Teljesítményelektronika a jövő villamosenergia-rendszerében

Dr. Divényi Dániel
Dr. Raisz Dávid

MEE 67. Vándorgyűlés
2021. szeptember 23. Szeged

BME – MVM Smart Power Laboratórium
Dr. Raisz Dávid, raisz.david@vik.bme.hu
smartpower.bme.hu

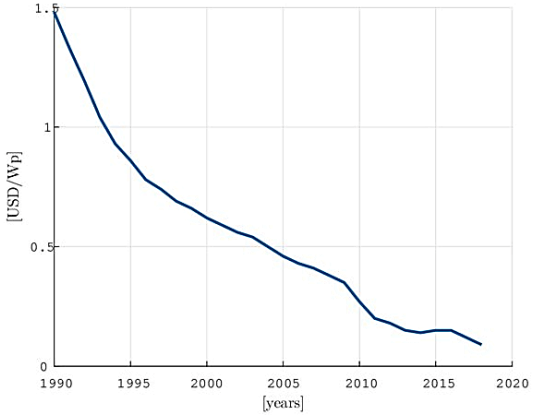
MŰEGYETEM 1782

Tartalom

- Trendek a teljesítményelektronikában
- FACTS – ismert eszközök az átviteli hálózaton (➔ FACDS)
- További elosztóhálózati alkalmazások

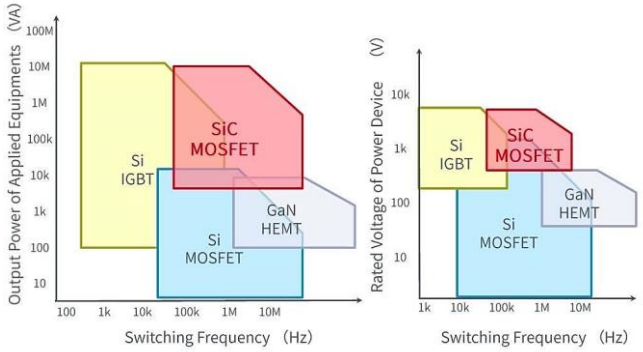
Trendek a teljesítményelektronikában

- A teljesítményelektronikai eszközök ára (is) folyamatosan csökken



10.1016/j.rser.2019.109308

- Új típusú eszközök megjelenésével nagyobb teljesítmények, kisebb veszteségek érhetők el



https://www.eetimes.com/silicon-carbide-a-love-hate-relationship/

- ➔ Várható a TE eszközök elterjedése az elosztóhálózati alkalmazásokban

FACTS eszközök általános felépítése és működése

FACTS = Flexible AC Transmission Systerms

FACTS – alapok

- Eredetileg átviteli hálózati eszközök
  - Konvencionális hálózatfejlesztési beruházások helyett
- Közvetlenül: U, φ, Z befolyásolása
- Közvetve a teljesítményáramlás (P, Q) befolyásolása

Sönt elem	Soros elem	Soros & párhuzamos
• teljes feszültség rákerül (kényszer) • áram/teljesítmény szabályozható	• teljes teljesítmény/áram átfolyik rajta • feszültség (-esés/-emelés) beiktatására képes	• Nagyon jól szabályozható eszközök • Költségesebbek

Eszközök (átviteli és elosztóhálózaton)

Rövidítés	Feloldás	Leírás
SVC (TCR, TSC)	Static Var Compensator	Passzív L, C elemeket teljesítményelektronikával kapcsolgató **sönt** eszköz
STATCOM	Static Synchronous Compensator	Sönt eszköz, feszültséginverter forrással
TCSC	Thyristor-controlled Series Capacitor	Passzív L, C elemeket teljesítményelektronikával kapcsolgató **soros** eszköz
SSSC	Static Synchronous Series Compensator	Soros eszköz, feszültséginverter forrással
PST / PAR	Phase Shifting Transformer	„Keresztszabályozó” (Phase Angle Regulator)
IPFC	interline power flow controller	Vezetékek közötti teljesítménycsere
UPFC	universal power flow controller	Sönt-soros eszköz, nagyon jó szabályozási tulajdonságok, széles tartomány
HVDC	High-Voltage DC	Teljes szabályozhatóság, soros-soros eszköz

Rövidítés	Feloldás	Leírás
OLTC	On-Load Tap Changer	Már Köf/kif szinten is létezik
LVR	Line Voltage Regulator	~ UPFC
	Szimmetrizátor	~ IPFC
MVDC		

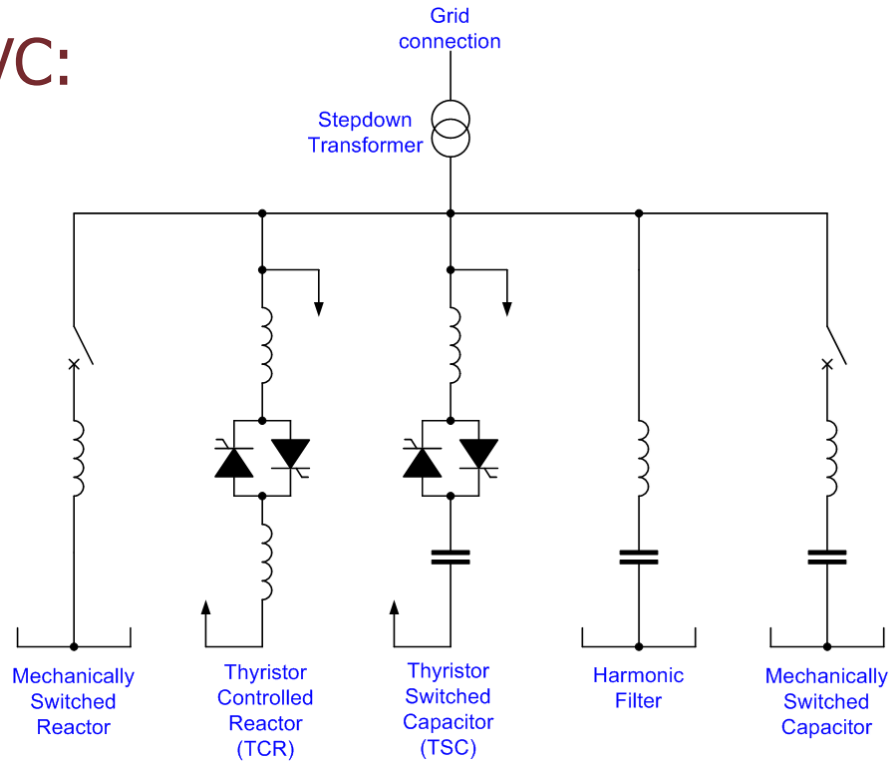
FACTS – hagyományos alkalmazások

- Feszültségszabályozás
- Hatásos és meddőteljesítmény-áramlás szabályozása, befolyásolása
- Tranziens stabilitás növelése
- Feszültségstabilitás növelése
- Rövidzárlati áramkorlátozás

SVC, STATCOM

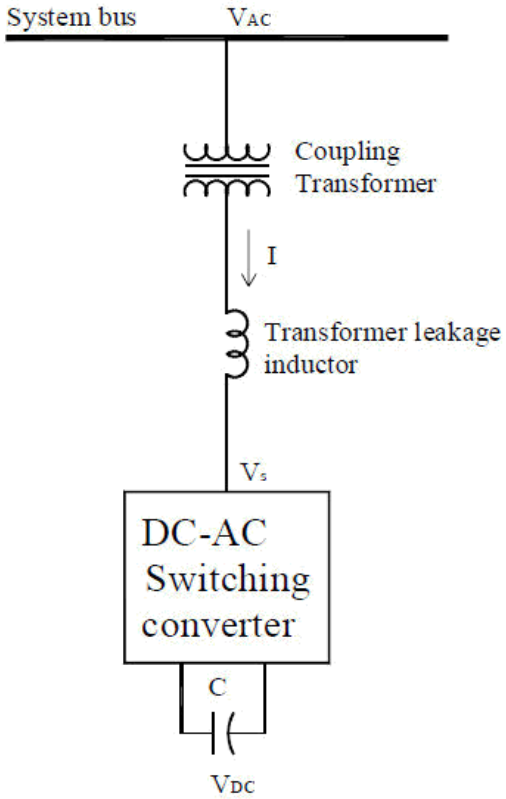
- Sönt eszközök: U-Q szabályozás

SVC:



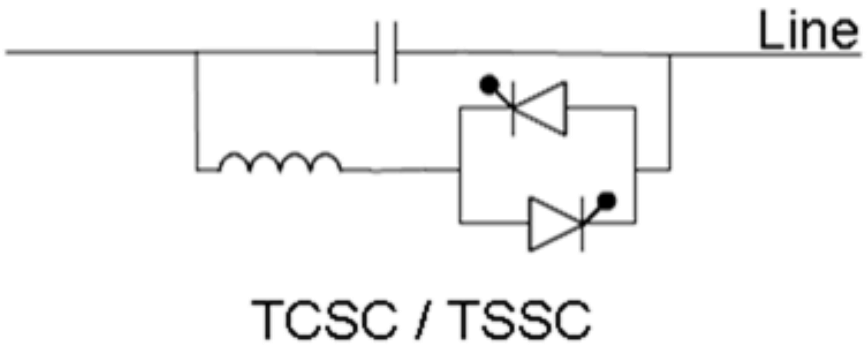
STATCOM:

nagyobb szabályozási tartomány

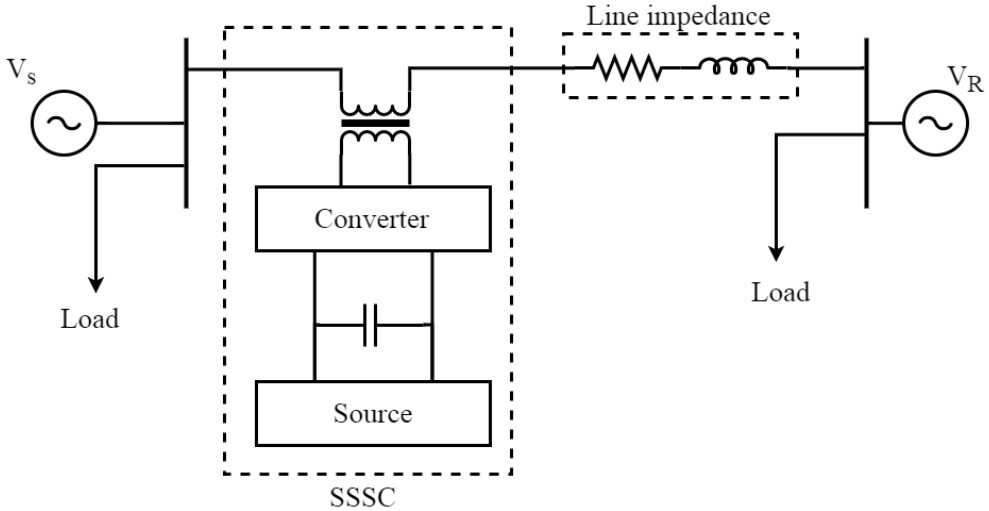


TCSC, SSSC

- TCSC:

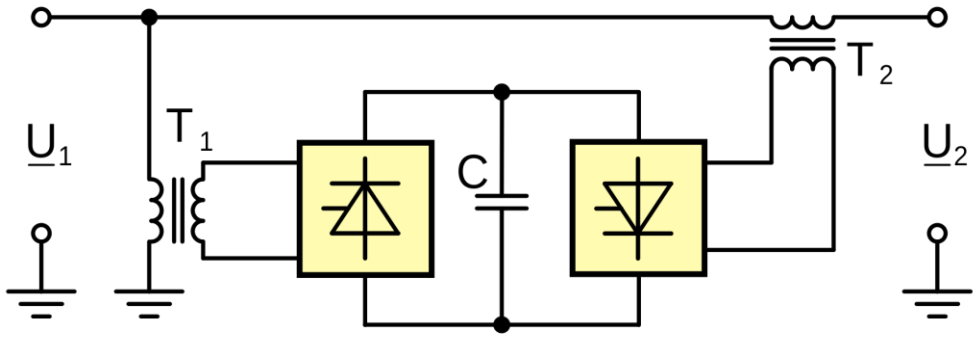


- SSSC:

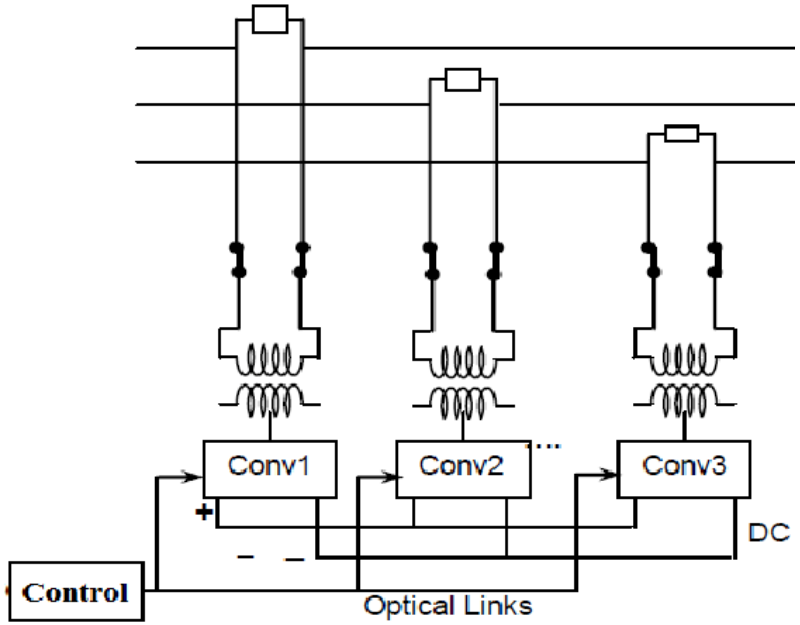


UPFC, HVDC, IPFC

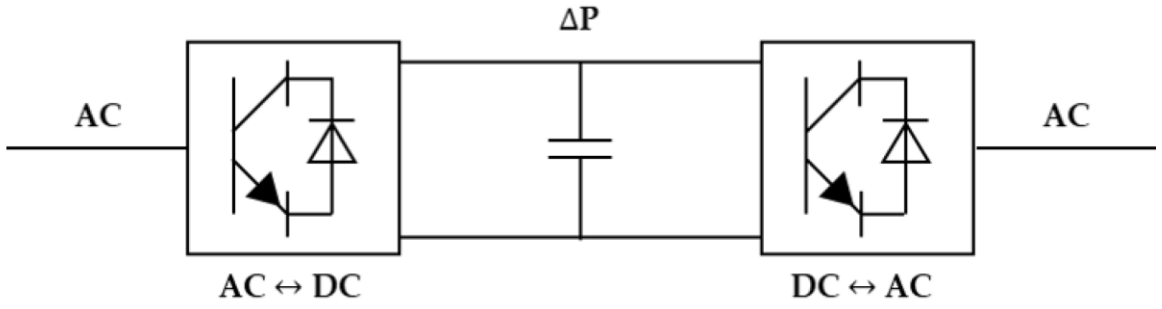
UPFC



IPFC



HVDC



LVR (soros feszültségszabályozó)

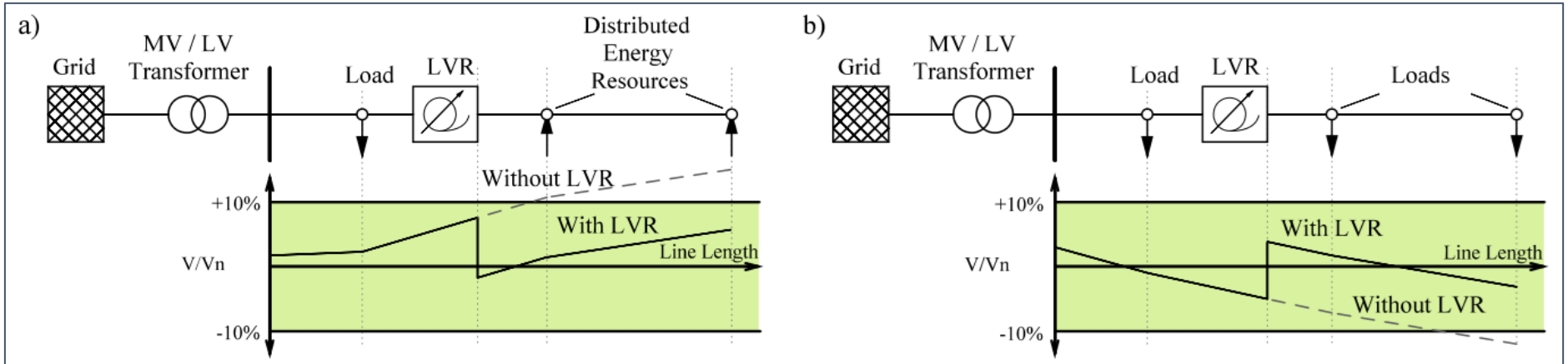


Figure 1 Operation Principles of an LVR a) Voltage Reduction via the LVR b) Voltage Rise via the LVR

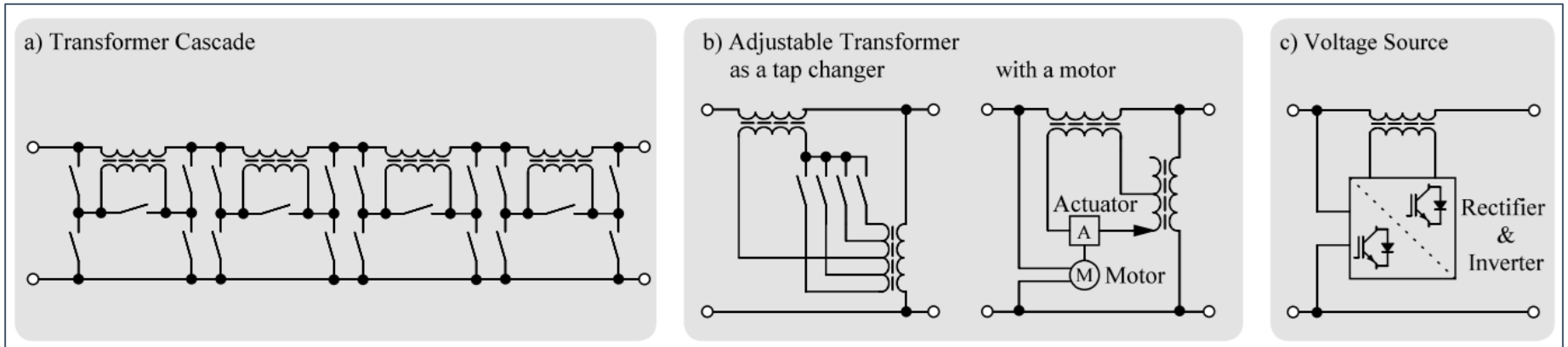


Figure 2 LVR Technologies a) Transformer Cascade b) Adjustable Transformer c) Voltage Source Technology

Holt, Grosse-Holz, Rehtanz: Line Voltage Regulation in Low Voltage Grids, CIRED Workshop - Ljubljana, 7-8 June 2018

További teljesítményelektronikai megoldások

Csillagpontkezelés

DC elosztás

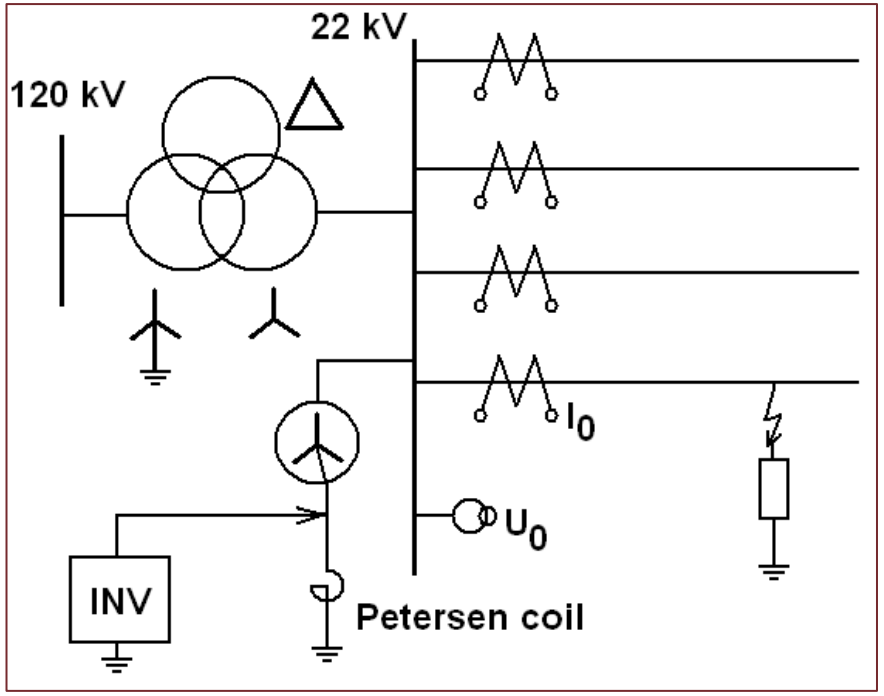
„Smart Transformer”

Csillagpontkezelés – kompenzált hálózat

Ívoltó tekercs (Magyarországon köf)

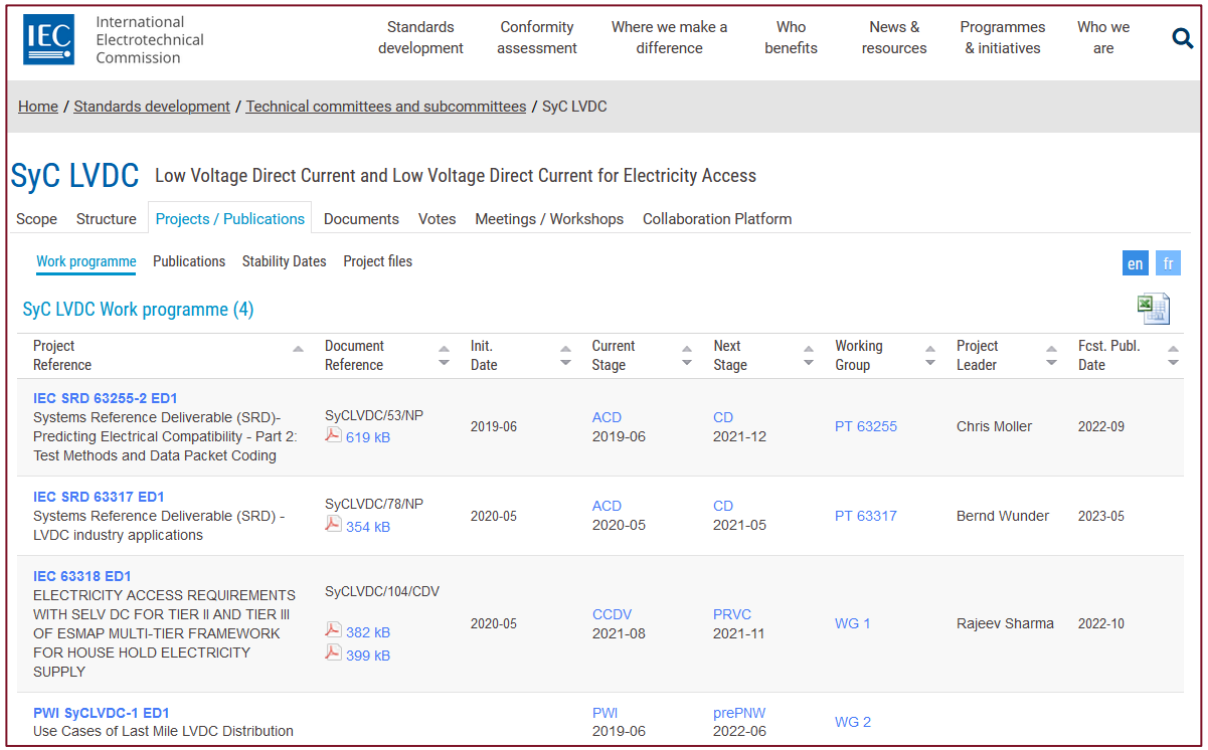
- Előnyei
  - Zárlati áram automatikus csökkentése
  - Automatikus ívoltás, zárlat megszüntetése
- Nehézségek
  - Maradékáram (hangolás, rezisztív, harmonikus)
  - Védelmek (érintési feszültség)

- Megoldás: aktív csillagpontkezelés
  - Petersen tekerccsel párhuzamos áraminjektálás
  - Zárlati áramot 3 periódus alatt 0-ra csökkenti



DC elosztás

- Napelemes termelés, és a kif fogyasztók nagyrésze DC
- Felesleges átalakítások, energiahatékonyság (+5% körül)
- IEC LVDC Technology report 2020 (IEC TR 63282:2020)
  - 48V, +/-380V
- IEEE WG
- VDE Normungsroadmap (+/-750V)
- Cigré MVDC Grid Feasibility Study



IEC International Electrotechnical Commission

Standards development | Conformity assessment | Where we make a difference | Who benefits | News & resources | Programmes & initiatives | Who we are

Home / Standards development / Technical committees and subcommittees / SyC LVDC

SyC LVDC Low Voltage Direct Current and Low Voltage Direct Current for Electricity Access

Scope | Structure | Projects / Publications | Documents | Votes | Meetings / Workshops | Collaboration Platform

Work programme | Publications | Stability Dates | Project files

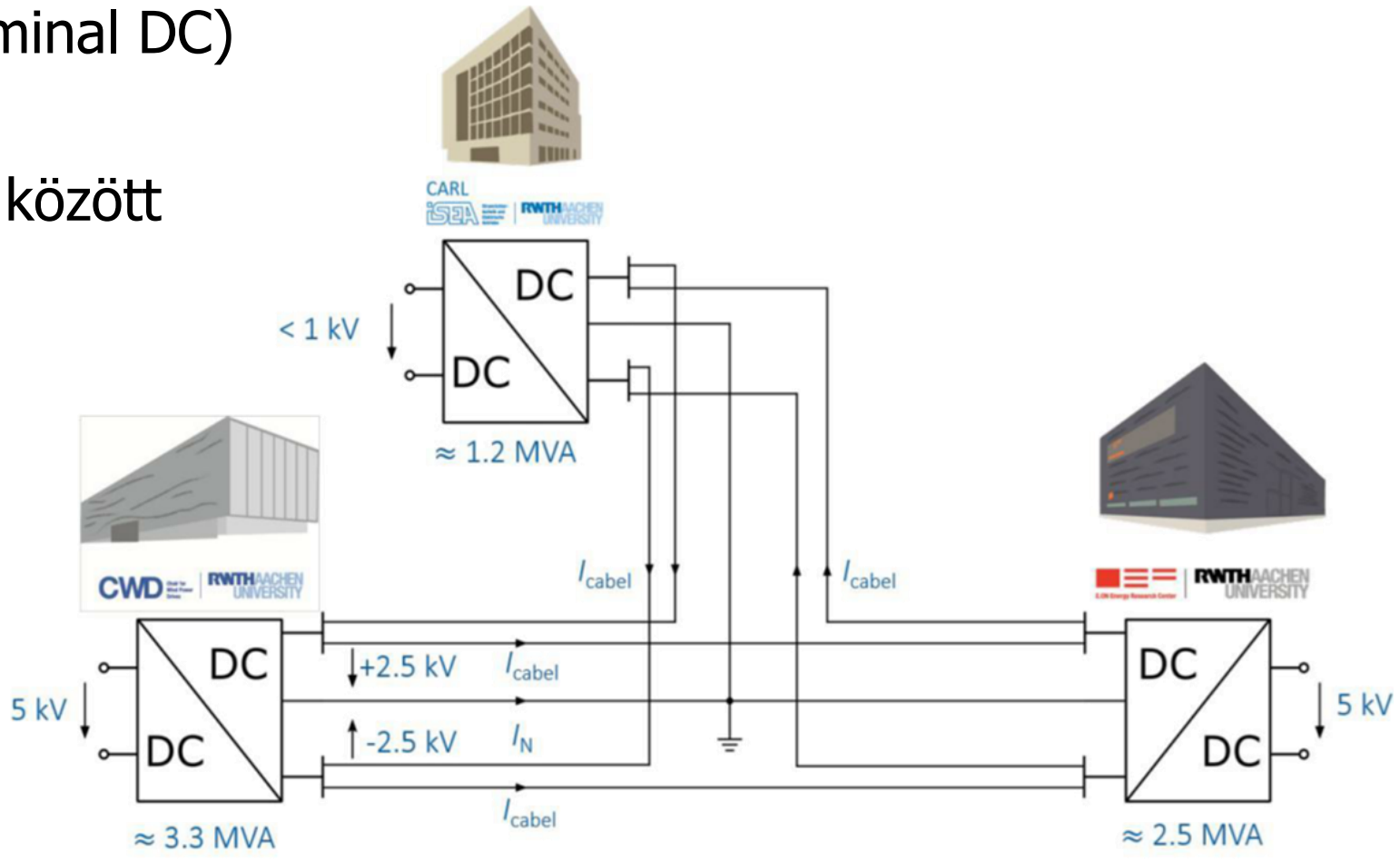
en | fr

SyC LVDC Work programme (4)

Project Reference	Document Reference	Init. Date	Current Stage	Next Stage	Working Group	Project Leader	Fcst. Publ. Date
IEC SRD 63255-2 ED1 Systems Reference Deliverable (SRD)- Predicting Electrical Compatibility - Part 2: Test Methods and Data Packet Coding	SyCLVDC/53/NP 619 kB	2019-06	ACD 2019-06	CD 2021-12	PT 63255	Chris Moller	2022-09
IEC SRD 63317 ED1 Systems Reference Deliverable (SRD) - LVDC industry applications	SyCLVDC/78/NP 354 kB	2020-05	ACD 2020-05	CD 2021-05	PT 63317	Bernd Wunder	2023-05
IEC 63318 ED1 ELECTRICITY ACCESS REQUIREMENTS WITH SELV DC FOR TIER II AND TIER III OF ESMAP MULTI-TIER FRAMEWORK FOR HOUSE HOLD ELECTRICITY SUPPLY	SyCLVDC/104/CDV 382 kB 399 kB	2020-05	CCDV 2021-08	PRVC 2021-11	WG 1	Rajeev Sharma	2022-10
PWI SyCLVDC-1 ED1 Use Cases of Last Mile LVDC Distribution			PWI 2019-06	prePNW 2022-06	WG 2		

DC elosztás - Aachen

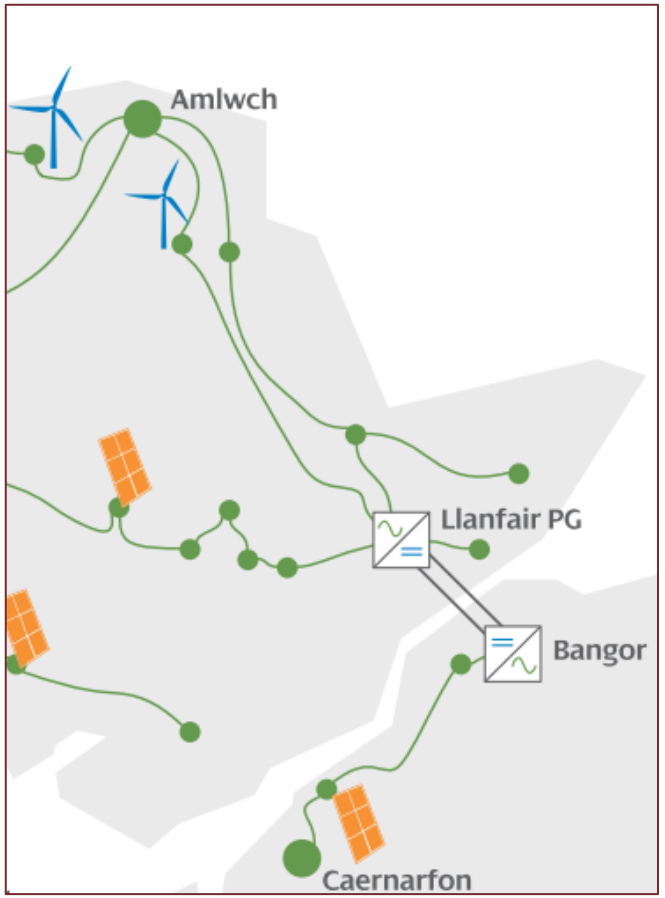
- MTDC (multiterminal DC) kísérleti hálózat kutatóintézetek között



MTDC grid wiring diagram

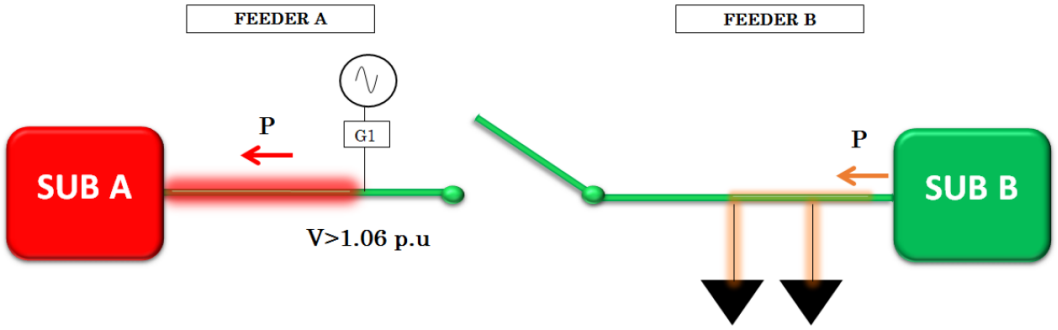
DC elosztás – ANGLE-DC projekt, Wales

- Probléma: 33kV szakasz túlterhelése
  - 2,5 km kábel, 0,5 km szabadvezeték
  - Kétrendszerű
- Megoldás:
  - MVDC: +/- 27kV
  - elvileg +43% kapacitás növekedés
  - Öreg kábelek miatt korlátozás „csak” +23% kapacitásra
- További előnyök:
  - Áramlás szabályozása
  - Veszteség csökkentése
  - DC vezetékek kiesése esetén STATCOM működés



DC link – Western Power Distribution

- Probléma:

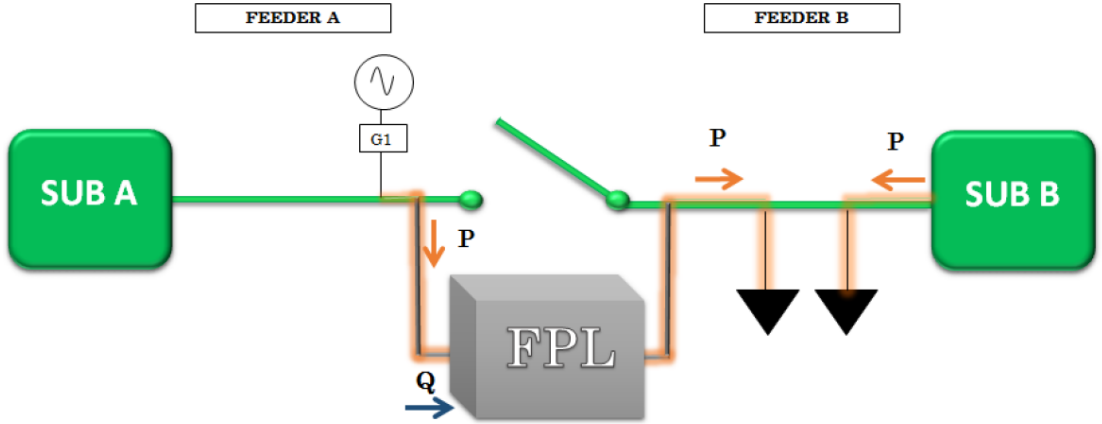


SUB A is overloaded and V exceeds statutory limit!

G1 cannot be connected!

Figure 7: Thermal and voltage constraints preventing network connections.

- Megoldás:



FPL transfers P from feeder A to feeder B. Removes thermal constraint!

FPL provides Q support on feeder A. Removes V constraint!

G1 can connect!

Figure 8: Thermal and voltage constraints removed by FPL.

www.westernpower.co.uk

DC link – Western Power Distribution

- Exebridge

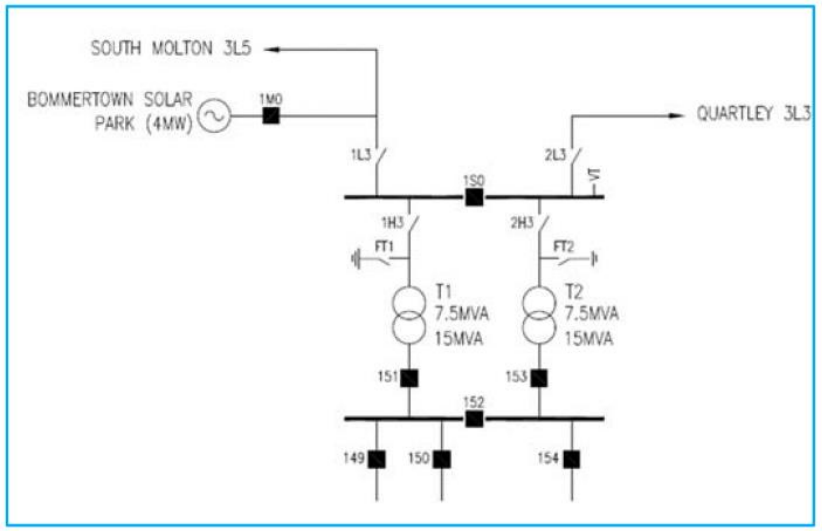


Figure 6-8 – Original Exebridge single line diagram

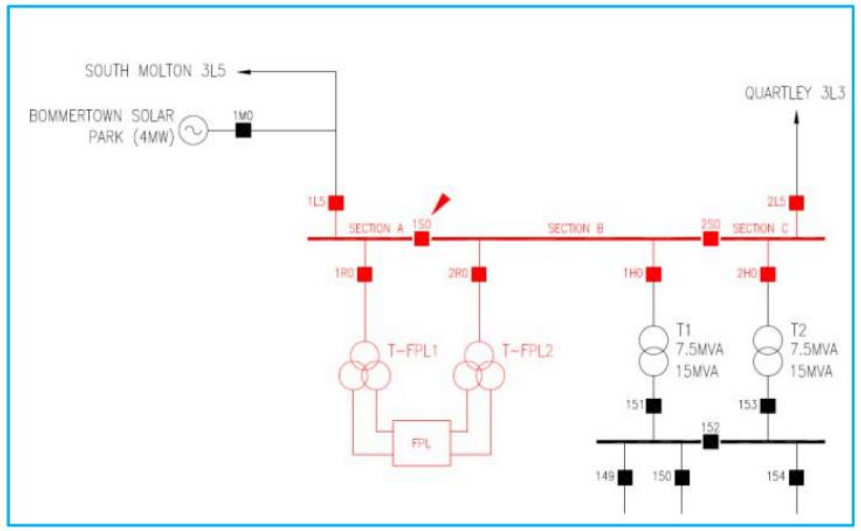


Figure 6-9 – Integration of FPL at Exebridge

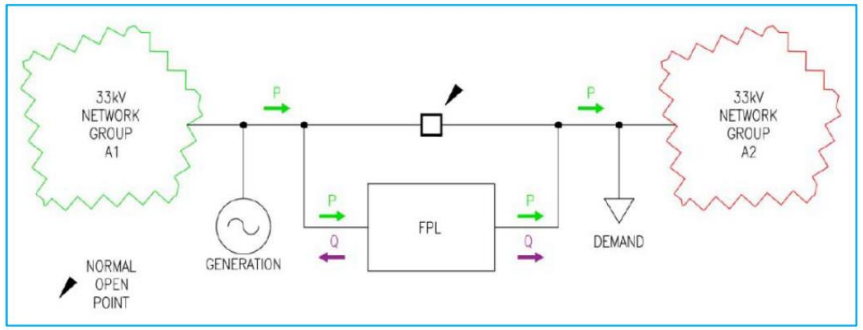


Figure 6-7 – Schematic of FPL operation

- 33 kV, +/- 20MW, +/- 5Mvar
- 6,95 MGBP (első berendezés!)
- 15MGBP (hálózatbővítés lett vola)

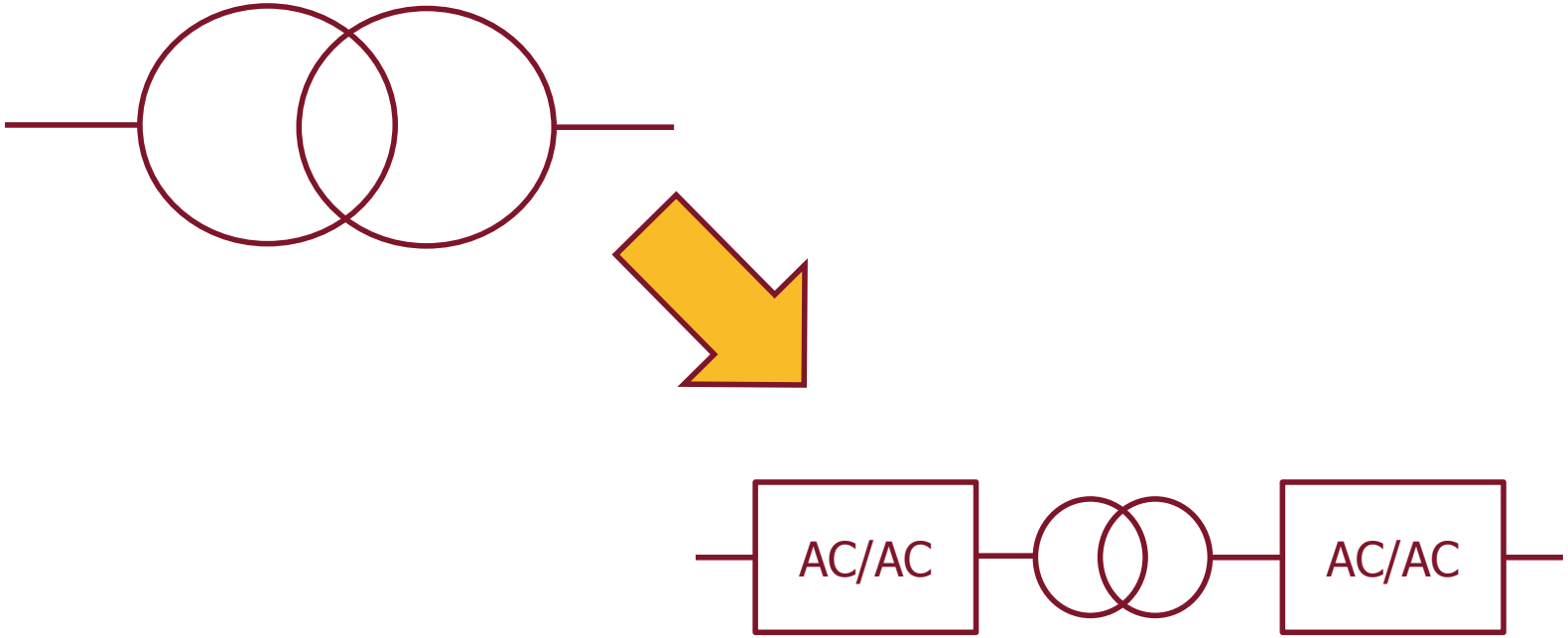
www.westernpower.co.uk

Észak-német példa

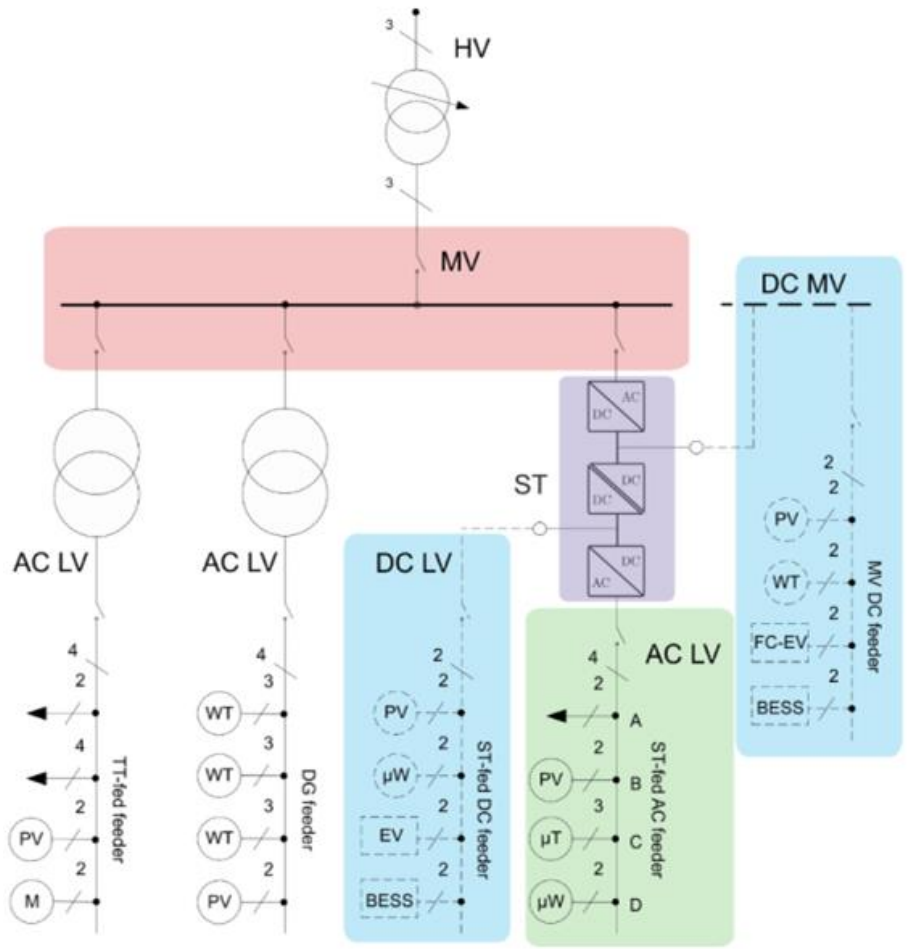
- Schleswig-Holstein
- 2018: 3000 GWh leszabályozás (300MEUR)
- OK: átviteli hálózat kiépítettségének hiánya
- Projekt: teljesítmény-áramlást szabályozó eszközök (pl. UPFC) vizsgálata a hurkolt 110kV-os hálózaton

Transzformátor

- Nagyobb frekvencián kisebb méretek (kevesebb anyag)



Smart Transformer



Smart Transformer

- Voltage support (steady state and LVRT)
- Reactive power compensation at HV/MV substation
- Power quality improvements
- Islanding control (high DG in LV)

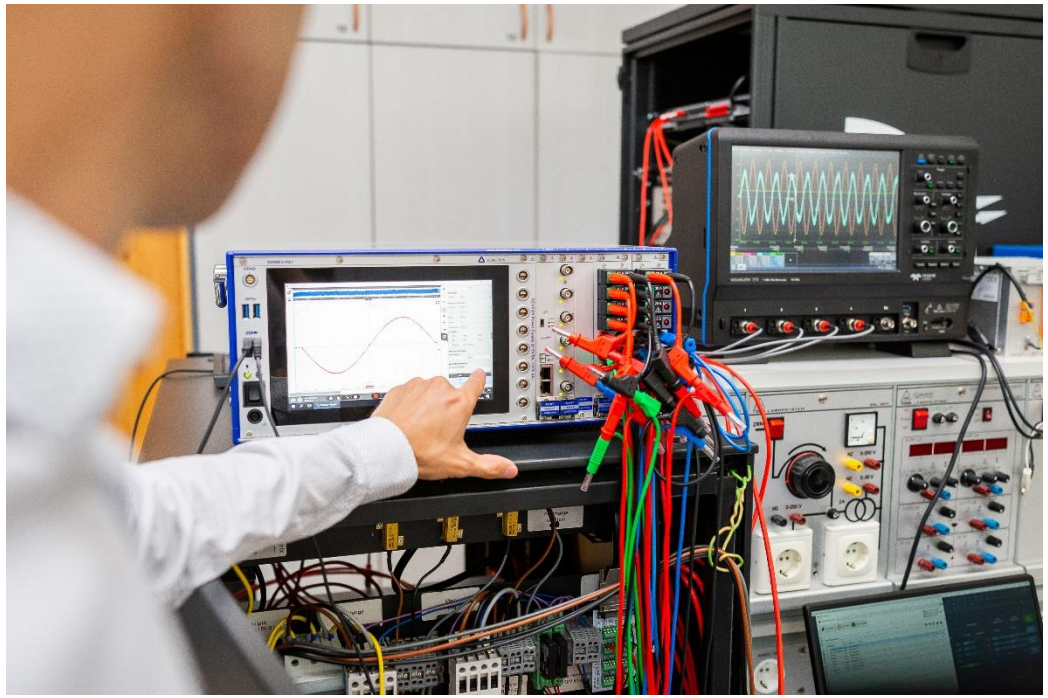
- Integration of EV-charging stations
- Integration of storage for dispatching
- Reverse Power Flow limitation

- Impedance identification
- Load identification
- Reverse Power Flow limitation
- ST overload control
- Soft-load reduction
- Damping of harmonics and resonances
- LV-side power quality

f Power Electronics | Giovanni De Carne | gdc@tf.uni-kiel.de

K+F+I: BME – MVM Smart Power Labor

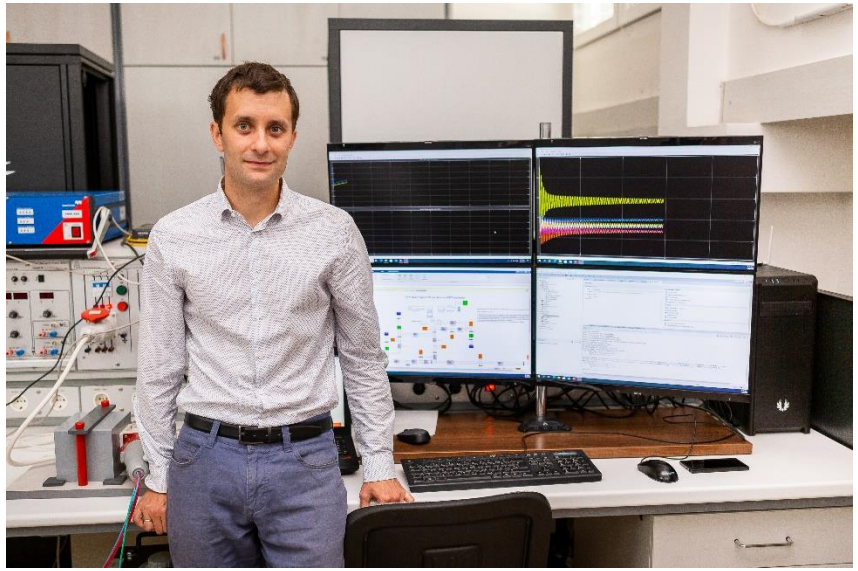
- TE eszközök (napelemek, tárolók, EV, FACTS) alkalmazási területei
- Dinamikus hálózatmodellezés
- TE eszközök innovatív vezérlési megoldásai
  - Mesterséges inercia
  - Szigetüzem
  - Egyéb hálózattámogató funkciók



Összefoglalás

- A teljesítményelektronika ára csökken, nagyobb teljesítmények, kisebb veszteségek
- Elosztóhálózatokon is számos új lehetőség
  - Feszültségszabályozás
  - Szűkületkezelés
  - Csillagpontkezelés / zárlatkezelés
  - DC elosztás

- Együttműködési lehetőségek:
  - Innovatív megoldások fejlesztése
  - Lehetséges alkalmazási területek vizsgálata.



Köszönjük a figyelmet!
…és várjuk standunkon

Dr. Divényi Dániel

Dr. Raisz Dávid

BME – MVM Smart Power Laboratórium
Dr. Raisz Dávid, raisz.david@vik.bme.hu
smartpower.bme.hu

MŰEGYETEM 1782