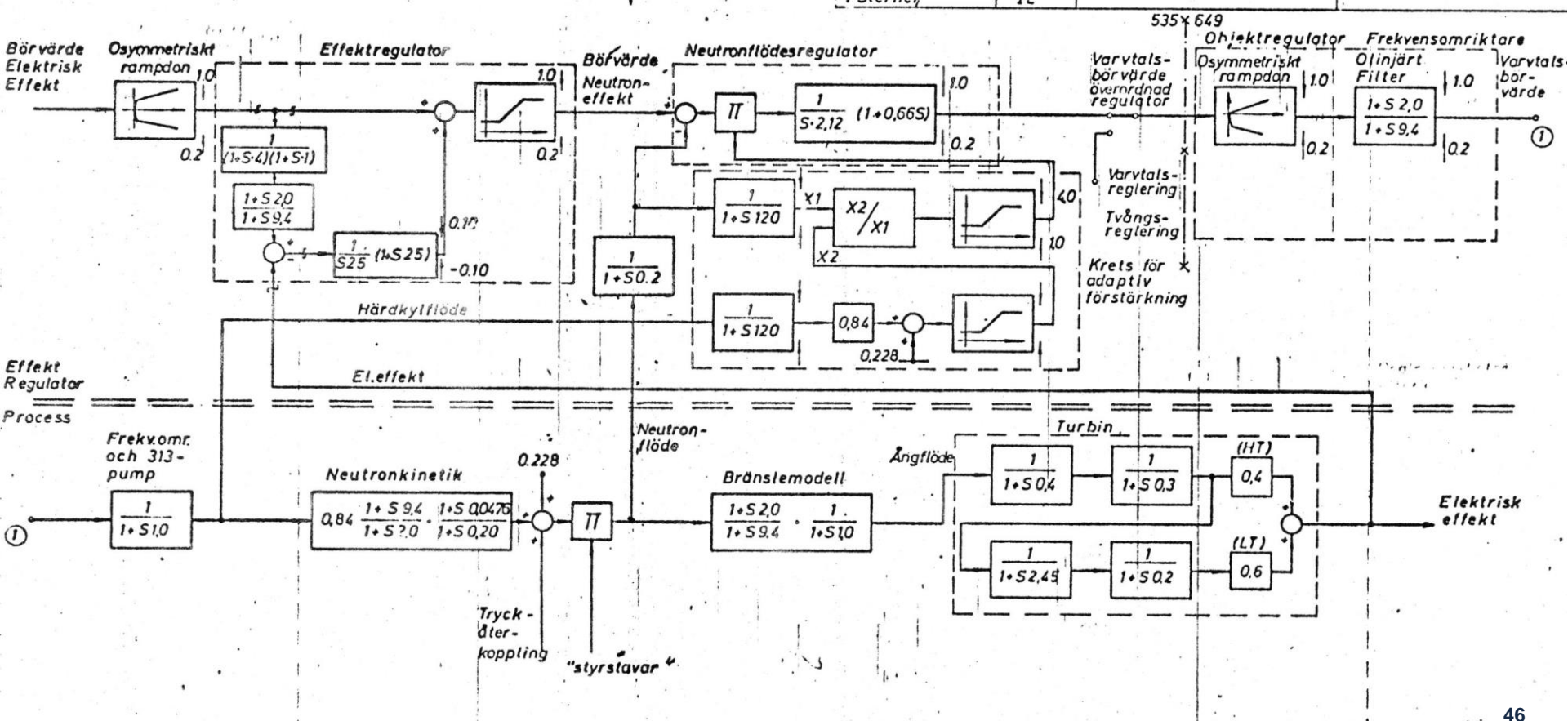


From Computer Desktop Encyclopedia
Reproduced with permission.
© 1999 Bentley Systems, Inc. and Rolf Granstrom, ABB Tekniska Röntgencentralen AB

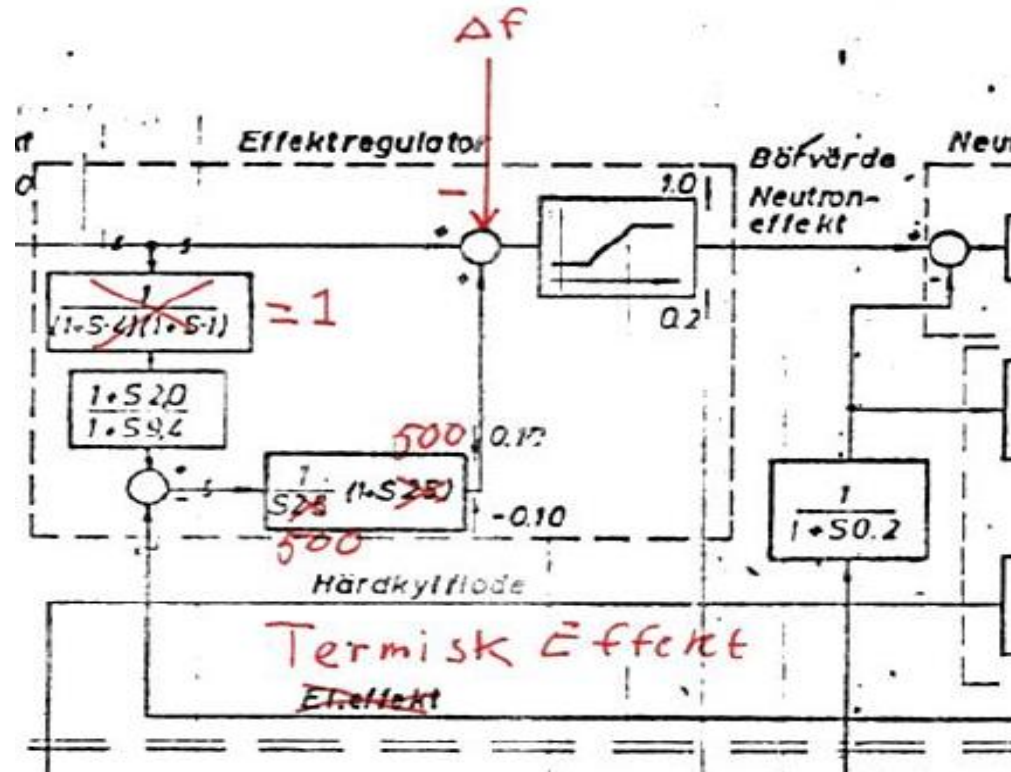


Sture Lindahl-symposiet 18 april
2023

HUR KAN DETTA IMPLEMENTERAS?



TA HÄNSYN TILL NÄTFREKVENSEN



PÅVERKAN PÅ HC-PUMPAR

