

AARHUS UNIVERSITET

ELEKTRISK ENERGITEKNOLOGI

ENERGY SYSTEM STABILITY

GRUPPE 1

PROJEKTRAPPORT

# Implementering af husstands batterier

201505115 - Laurids Givskov Jørgensen

13114 - Jeppe Hansen

Underviser  
Björn Andresen

11. maj 2018

---

**Resume**

**Abstract**

# Indhold

|   |    |
|---|----|
| Indhold                                       | i  |
| 1 Forord                                      | 1  |
| 2 Indledning                                  | 2  |
| 3 Problemformulering                          | 3  |
| 4 Afgrænsning                                 | 4  |
| 5 Systemstabilitet                            | 5  |
| 6 Frekvensstabilitet                          | 7  |
| 6.1 Frekvensregulering og kontrol . . . . .   | 7  |
| 6.2 Batterier som aktivt netelement . . . . . | 9  |
| 7 Spændingsstabilitet                         | 10 |
| 8 Kortslutningseffekt                         | 11 |
| 9 Model validering                            | 12 |
| 10 Simulering                                 | 13 |
| 11 Resultat og diskussion                     | 14 |
| 12 Perspektivering                            | 15 |
| 13 Konklusion                                 | 16 |

# Kapitel 1

## Forord

## Kapitel 2

### Indledning

## Kapitel 3

# Problemformulering

Danmark er et land med stor kapacitet indenfor vedvarende energikilder, især indenfor vindenergi. Dette gør at der i perioder med gunstige vindforhold kan forekomme overproduktion, som er nødvendig at eksportere. En måde at sikre den grønne energi bliver brugt i Danmark er ved at oplagre energien i batterier.

Der vil derfor undersøges muligheden for implementering af batterier i husstande. Det forventes at en stor mængde batterier i husstande vil kunne oplagre overproduktionen af grøn energi.

Derudover vil det undersøges om batterierne vil kunne stabilisere det danske elnet ved fejltilstande og udglatte produktionen henover 24 timer, da batterierne vil kunne bidrage med strøm i perioder med stort forbrug.

Desuden vil det undersøges om de decentrale husholdningsbatterier har en fordel frem for større centrale batteriparker, der er tilsluttet på højere spændingsniveau i elnettet, som f.eks. Tesla's batteripark i Australien.

## Kapitel 4

# Afgrænsning

Projektet afgrænses til at skal indeholde en undersøgelse af følgende tre cases:

**Case 1** Batteriers evne til at stabilisere elnettet ved fejl på nettet.

**Case 2** Batteriers evne til absorbere overproduktion.

**Case 3** Batteriers evne til at udglatte produktion over døgnet.

Derudover kan følgende to cases blive en del af projektet, hvis tiden til det forefindes. Hvis de to cases ikke bliver en del af projektet vil det være relevante cases at undersøge i et opfølgende projekt.

**Case 4** Husstands batteriers stabiliserende effekt af elnettet kontra en central batteripark.

**Case 5** Ø-drift af et boligområde.

En beskrivelse af casene er lavet i kapitel REFERENCE!

Det kunne være relevant at lave en business case på hvordan implementering af batterier i elnettet kunne udføres optimalt. Men i dette projekt fokuseres på de tekniske fordele det kunne medføre at implementere batterier i elnettet. Derfor vil en business case være endnu en ting der vil være relevant at lave i et opfølgende projekt.

Note: Maeske vi skal lave et afsnit der hedder casebeskrivelse.

## Kapitel 5

# Systemstabilitet

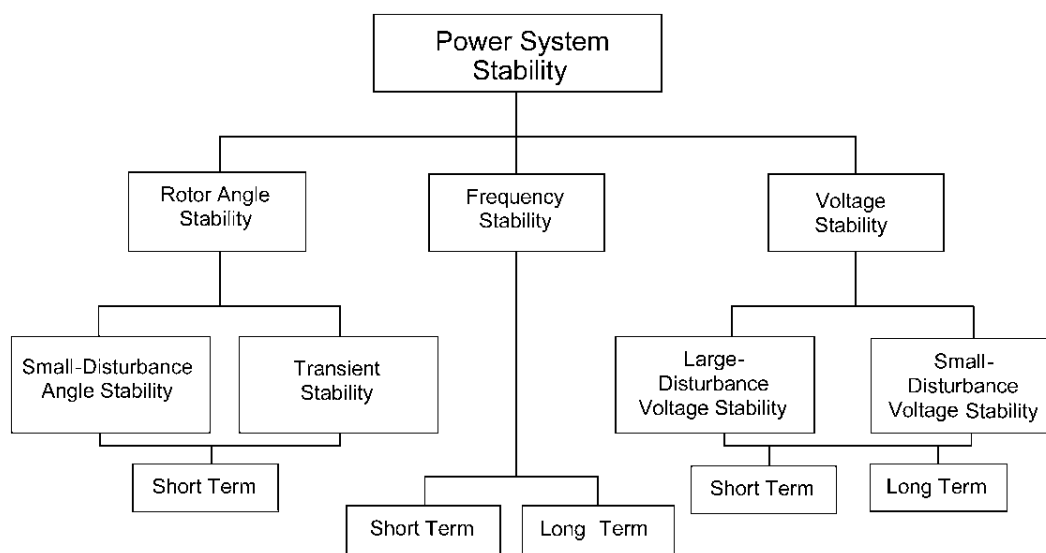
For at kunne forstå den effekt det vil have at implementere batterier i et elnet, skal man først kende til systemstabilitet og de problemer der er relateret til at sikre et stabilt netværk.

Et elektriske netværk i steady state tilstand skal kunne håndtere forstyrrelse og fejl i nettet, sådan at det ikke fejlramte net forbliver i dets steady state tilstand eller finder et ny steady state arbejds punkt efter fejlen er clear.

Derved sikres forsyning til de ikke direkte påvirkede dele af nettet. Systemstabilitet er på den måde viden omkring hvordan man kan designe sit netværk, for at undgå blackouts af større dele eller hele det elektriske netværk.

Systemstabilitet opdeles i tre hovedgrupper: Rotorvinkelstabilitet, frekvensstabilitet og spændingsstabilitet.

Hver gruppe opdeles i forskellige typer ustabilitet der kan forekomme pga. af forstyrrelse eller fejl i nettet. På figur 5.1 ses et overblik over klassificering af systemstabilitet.<sup>1</sup>



Figur 5.1: Klassificering af systemstabilitet

I dette projekt er det hovedsageligt relevant at undersøge implementeringen af batteriers effekt på nettets frekvensstabilitet og spændingsstabilitet. Dette skyldes at frekvensstabilitet hænger sammen med forholdet mellem produktion og belastning af nettet og spændingsstabilitet hænger sammen med belastningen nettet, samt kompensering af reaktiv effekt.

<sup>1</sup><https://www.semanticscholar.org/paper/Definition-and-classification-of-power-system-joint-Kundur-Paserba/5d9e9822845e172a7518218073831dab4ad41643>



Rotorvinkelstabilitet er primært relateret til synkron generatorers evne til at forblive synkroniseret med nettet under fejl og vil derfor ikke være et fokus i dette projekt.

En forklaring af de stabilitetsproblemer der kan forekomme i forbindelse med frekvensstabilitet og spændingsstabilitet er derfor gennemgået i de følgende kapitler.

# Kapitel 6

## Frekvensstabilitet

Frekvensstabilitet dækker over et elektrisk systems evne til at opretholde eller hurtigt genoprette systemfrekvensen, selvom systemet påvirkes af forstyrrelse, der vil resultere i ubalance mellem produktion og belastning. Systemet skal altså kunne reguleres således at der igen opnåes balance mellem produktion og belastning i systemet, uden signifikant tab af belastning. Vedvarende frekvens ustabilitet vil føre til udkobling af produktionsenheder og forbrugere.

Frekvensstabilitet inddeles i *short term* og *long term* stabilitetsproblemer, som vist på figur 5.1.

*Short term* har en varighed på op til 1 minut og defineres som pludselige ændringer i belastningsforholdet. Dette kunne være tab af en større generationsenhed, en transmissionslinje eller en stor forbruger. *Short term* problemer kan udvikle sig til *long term*, hvis systemet, med de umiddelbare til rådige reguleringsreserver, ikke formår at skabe balance mellem produktion og belastning igen.

*Long term* har en varighed fra 1 minut til flere timer og defineres som længerevarende afvigelser fra den nominelle systemfrekvens. Et *long term* problem kunne opstå gennem mistiming af reguleringen af et stort synkron kraftværk grundet en forudset ændring i produktionen fra vedvarende energikilder i systemet, som følge af vejrændringer. Typiske reguleringshastigheder er for et kulkraftværk 1% i minuttet og for et gaskraftværk 10-15% i minuttet.

### 6.1 Frekvensregulering og kontrol

Frekvensstabiliteten opretholdes i normal drift af elnettet gennem handel af elektricitet. Dette sker på timebasis og elektricitetsmarkedet er derfor ansvarlig for at sørge produktionen matcher det forbrug markedet forventer. Ved ubalance i belastningsforholdet har Transmission System Operatoren (TSO) - i Danmark er det Energinet.dk - ansvaret for regulering af produktionen. Der defineres i ENTSO-E Policy 1<sup>1</sup> fire forskellige kontrolreserver til at opretholde den nominelle systemfrekvens.

**Primær kontrol** Det enkelte kraftværks egen regulering. Kan aktiveres på sekunder.

**Sekundær kontrol** Midlertidige produktionsreserve, styret af TSO'en, der kan aktiveres på sekunder/minutter med en varighed på ca 15 minutter.

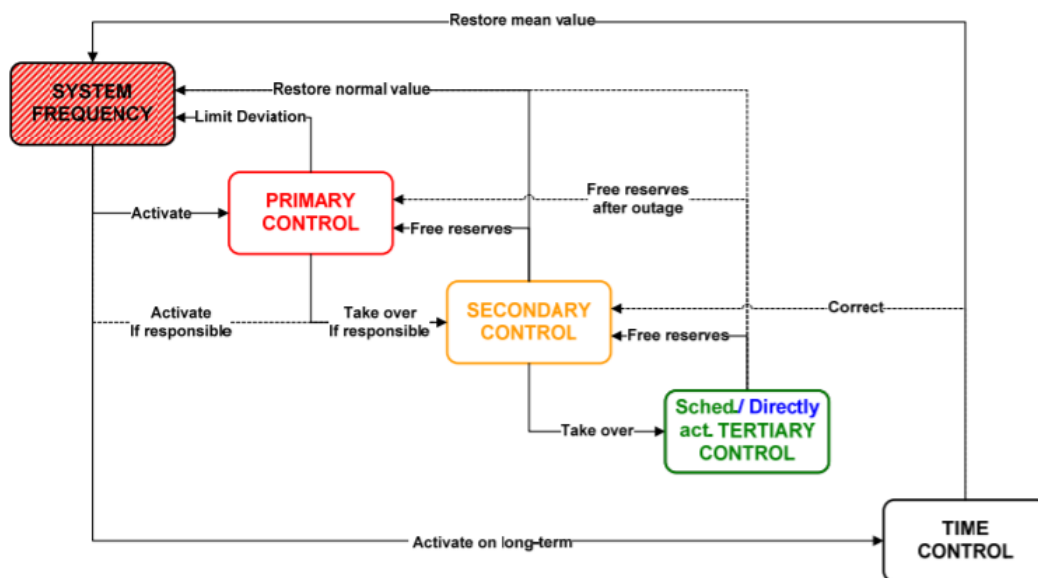
**Tertiær kontrol** Manuelt aktiverede produktionsreserve, styret af TSO'en. Anvendt til længerevarende ustabilitet.

**Time kontrol** Handel på energimarkedet overvåges af TSO'en for at forudse behov for regulering af produktionen.

---

<sup>1</sup>ENTSO-E Policy 1

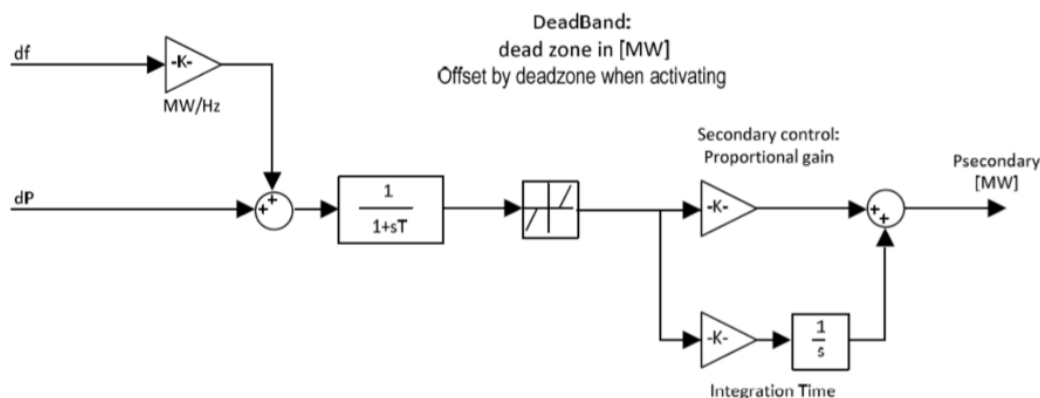
Måden de forskellige kontrolreserver interagerer med hinanden på kan illustres som vist på figur 6.1. En afvigelse fra systemfrekvensen vil føre til aktivering af den primære kontrol, for at undgå tab af synkrone generationsenheder og stabilisere frekvensen ved et nyt arbejds punkt tæt på nominel systemfrekvens. Derefter vil den sekundære kontrol aktiveres for at genoprette den nominelle systemfrekvens. Hvis den sekundære kontrol ikke formår at genoprette systemfrekvensen eller hvis generationsenheder er blevet tabt aktiveres den tertiære kontrol. Den tertiære kontrol dækker også over planlagte aktivering/regulering af produktionsenheder, der vil blive anvendt ved tab af større generationsenheder i forbindelse med forstyrrelsen/fejlen.



Figur 6.1: Skematisk overblik over aktiveringen af kontrolreserver til frekvensregulering

ENTSO-E Policy 1 nedsætter også nogle krav til reservekapaciteten i det centraleuropæiske elnet. Vigtige krav er at den primære kontrol skal aktiveres ved frekvensafvigelser på  $\pm 20\text{mHz}$  og den skal være fuldt ud aktiveret ved afvigelser på  $\pm 200\text{mHz}$ . Størrelsen af den primære reserve bliver fastsat årligt og er på 3000MW. Den primære reserve er normeret fordelt på kraftværker i hele det centraleuropæiske elnet.

Den sekundære kontrol implementeres som en Load Frequency Control (LFC) struktur som vist på figur 6.2.



Figur 6.2: LFC struktur

Ændringen i frekvens sammenholdes med ændringen i aktiv effekt gennem en K-faktor der er faktor der beregnes ud fra et område i systemets afvigelse fra systemfrekvensen i forhold til effektregering pga. aktivering af den primære kontrol. Den samlede påkrævede effektregering filtreres herefter og hvis afvigelsen i frekvens er udenfor et dødbåndsområde vil en PI regulator regulere den generede effekt, sådan at systemfrekvensen igen kan opnåes.

## 6.2 Batterier som aktivt netelement

Måden hvorpå batterier i elnettet kan bidrage til at stabilisere systemfrekvensen er at de både kan absorbere og genere effekt afhængigt af behovet og deres opladningstilstand. Dette kan give fordele i et elnet, hvor andelen er vedvarende energikilder er stor og derved har mindre reguleringsreserve i situationer med utilstrækkeligt vejr.

Her kan batterier fungere som både primær og sekundær reserve grundet den hurtige reguleringsmulighed der er i et rent elektrisk system. Et husstands-batterier har en typisk kapacitet på 14kWh og kan levere 5kW nominelt og 7kW peak<sup>2</sup>. Derfor vil enkelte husstands-batterier ikke kunne bidrage særlig meget til balancering af produktion og forbrug, men en samling af mange husstands-batterier - en såkaldt aggrering vil kunne - vil kunne bidrage med betydelig effekt. Dette kombineret med muligheden for at oplade batterierne i perioder med mulighed for stor produktion fra grønne generationsenheder, så deres kapacitet er til rådighed i perioder med lav produktion fra grønne produktionsenheder kan tilføre den nødvendige fleksibilitet til elnettet for at kunne opretholde systemfrekvensen i en elnet med stor andel af vedvarende energikilder.

Placeringen og typen af batterierne forventes for frekvensstabiliteten at være ubetydelig, da den den generede effekt bare skal matche den absorberede for systemet for at opretholde den nominelle systemfrekvens.

Noget med inertii??? eller rettere mangel derpå??

---

<sup>2</sup>TESLA

## Kapitel 7

# Spændingsstabilitet

## Kapitel 8

# Kortslutningseffekt

## Kapitel 9

# Model validering

## Kapitel 10

# Simulering



## Kapitel 11

# Resultat og diskussion

## Kapitel 12

# Perspektivering

## Kapitel 13

## Konklusion