23-09-2026

Grid forming

- Egenskaber og potentialer i distributionsnettet

GREEN POWER DENMARK

Præsentation



Tobias Fyllgraf
TOF@greenpowerdenmark.dk
Tlf. 3530 0458

Chefkonsulent – Green Power Denmark
Netteknik, Nettilslutning:

- Elkvalitet
- Nettilslutning og krav
- Nettilslutningsvilkår og netprodukter

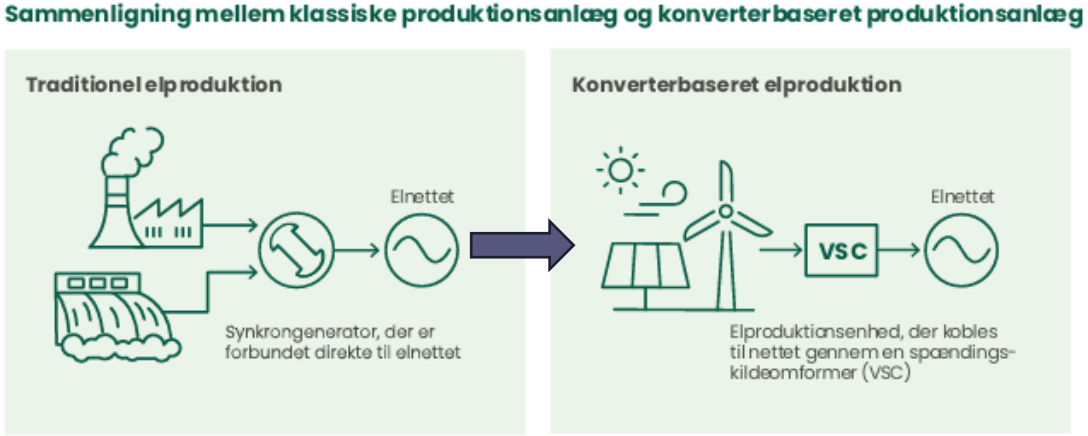
Baggrund

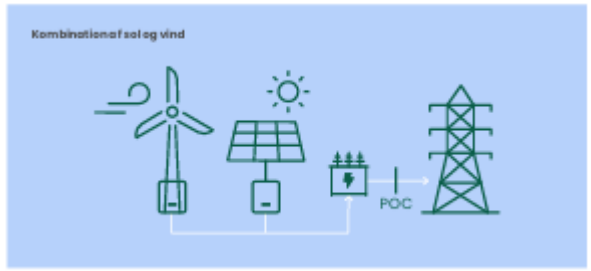
- Energisystemet er under udvikling
- Danmark skal sætte ind, hvis vi fortsat vil være blandt de førende lande inden for grøn energi, systemdrift og energiteknologi
- Der er behov for forskning i et robust og forsyningssikkert energisystem, herunder vha. Grid-Forming.

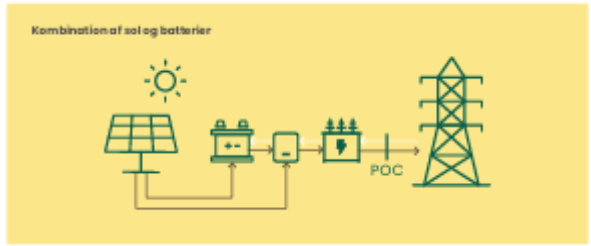


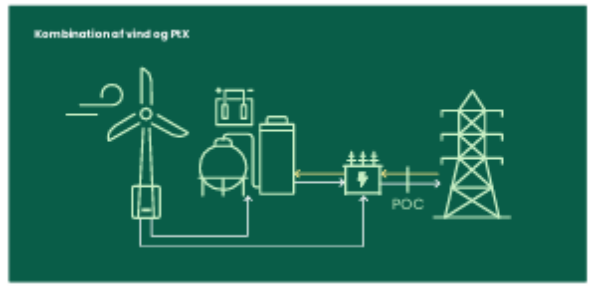
Udviklingen i energisystemet

Systemet decentraliseres og bliver konverterbaseret



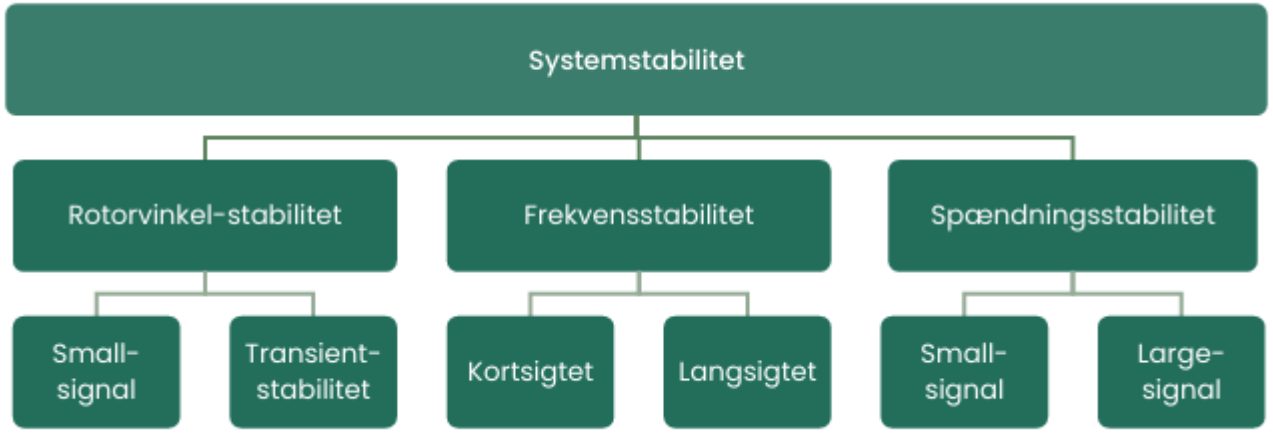






Konverterbaseret anlæg og systemstabilitet

- Elsystemet er en af samfundets mest kritiske infrastrukturer og skal fungere med ekstrem høj pålidelighed og stabilitet. Både i normal drift og ved driftsforstyrrelser som f.eks. udfald af vigtige elforbindelser eller havari på store produktionsanlæg.
- Balancen mellem produktion og forbrug skal derfor opretholdes kontinuerligt og i realtid. Hvis denne balance ikke fastholdes, kan selv mindre forstyrrelser eskalere og i værste fald føre til omfattende systemnedbrud.
- For at sikre stabil drift skal en række systembehov derfor være opfyldt.
  - Disse håndteres bl.a. gennem nettilslutningskrav til produktions- og forbrugsanlæg
  - Indkøb af systemydelser fra forskellige anlæg.
  - Integrerede netkomponentet



Systemstabiliteten skal fortsat understøttes

- Historisk har Centrale kraftværker opfyldt mange af de nødvendige egenskaber
- Konverterbaseret teknologier bliver løbende bedre til at overtage disse funktionaliteter, men der mangler forskning.

- Flere og flere egenskaber kan understøttes af Grid forming egenskaber.

Teknologi	Frekvens-stabilitetsydelser		Spændings-stabilitetsydelser		Rotorvinkel-stabilitetsydelser		Black start
	Kortsigtet (Inerti/FFR)	Langsigtet (FCR/FRR)	Small-signal	Large-signal	Small-signal	Transient-stabilitet	
Centrale kraftværker	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
HVDC VSC	→	✓	✓	✓	→	→	→
Solceller	→	→	→*	→*	✗	✗	✗
Hybrid solcelleanlæg	→	→	→	→	→	→	✗
Landvindmøller	→	✓	→	→	→	→	✗
Havvindmøller	→	→	→	→	→	→	→
Husstands-batterier	✗	→	→*	→*	✗	✗	✗
Utility-scale batterisystem	→	→	→	→	→	→	→
PtX-anlæg	→	→	→	→	→	→	✗
Elbiler	✗	→	✗	✗	✗	✗	✗

✓ Tilgængelig i dag

→ Tilgængelig i fremtiden med mere forskning og udvikling

✗ Ikke tilgængelig

* Kun lokalt

Hvad er Grid-following?

- Grid-following er en konverterteknologi, hvor anlægget tilpasser sig elnettets eksisterende spænding og frekvens uden selv at danne dem.
- Det betyder, at an ægget er afhængigt af et stabilt net for at kunne fungere korrekt

Hvad er Grid-forming?

- Grid-forming er en avanceret konverterteknologi, hvor anlægget aktivt danner og opretholder elnettets spænding og frekvens - en rolle, som traditionelt blev varetaget af synkrongeneratorer i kraftværker.
- Denne teknologi gør det muligt for GFM-anlæg at stabilisere nettet.

GREEN POWER DENMARK

Krav til Grid forming: RfG 2.0

- Der skal udarbejdes en roadmap for Grid-forming egenskaber.
  - Hertil skal behovet for grid-forming egenskaber defineres for:
    - Type A (optil 125 kW)
    - Type B (optil 3 MW)
    - V2G (> 50 kW)
  - Forsyningstilsynet beslutter, hvornår grid-forming krav bliver obligatoriske for mindre anlæg
  - Grid-forming egenskaber skal specificeres for Type C anlæg og derover.

Article 29

Grid forming capability

1. With regard to grid forming capability of power park modules, the TSO, in coordination with the distribution system operators, shall, by [date of entry into force of this Regulation plus two years], submit to the regulatory authority a proposal for a national roadmap.

   The roadmap shall include analysis of at least:

   (a) future power system needs in terms of frequency and voltage stability;

   (b) effects on distribution system operation of high penetration of grid forming power park modules such as:

   (i) risk of local network island operation and oscillations;

   (ii) impact on protection systems;

   (iii) mitigation measures and alternative solutions.

   The roadmap shall define the network readiness for a time-phased start of application of requirements related to grid forming capability for power park modules of Type A and B as well as for EV3 V2G EVSE.

2. Based on the roadmap referred to in paragraph 1, the regulatory authority shall determine the date from which the requirements set out in paragraph 3 become mandatory for Type A and B power park modules.

   The regulatory authority may require the roadmap to be updated periodically to take account of changes in technology or other relevant circumstances.

3. Where grid forming capability is rendered mandatory in accordance with paragraph 2 of this Article, or is required pursuant to Articles 31 and 32, a power park module shall be capable of providing grid forming capability as specified in paragraphs 4, 5 and 6 of this Article, considering the sub-cycle character of the physical quantities and the power park module's capability, including current limits and energy storage capability of each individual unit, where appropriate.

GREEN POWER DENMARK

Fra passiv til aktiv

- Overgangen til et elsystem baseret på effektelektroniske konvertere – som dem, der anvendes i solceller, vindmøller, batterier og PtX-anlæg – markerer et paradigmeskift i måden, vi producerer, regulerer og stabiliserer elektricitet på.
- Naturlig inerti -> kunstig inerti
- Øget robusthed (frekvens og spænding)
- Øger reaktive egenskaber (FFC & øget reaktiv arbejdsområde)
- Black-start og område-ø-drift

GREEN POWER DENMARK

Interaktion mellem enheder

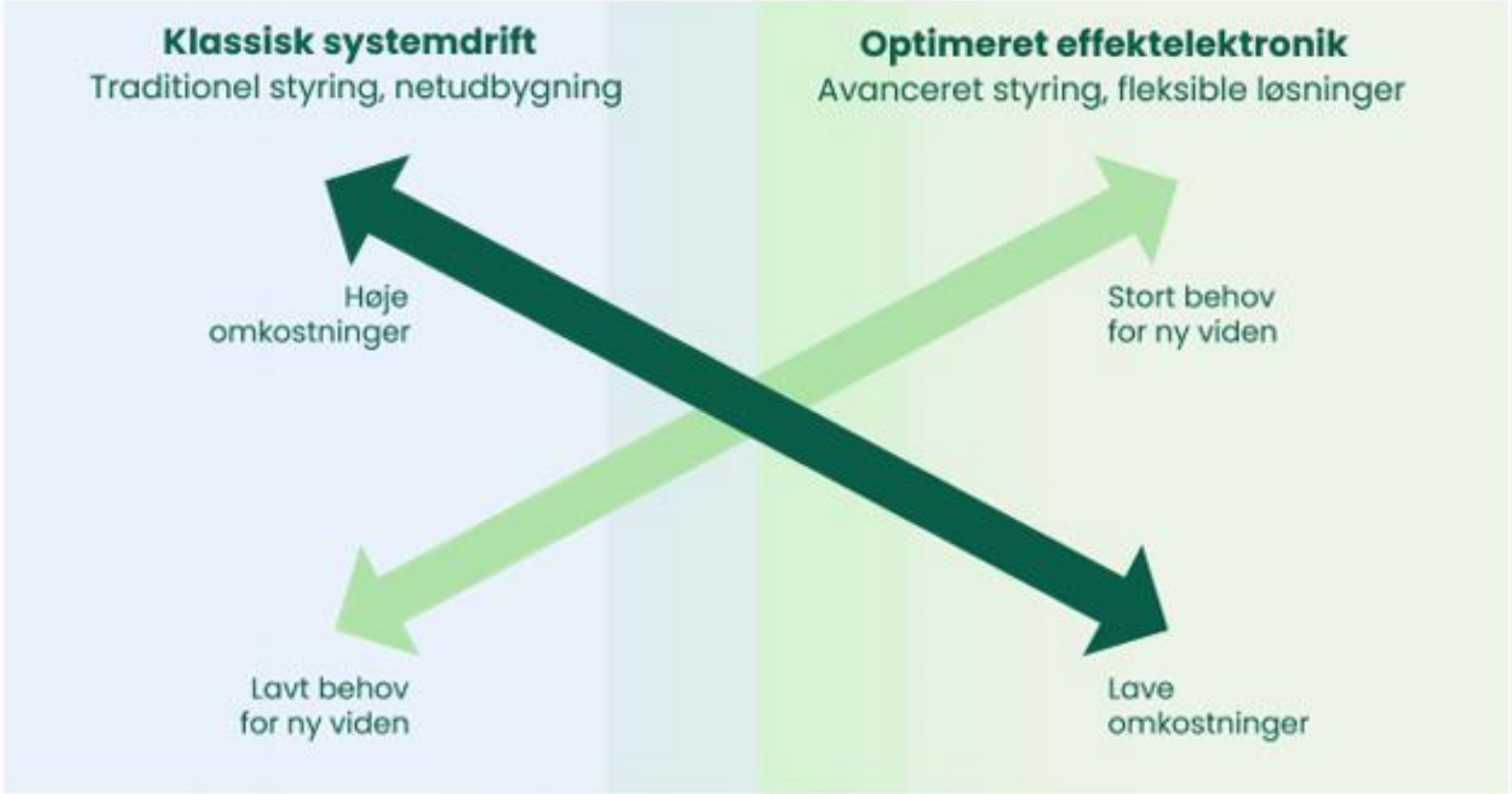
- I fremtidens elnet, så skal samtlige enheder have ”grid forming” egenskaber
- Men hvilke egenskaber skal være aktive, markedsbaseres, autonom, prioritering?

- Er det hensigtsmæssigt, at alle enheder levere inerti, osv?
  - Vil enhederne forstyrrer hinanden -> mindre systemstabilitet
- Bør enkelte enheder være Grid forming (aktivt)?
  - Hvordan prioriteres der mellem hvilke enheder der bør leverer stabiliteten?

- Ø-drift, autonom overgang, område ø-drift og black-start.

GREEN POWER DENMARK

Fremtidens systemdrift



GREEN POWER DENMARK

Systemets behov

- Der har været et stigende fokus på, hvordan man bedst designer og optimerer styringen af hybridanlæg, så deres fulde potentiale udnyttes. Her spiller udviklingen af inverterbaserede styringssystemer og standardiserede kommunikationsløsninger en vigtig rolle.
- For at det lykkes er der behov for mere forskning i, hvordan styringen af hybridanlæg og grid-forming anlæg skal opbygges, og hvordan den kan kobles til eksisterende standarder, der allerede bruges i elbranchen.
- Hvis de nye styringsfunktioner og optimeringsalgoritmer for drift og integration af hybridanlæg med elmarkederne kan udvikles på baggrund af sådanne fælles standarder, vil det blive muligt at skabe universelle styresystemer, der kan anvendes på tværs af leverandører og anlægs typer
  - ikke bare i Danmark, men globalt.

GREEN POWER DENMARK

Spørgsmål?

