

DC-AFBRYDERE

Teknik videnforum 2022-03-25

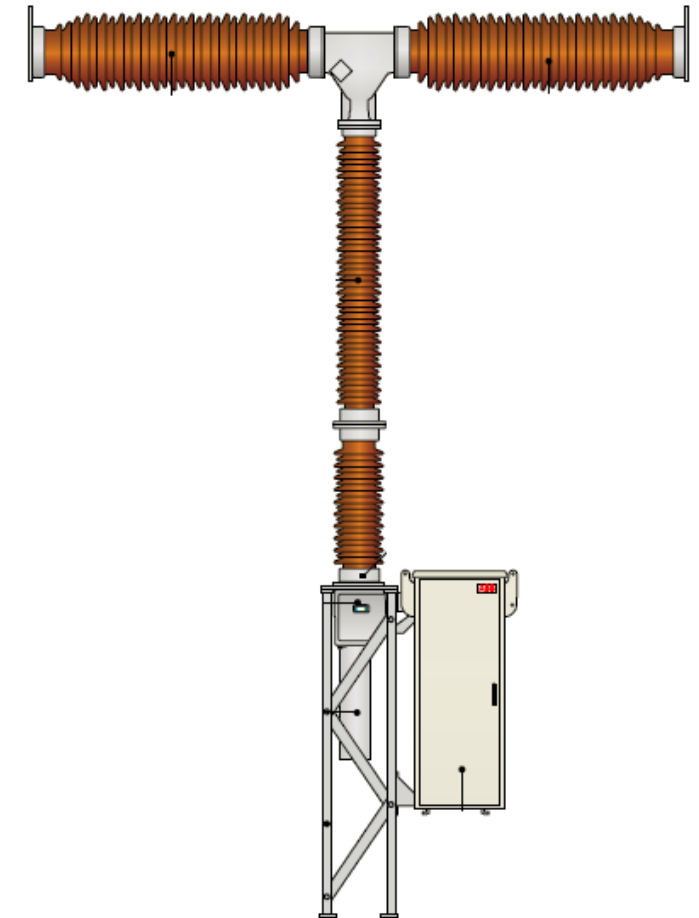
Jens Peter Kjærgaard

AC-AFBRYDERE

Vekselstrømsafbrydere findes i mange størrelser



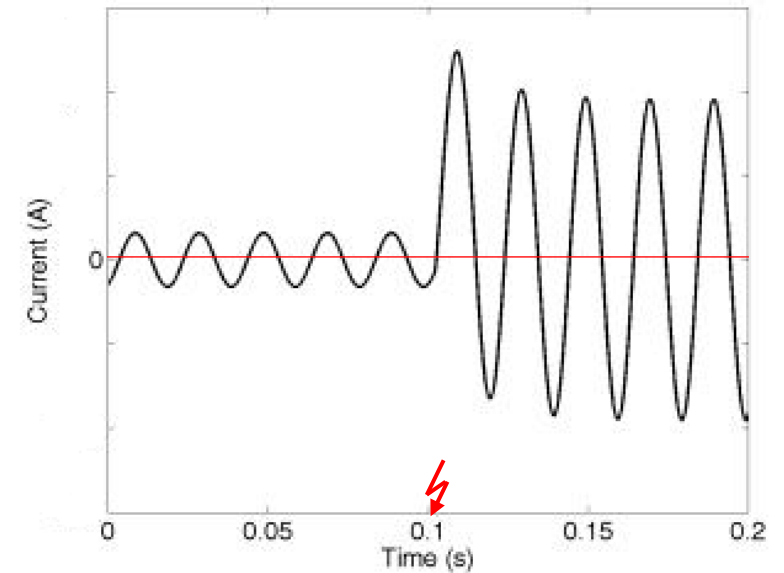
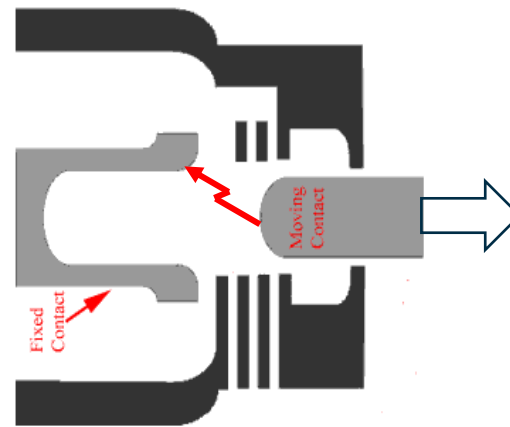
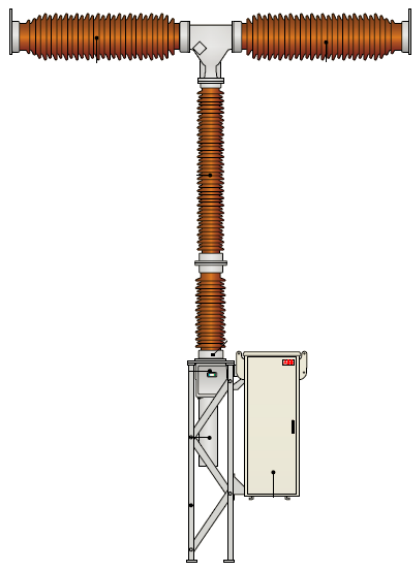
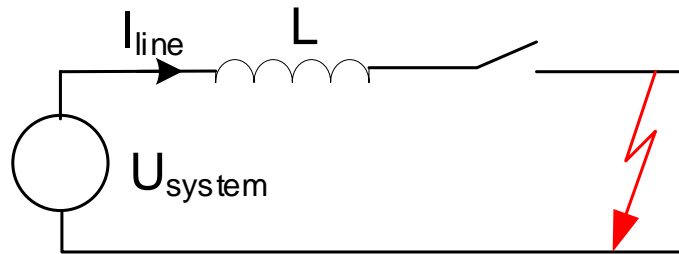
- Små afbrydere i hjemmet til at tænde/slukke for lys og apparater
- Ca. 8 m høje 400 kV afbrydere:
 - Ind-/udkoble f.eks. ledninger og transformere
 - Udkoble i tilfælde af kortslutningsstrøm



Kortslutningsstrømme skal hurtigt udkobles, så AC-nettet ikke kollapser

AC-AFBRYDERE

Funktion



- Kortslutning => strømmen øges
- Relæ sender trip-signal til afbryderen
- Afbryderen begynder at åbne => lysbue mellem kontakter
- Strømmen når nulpunkt => lysbue slukker
- Kontaktafstand tilstrækkelig til at klare spændingen over afbryderen (undgå gentænding og tilbagetænding)
- Totalt 50-70 ms fra kortslutning til strømmen er afbrudt

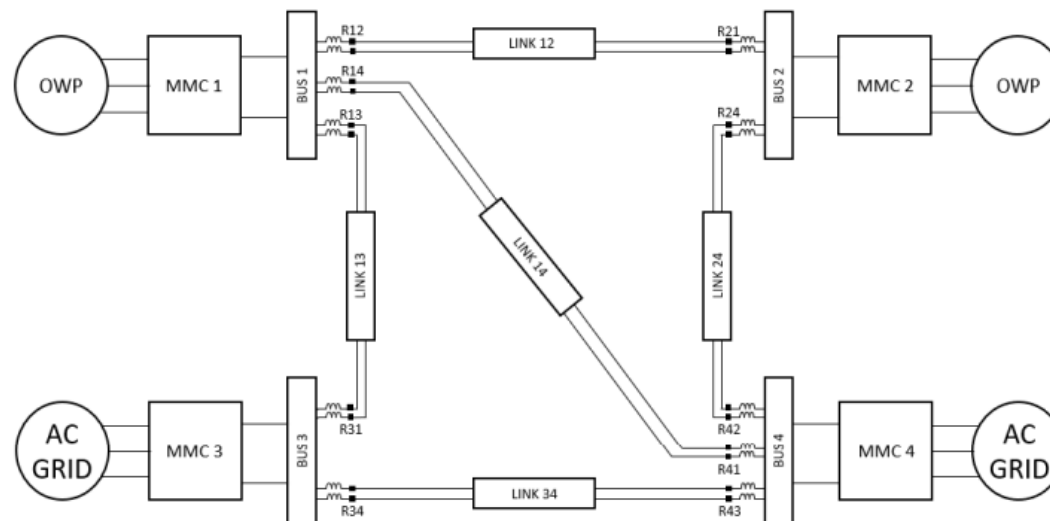
DC-NET

Udnyttelse af store vindressourcer i Nordsøen



Fejlrante kabler skal udkobles ekstremt hurtigt for at undgå kollaps af DC-nettet

Behov for DC-afbrydere!



KORTSLUTNINGSSTRØM I DC-NET

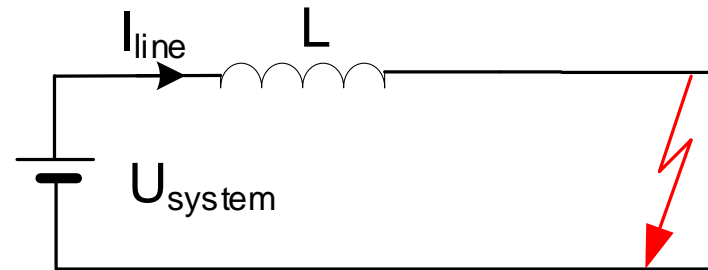
Ved kortslutning i DC-net stiger strømmen ekstremt hurtigt

For at reducere stigningen indsættes reaktorer i hver ende af HVDC-kablerne

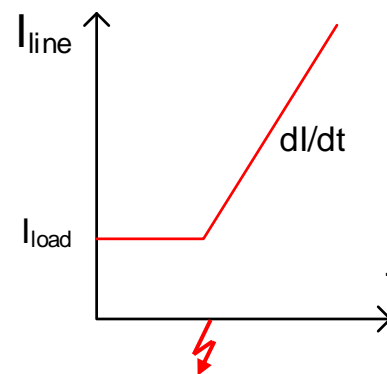
Reaktorerne indeholder energi:
 $\frac{1}{2} * L * I_{line}^2$

Energien skal optages af DC-afbryderen

DC-afbrydere skal fungere indenfor få ms



$$\frac{dI_{line}}{dt} = \frac{U_{system} - 0}{L} = \frac{U_{system}}{L}$$



Eksempel:

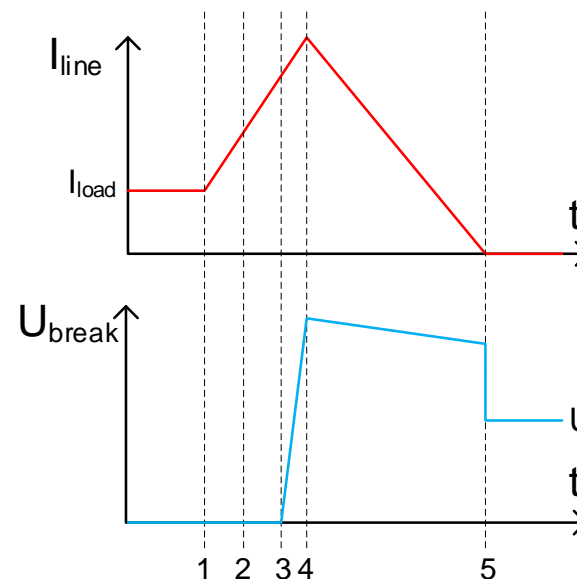
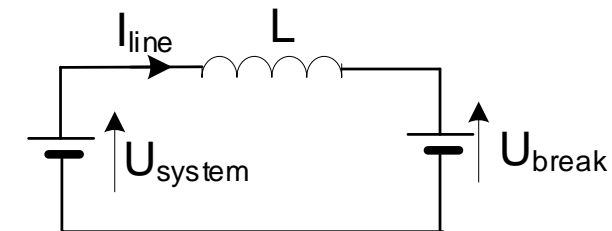
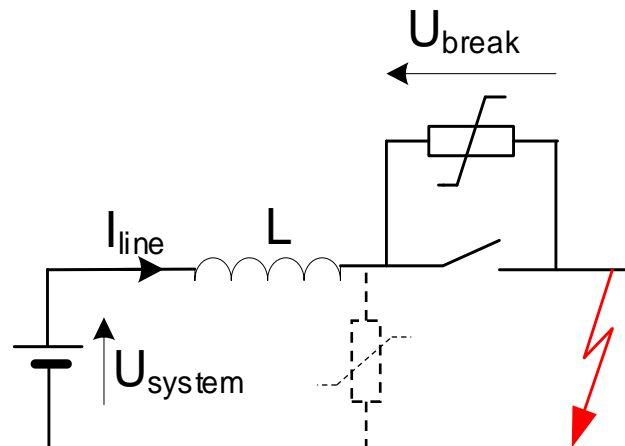
- $U_{system} = 525 \text{ kV}$
- $L = 150 \text{ mH}$
- $dI/dt = 525/150 = 3.5 \text{ kA/ms}$
- Energi i reaktor ved 12 kA = 11 MJ
- 30 tons lastvogn 100 km/h
- Stoppes på få ms

DC-AFBRYDERE

- Ingen naturlige nulpunkter i strømmen
- DC-afbryder skal skabe en modspænding større end systemspændingen U_{system} (ca. 1,5 gange), så DC-strømmen reduceres
 - men lavere end tændspændingen for afledere til overspændingsbeskyttelse
- Energi i reaktorer skal optages i overspændingsafledere
- Operationstid: Få millisekunder afhængig af type af DC-afbryder

$$\frac{dI_{line}}{dt} = \frac{U_{system} - U_{break}}{L} = \frac{U_{system} - 1.5 * U_{system}}{L} = \frac{-U_{system}}{2 * L}$$

Efter overspændingsafleder er tændt, aftager strømmen med ca. halve hastighed i forhold til øgning efter kortslutningen



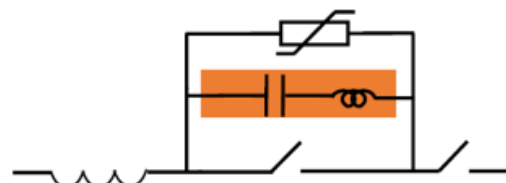
1. Fault inception
2. Trip order to DCCB
3. Start voltage rise time
4. Peak fault current, peak TIV
5. Current extinguished

DCCB operation time:
 $t_4 - t_2$

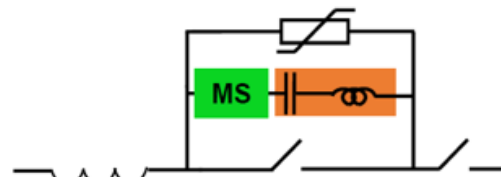
TIV = Transient
Interruption Voltage

DC-AFBRYDERE

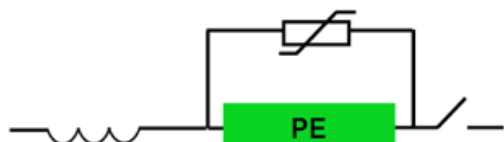
Forskellige typer



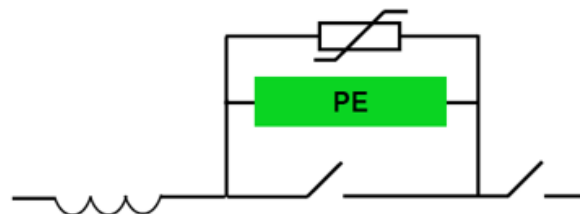
(a) Passive Oscillating



(b) Current Injection



(c) Electronic



(d) Hybrid

Type	Passive oscillation	Current injection	Electronic	Hybrid
Maks strøm der kan afbrydes [kA]	2 - 4	2 - 16	19	7 - 16
Operationstid [ms]	12 - 14	4 - 8	0.4	2 - 3
Tab under normal drift	Negligible	Negligible	High	Low

Alle typer af DC-afbrydere indeholder en overspændingsafleder.

Høj spænding: Isolator → modstand

Hvordan tændes overspændingsaflederen hurtigst muligt?

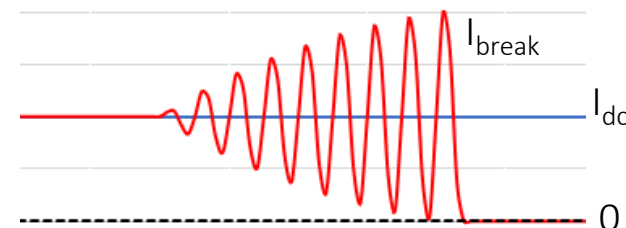
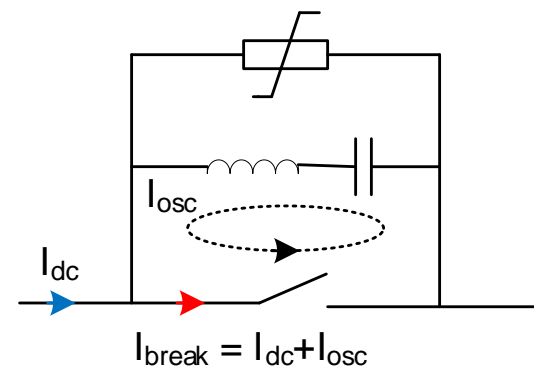


Andre krav/ønsker:

- Små elektriske tab under normal drift
- Lille i fysisk størrelse
- Billig i indkøb og drift

PASSIVE OSCILLATION

- Åbne afbryder => lysbue tændes
- Oscillerende strøm i LC-svingningskreds og gennem afbryderen
- Sum af DC-strøm og oscillerende strøm gennem afbryderen får et nulpunkt => lysbue slukkes
- DC-strømmen oplader kondensatoren indtil overspændingsaflederen bliver tændt
- DC-strømmen reduceres pga. den høje spænding over overspændingsaflederen
- Anvendes som NBS i HVDC bipoler, f.eks. Konti-Skan og Skagerrak



Neutral Bus Switch

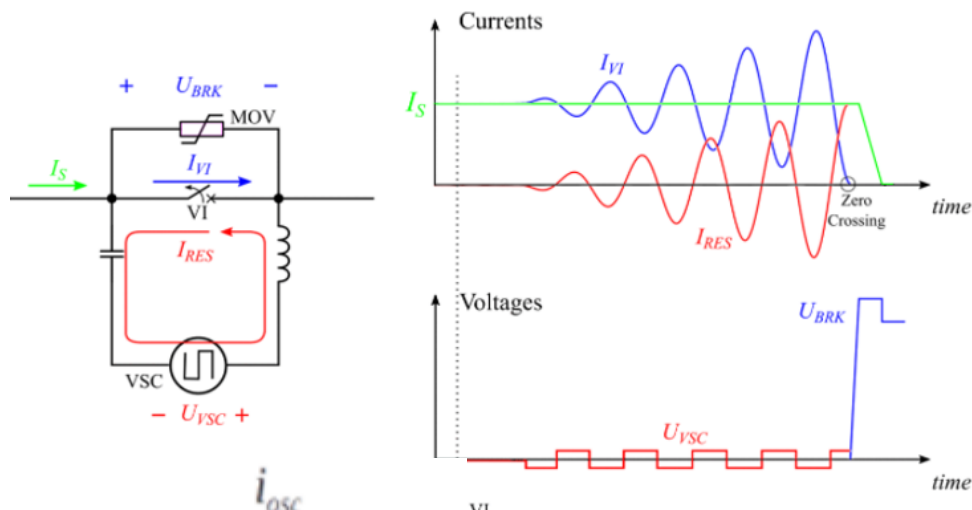
Lav spænding (få kV)
Kommutere strømmen over i neutralen



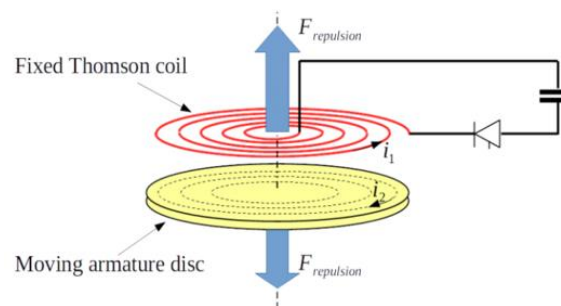
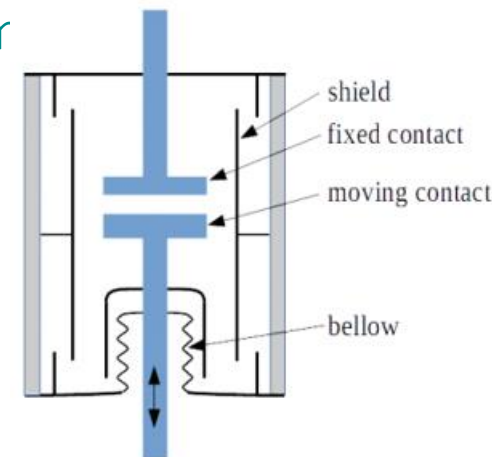
Type	Passive oscillation	Current injection	Electronic	Hybrid
Maks strøm der kan afbrydes [kA]	2 - 4	2 - 16	19	7 - 16
Operationstid [ms]	12 - 14	4 - 8	0.4	2 - 3
Tab under normal drift	Negligible	Negligible	High	Low

OSCILLATING WITH CURRENT INJECTION

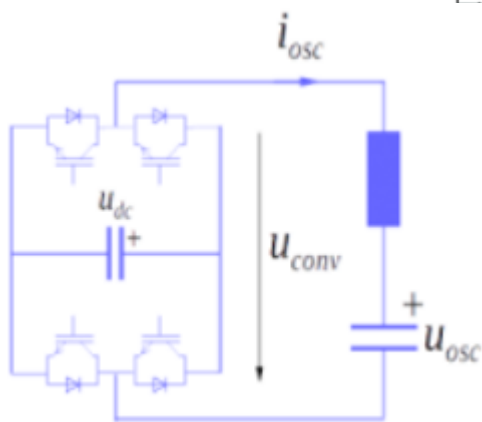
SCiBreak - VARC DC-afbryder med lille VSC til at generere oscillerende strøm



Vakuumafbrydere har meget høj isolationsstyrke, så kontaktafstanden behøver ikke være ret stor

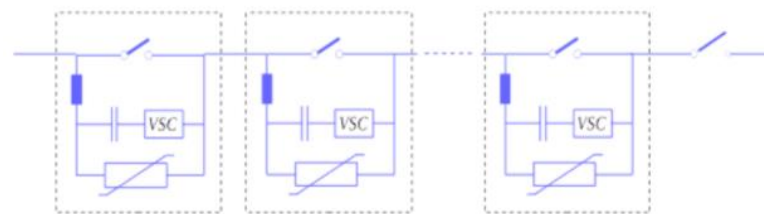


For meget hurtig åbning af vakuumafbryderen anvendes en Thomson Coil aktuator



Ved at skifte polaritet på VSC med høj frekvens kan amplitude på den oscillerende strøm meget hurtigt øges, så der kommer nulpunkt i strømmen gennem vakuumafbryderen

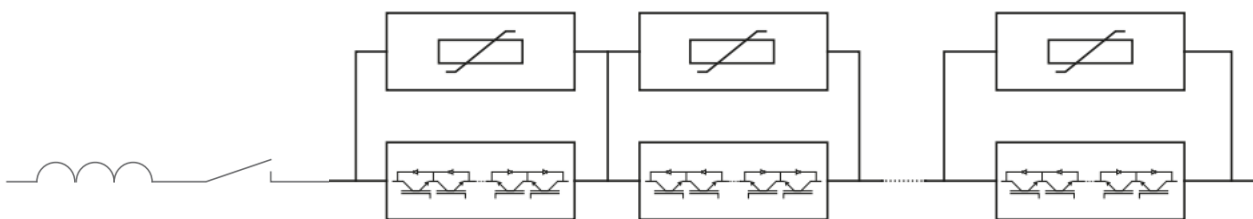
Operationstid 1,2 ms, max brydestrøm 16 kA



VARC – VSC Assisted Resonant Circuit

- Seriekobling af flere moduler (40 kV TIV):
- Tilpasse til DC-spænding
 - Redundans
 - Undgå overspændinger ved udkobling af fejlfri DC ledning

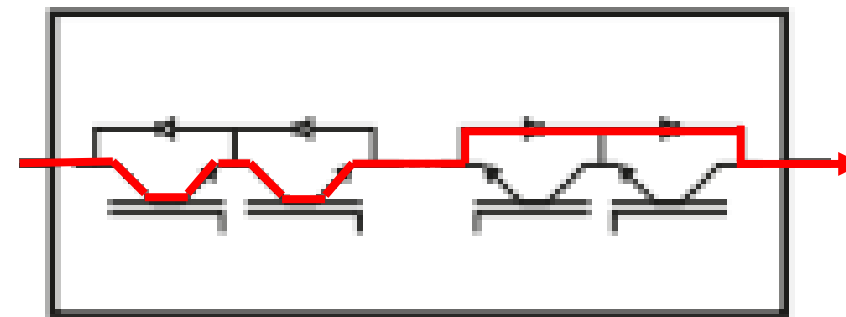
ELECTRONIC



- Normal drift: DC-strøm løber igennem mange IGBT'er (BIGT'er) => høje tab
- IGBT'er blokeres => høj spænding så overspændingsafledere tændes
- Ekstrem hurtig operationstid (< 0,5 ms)

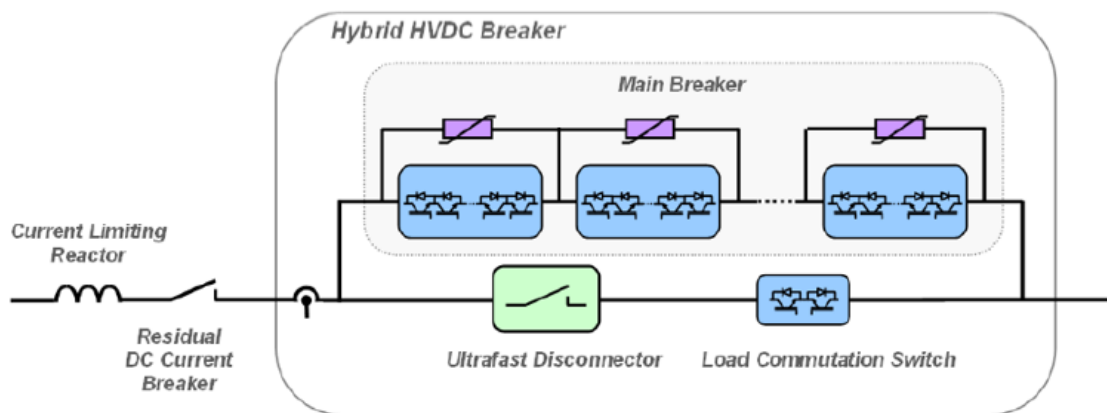
Type	Passive oscillation	Current injection	Electronic	Hybrid
Maks strøm der kan afbrydes [kA]	2 - 4	2 - 16	19	7 - 16
Operationstid [ms]	12 - 14	4 - 8	0.4	2 - 3
Tab under normal drift	Negligible	Negligible	High	Low

Halvdelen af IGBT'er vender i den ene retning og den anden halvdel i modsatte retning for at DC-afbryderen kan virke uanset strømretningen



HYBRID DC-AFBRYDER

Hitachi Energy



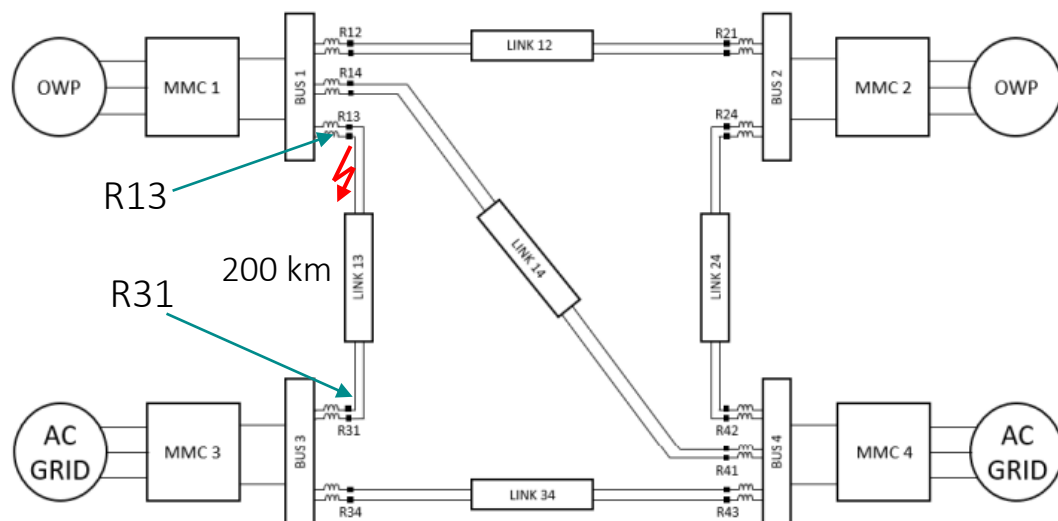
- Normal drift: DC-strøm løber igennem nederste gren med en ultra-hurtig adskiller og nogle få IGBT'er => tab meget mindre end for den elektroniske DC-afbryder
- IGBT'er i nederste gren blokeres, hvorved strømmen kommuteres over i de mange seriekoblede IGBT'er.
- Den ultra-hurtige adskiller åbnes (1-2 ms), og funktionen er nu som den elektroniske DC-afbryder (anvender Thomson Coil aktuator)
- IGBT'er blokeres => høj spænding så overspændingsafledere tændes



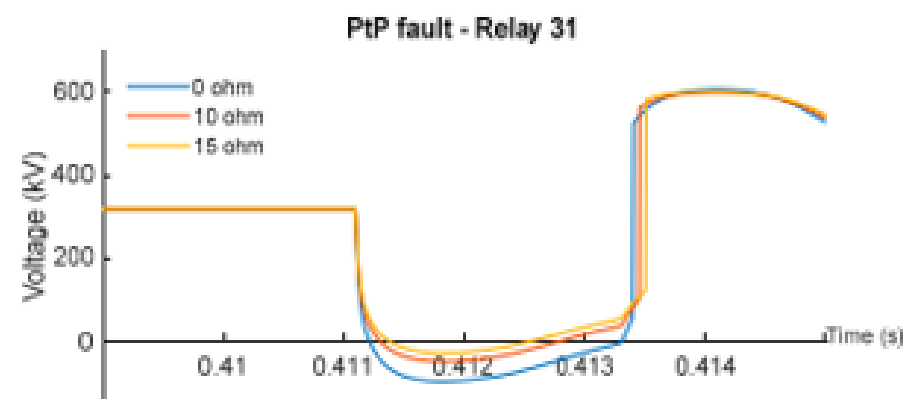
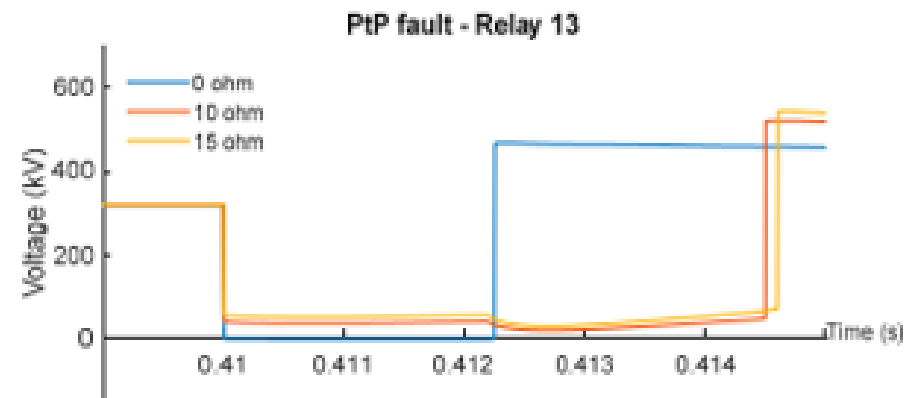
Type	Passive oscillation	Current injection	Electronic	Hybrid
Maks strøm der kan afbrydes [kA]	2 - 4	2 - 16	19	7 - 16
Operationstid [ms]	12 - 14	4 - 8	0.4	2 - 3
Tab under normal drift	Negligible	Negligible	High	Low

FEJLDETEKTERING

Også fejldetekteringen skal være ekstrem hurtig for at undgå for store fejlstrømme



- ROCOV kan anvendes som kriterie til fejldetektering
 - $\frac{V_i - V_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} < ROCOV_{th}$ (f.eks. $ROCOV_{th} = -200$ kV/ms)
- 10 kHz sampling => ny måling hver 0,1 ms
- 200 km kabel => relæ 3.1 ser først fejlen efter ca. 1 ms (vandrebølgers hastighed i kabler er ca. 2/3 af lysets hastighed)



ROCOV = Rate of change of voltage

KAN DC-AFBRYDERE KØBES?

- Flere leverandører har DC-afbrydere, de er klar til at sælge
- Ingen erfaringer med DC-afbrydere for høje spændinger i Europa
- Nogle få DC-afbrydere er i drift i Kina
- Fire forskellige fabrikater/typer blev testet i det EU-støttede PROMOTioN projekt
 - Hitachi Energy hybrid breaker
 - SCiBreak VARC breaker (injected current)
 - NR Electric hybrid breaker
 - Mitsubishi injected current mechanical breaker

Hvad koster de?
Hvor store er de?

PLADSRESERVATION PÅ ENERGIØ I NORDSØEN

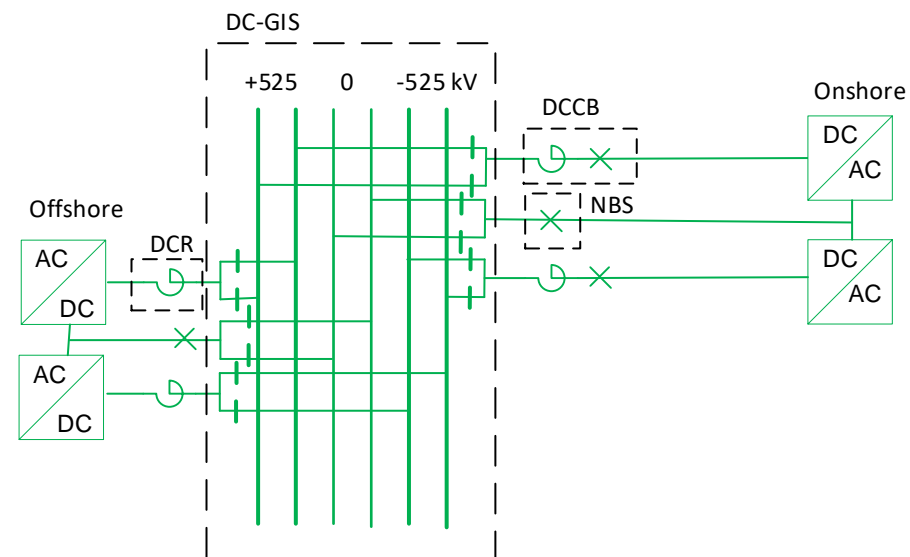
Indmelding til SWECO januar 2022

DCCB including DCR and RCB:	420 m ² (21x20 m)
DCR:	200 m ² (14x14 m)
NBS:	25 m ² (5x5 m)

Baseret på usikre data fra forskellige leverandører

525 kV => isolationsafstand ca. 5 m i luft

Højde: 15-21 m





JPK@energinet.dk