FIEK_16-1-2016-0007

Teljesítményelektronikai elemek hálózati hatásai

(Az inverter barát vagy ellenség?)

Dr. Raisz Dávid

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Előzetesen definiált tartalom

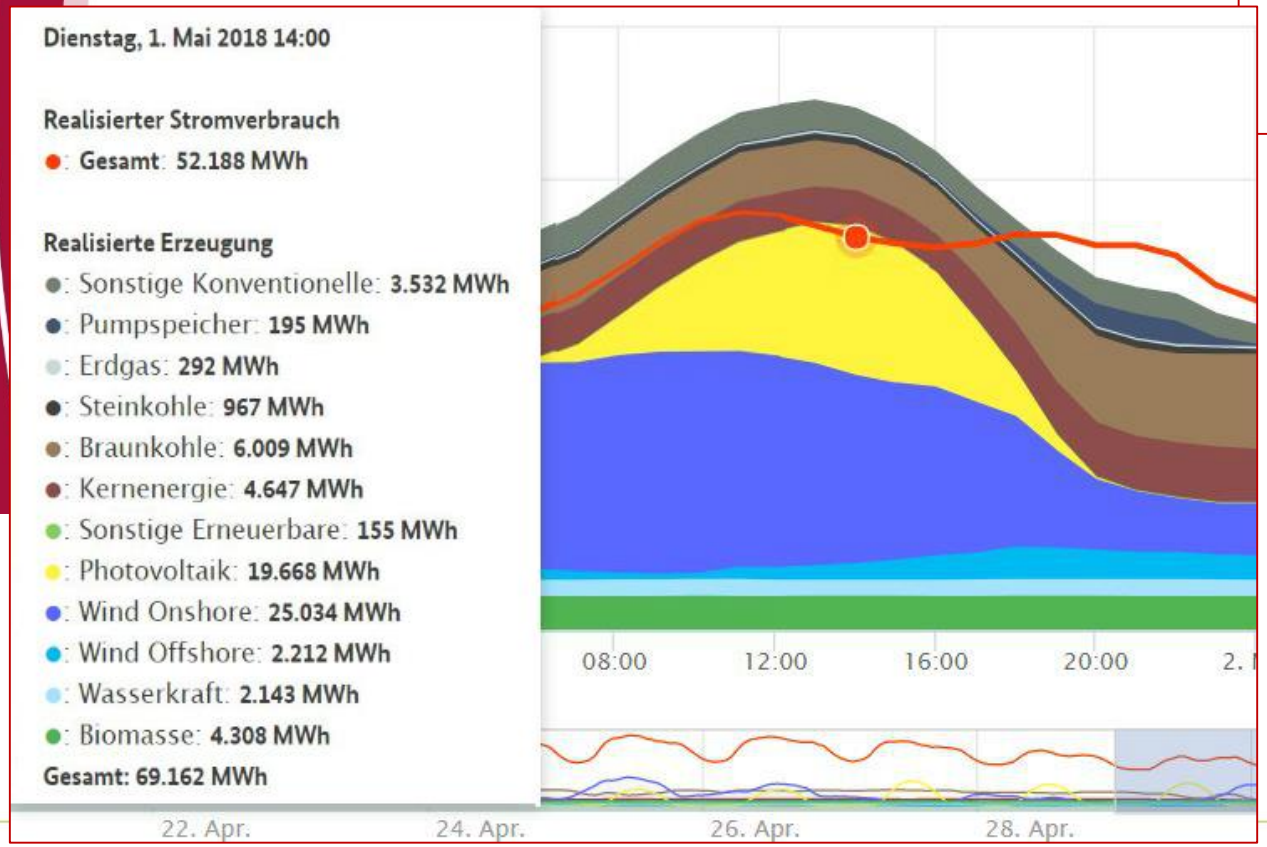
- Inverter-domináns rendszerek által okozott kihívások (feszültség- és frekvenciaszabályozás, stabilitási jelenségek)
- Jelenleg létező (kialakításbeli és szabályozást érintő) megoldások
- Inverterekre vonatkozó friss szabványok
- Inverter alapú rendszerek speciális szabályozása által kínált új lehetőségek

+ További érdekességek

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Ej, ráérünk arra még…?

- Portugália, 2016 ➔
- Németország, 2018 ➔



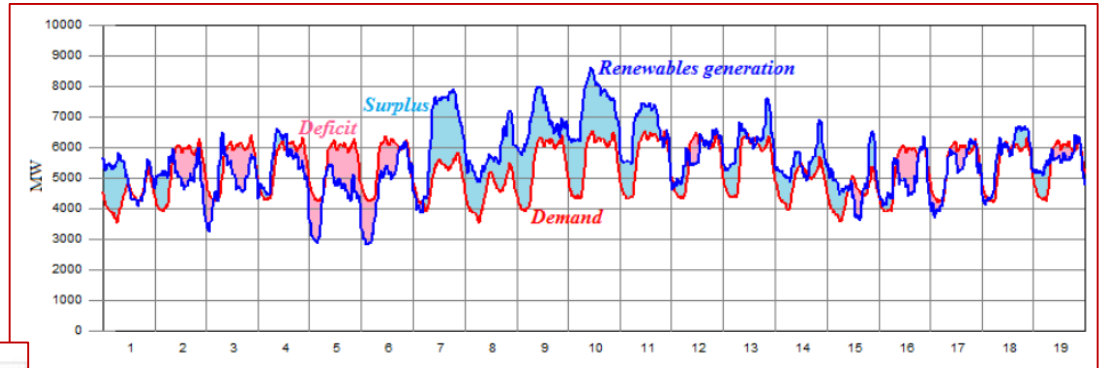


Figure 3: *Portugal renewables generation versus demand, May 1 through 19, 2016*

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Ellenség…? Barát…?

Milyen szempontok szerint?

- Csökkenő inercia, növekvő ROCOF
- Feszültségemelkedés
- FRT képesség
- Csökkenő zárlati áram
- Visszatáplálás – védelmi érzékelés
- Gyors szabályozás
  - Pl. teljesítménycsökkentés ➔ elkerülhető a tranziens instabilitás
- Karbantartás (több kisebb egység)
- Blackstart képesség
- Harmonikus stabilitás

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

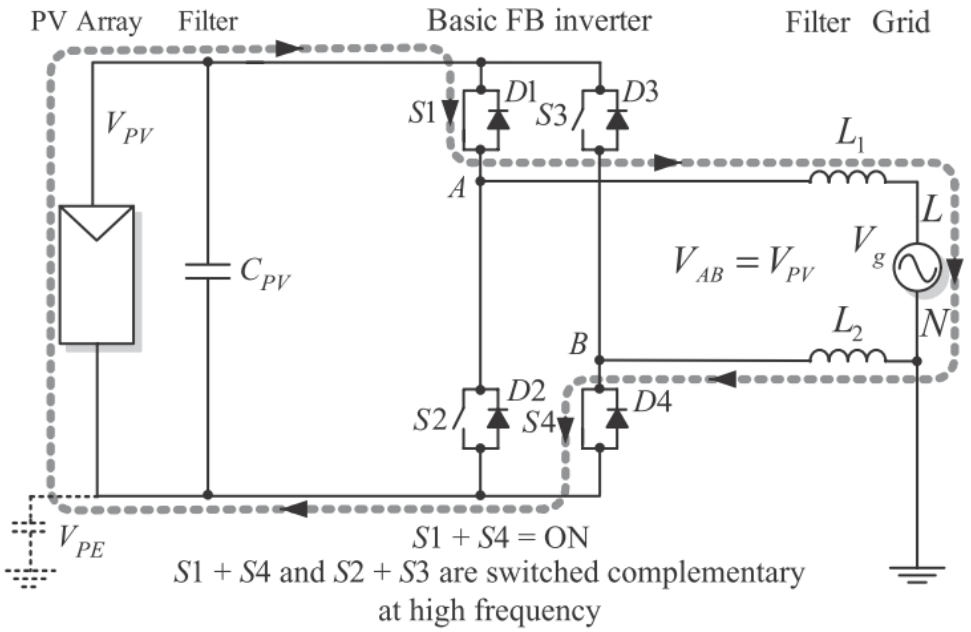
MŰEGYETEM 1782

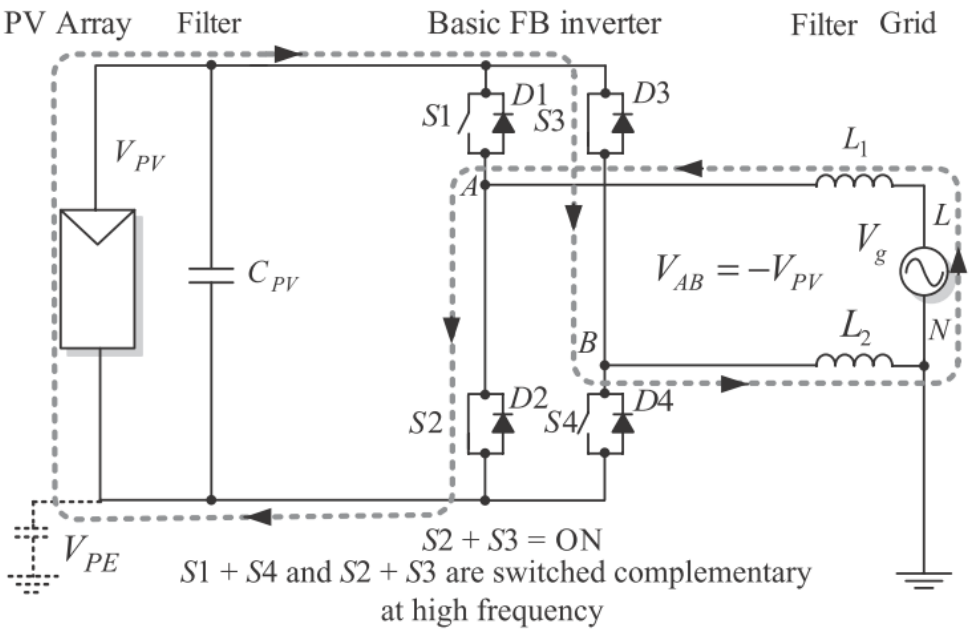
INVERTEREK FELÉPÍTÉSE

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Inverterek felépítése – alapok

Egyenfeszültséget vagy annak fordítottját kapcsoljuk az AC oldalra



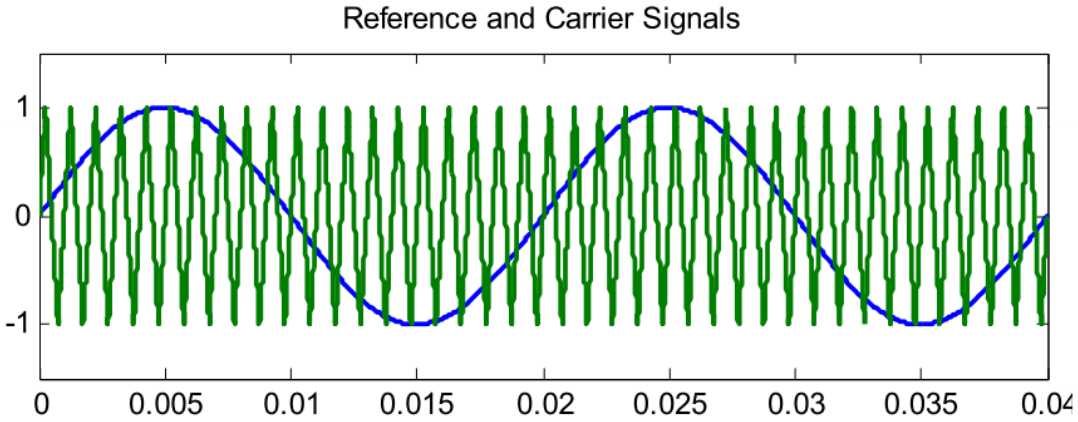


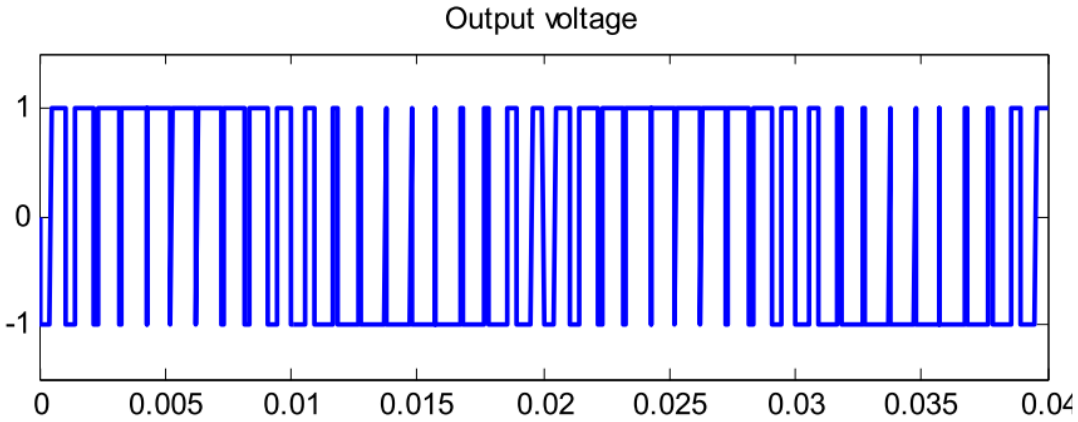
NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

Inverterek felépítése – alapok

Vezérlés: ISZM (PWM)



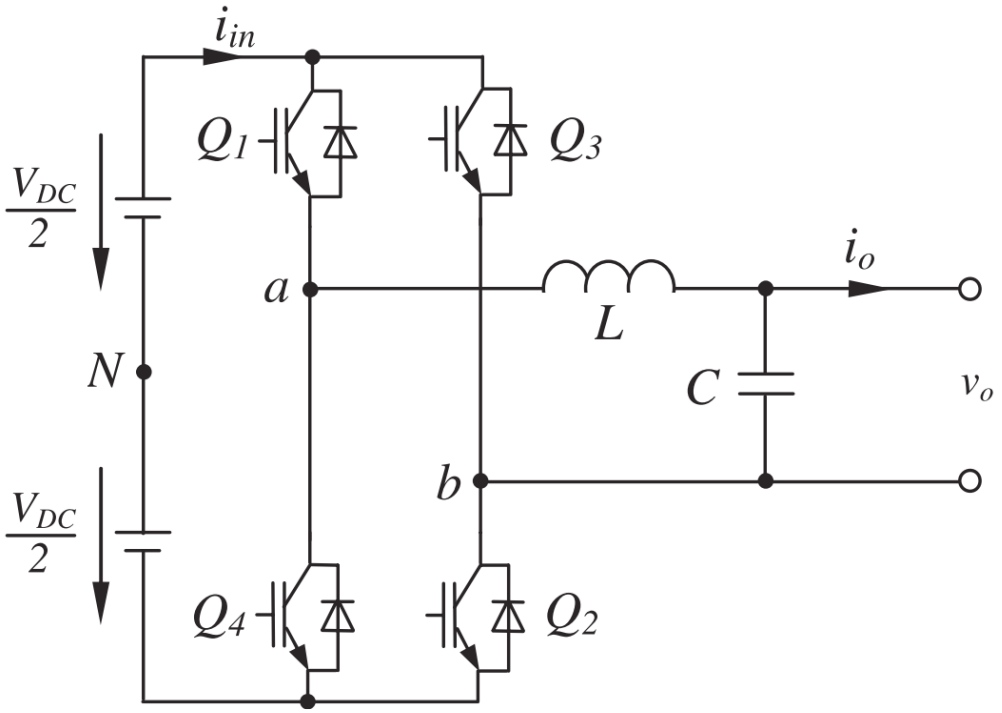


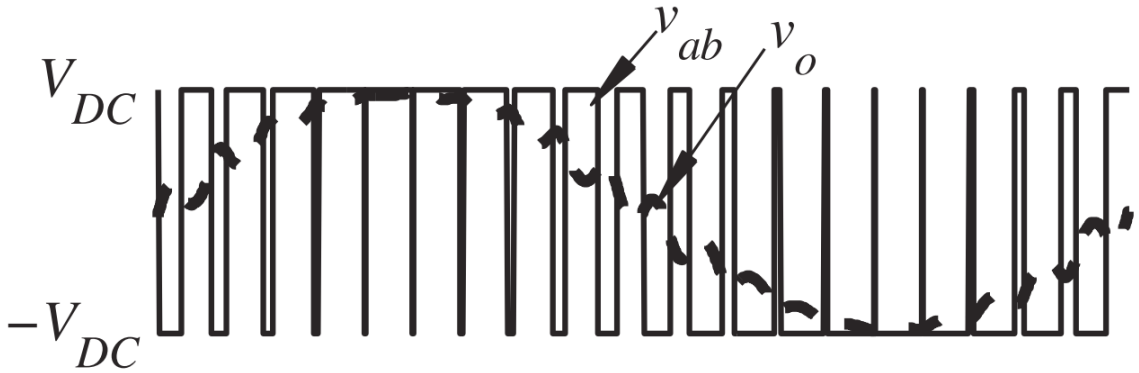
5..15 kHz !

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Inverterek felépítése – alapok

Szűrés





NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

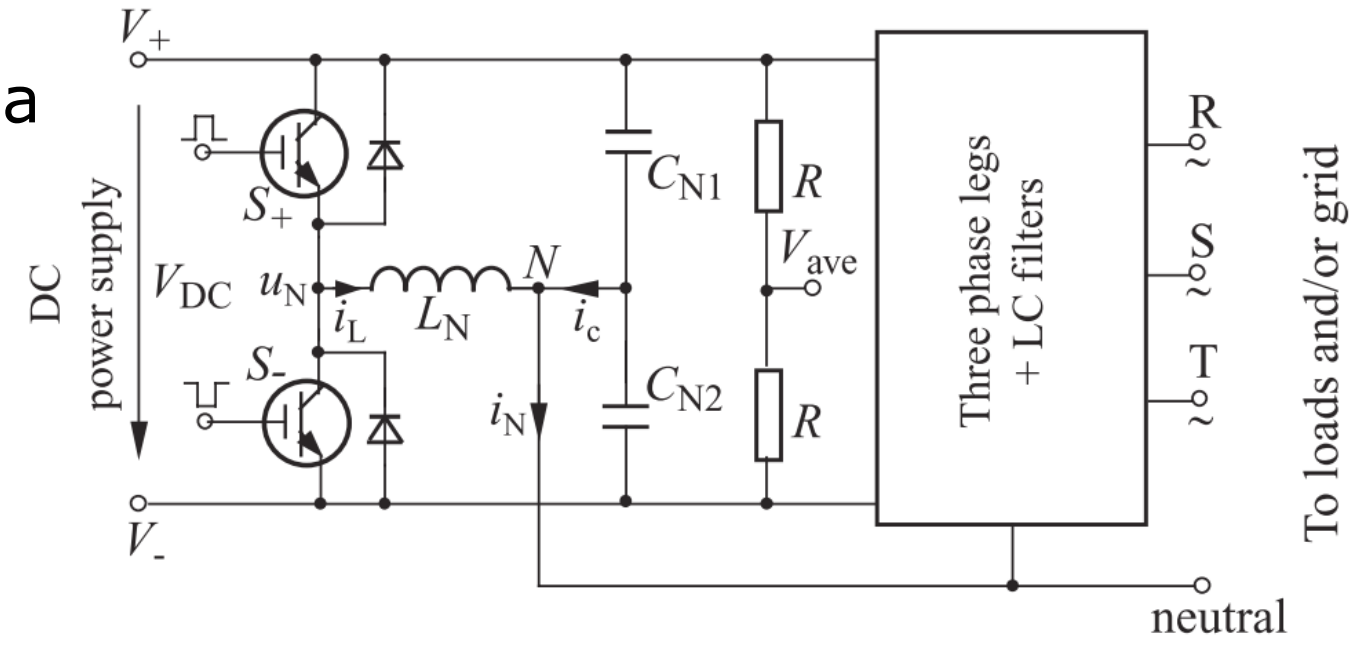
Sok gyártó termékének topológiája ismert

- SMA, HERIC (Sunways), REFU, Full-Bridge Inverter with DC Bypass – FB-DCBP (Ingeteam), Conergy, Danfoss Solar, …..
- Szempontok:
  - Hatásfok
    - Kapcsolási frekvenciák
    - Induktivitásra jutó feszültség nagysága
    - Vezetési veszteségek
  - Nulla feszültség esetén meddő viselkedés (elválasztás)
  - Összetettség

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

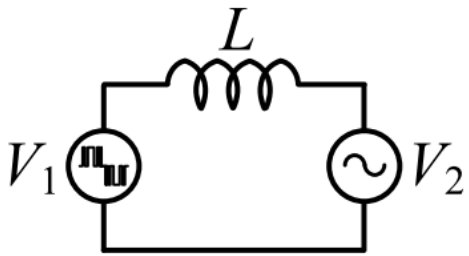
Háromfázisú kialakítás – nullavezető kezelése

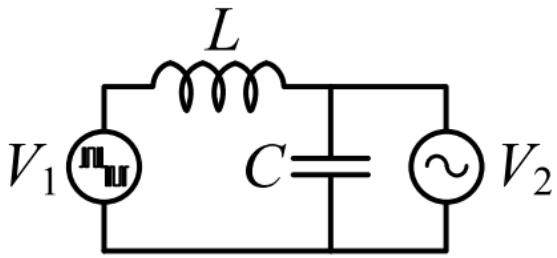
- Osztott DC kapacitás
- Negyedik hídág
- Fentiek kombinációja

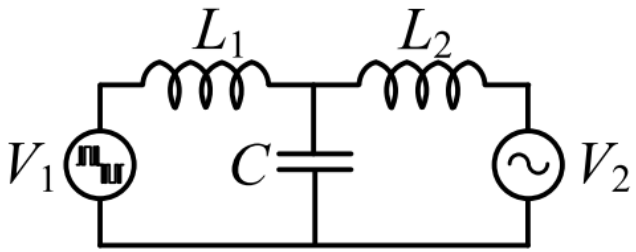


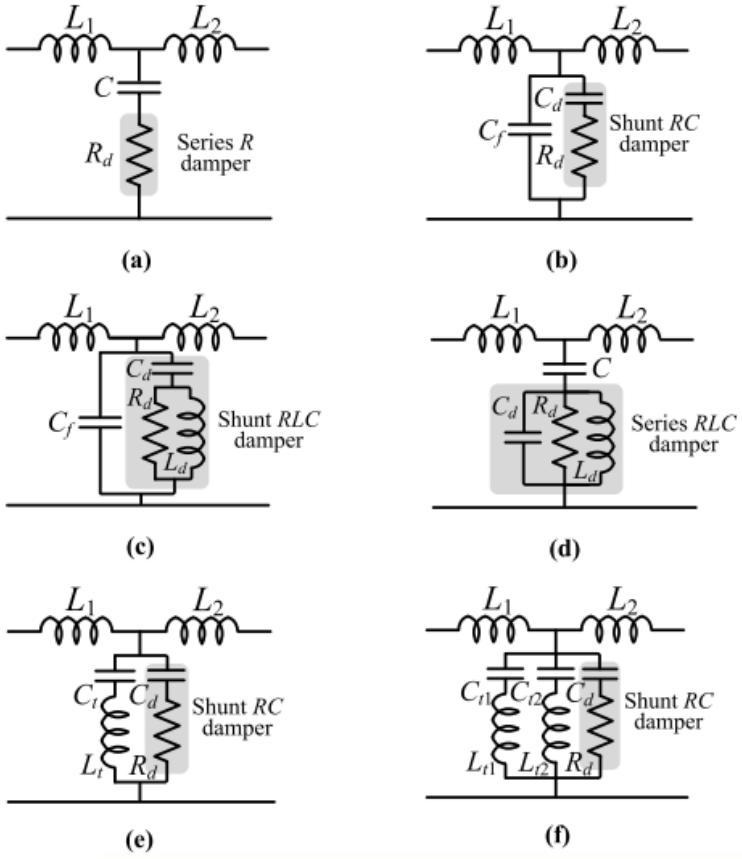
NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Szűrés





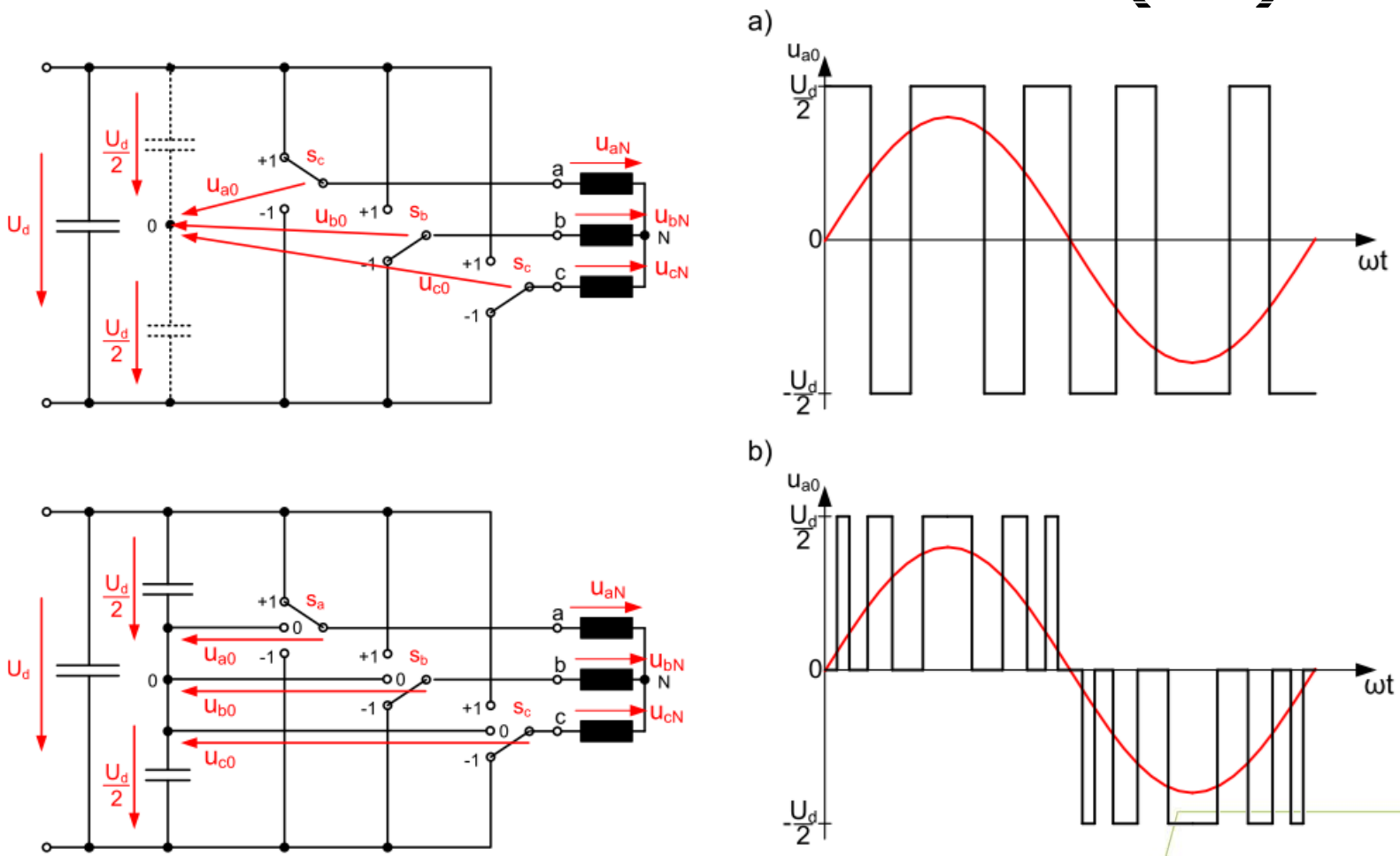




- Nagyobb teljesítmények ➔
- Kisebb kapcsolási frekvencia ➔
- Erősebb szűrési igények ➔
- Bonyolultabb szűrőkör ➔
- „Nehezebb” szabályozástechnika

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

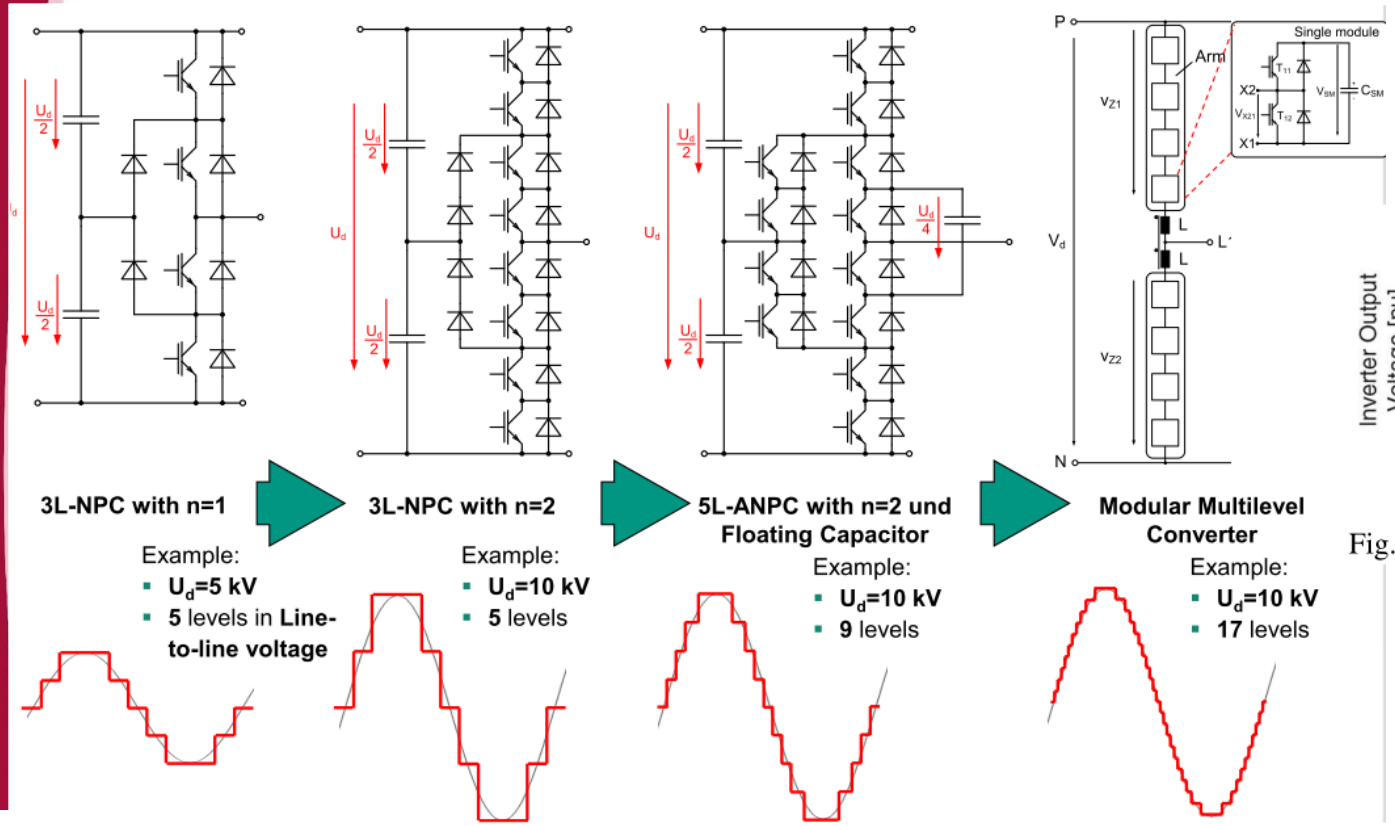
Két vs. háromszintű inverter (kif)



Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Középfeszültségű többszintű inverterek

FIEK_16-1-2016-0007



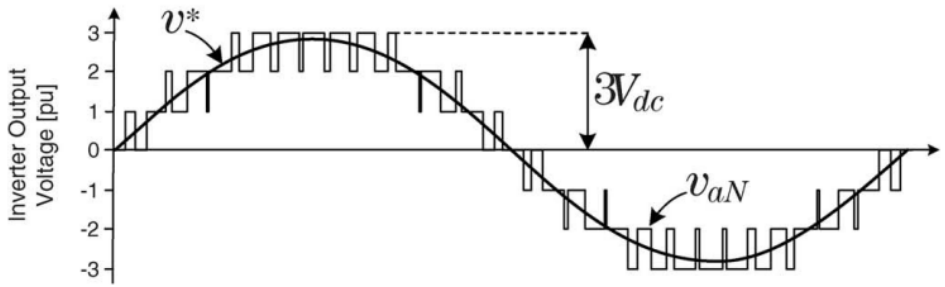
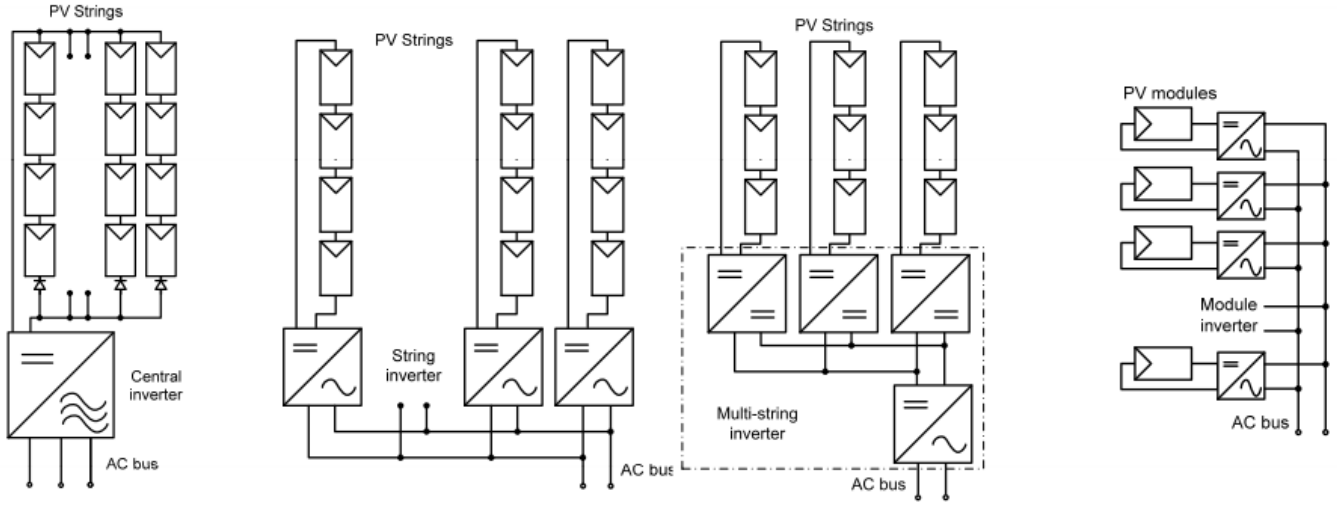


Fig. 17. Three-cell (seven-level) PS-PWM waveform generation.

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Napelemes inverter-rendszerek struktúrája



Central inverters

- 10-250kW, three-phase, several strings in parallel
- High efficiency, low cost, low reliability, not optimal MPPT
- Used for power plants

String (Multi)inverters

- 1.5-5 kW, typical residential application
- Each string has its own inverter enabling better MPPT
- The strings can have different orientations
- Three-phase inverters for power<5kW

Module inverters

- 50-180W, each panel has its own inverter enabling optimal MPPT
- Lower efficiency, difficult maintenance
- Higher cost/kWp

High efficiency Mini-central PV inverters (8-15 kW) are also emerging for modular configuration in medium and high power PV systems

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Felépítés – topológia – struktúra: összefoglalás

- Legtöbb PV inverter (>70%) transzformátor nélküli
- Hatásfokuk 98%..99%
- Nagyobb (több MW): központi inverter, kisebb rendszerekben string v. modul

- **Trend: több kapcsolóelem ➔**
  - **Szinuszosabb áram**
  - **Kisebb szűrők, kisebb veszteség**
  - **Bonyolultabb szabályozás**

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

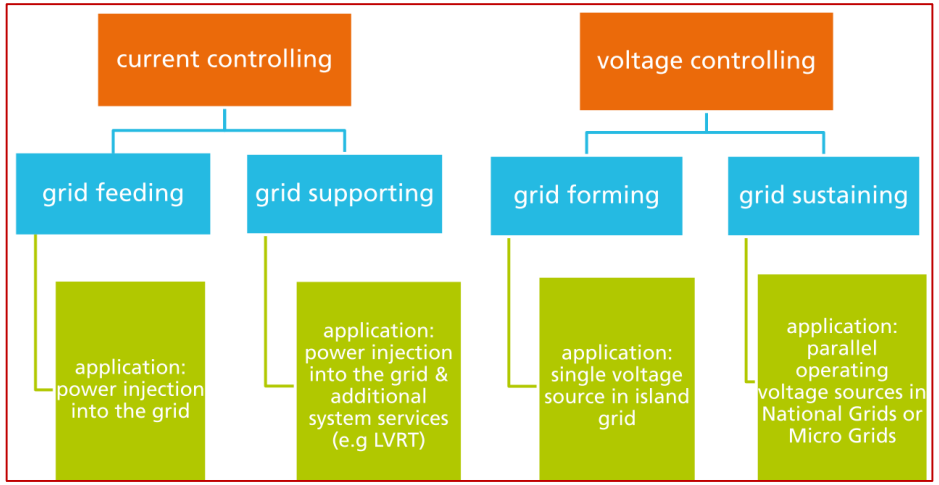
FIEK_16-1-2016-0007

MŰEGYETEM 1782

INVERTEREK SZABÁLYOZÁSA

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

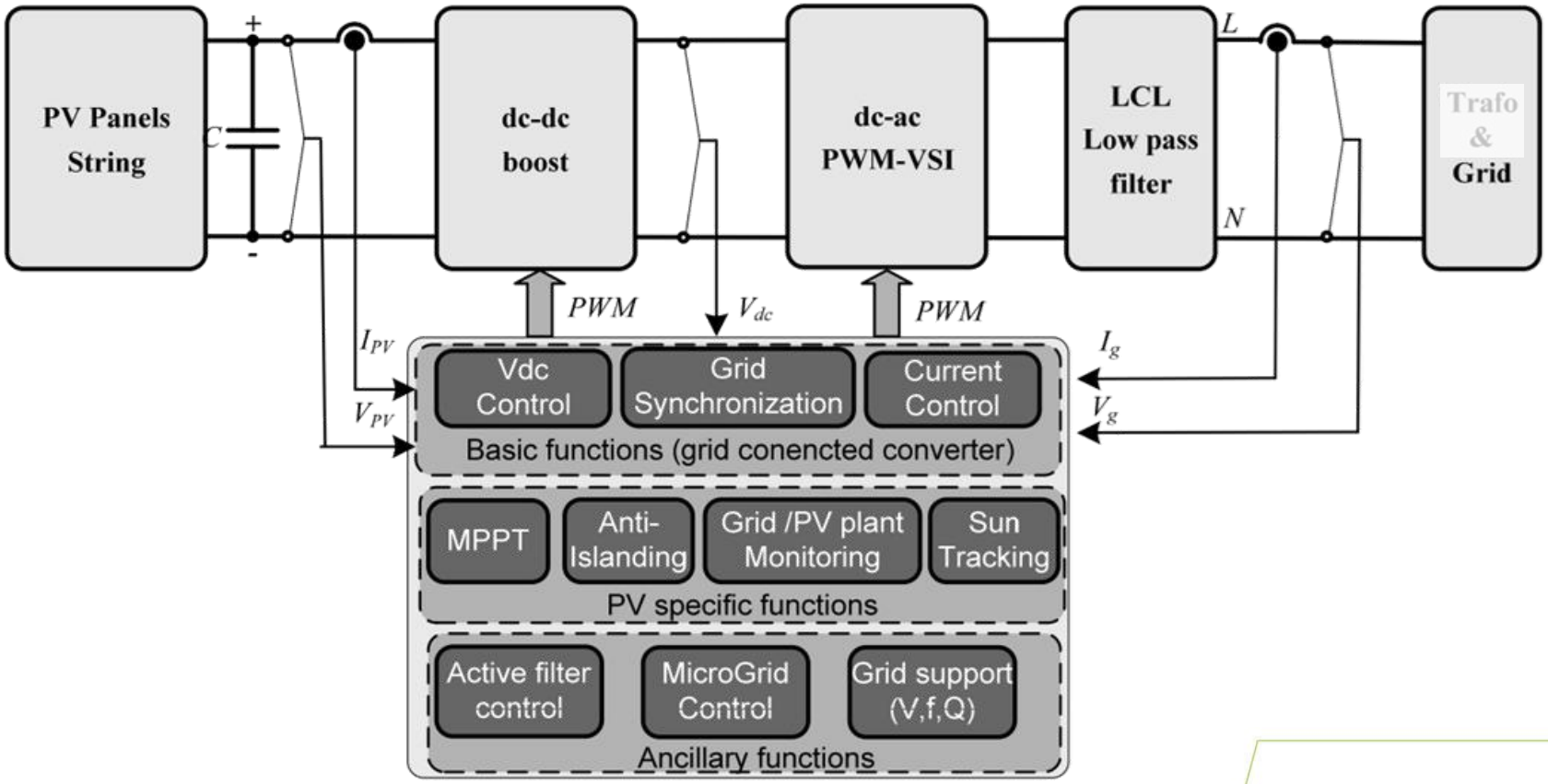
Szabályozási stratégiák, „célfüggvények”



	Grid-Feeding	Grid-Supporting	Grid-Forming	Grid-Sustaining
Behavior	Ideal Current Source	Ideal Current Source	Ideal Voltage Source	Real Voltage Source
Control	PQ - Controller	PQ – Controller + System Services (LVRT, Q(U), …)	const. Frequency/ Voltage (isochronous)	Droop-Control (Static Control)
Source Impedance	$Z = \infty$	$Z = \infty$	$Z = 0$	finite, $\neq 0$
Output Frequency	Synchronous to the Grid Freq.	Synchronous to the Grid Freq.	Fixed Frequency	Defined by Droop
Scope of Application	On-Grid	On-Grid	Off-Grid	On-Grid and Off-Grid
Inertia	No	No	Infinite	finite, $\neq 0$

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Inverterek szabályozása – áttekintés



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

Inverterek szabályozása – funkciók

- Alapvető funkciók
  - Áramszabályozás
    - THD
    - Stabilitás megőrzése hálózati impedancia változása esetén
    - Feszültségletörés – áthidalás (LVRT)
  - DC feszültség szabályozás
    - Hálózati feszültség változása esetén alkalmazkodás
    - Feszültségletörés – áthidalás (LVRT)
  - Szinkronizáció
    - (újra)csatlakozáskor

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

Inverterek szabályozása – funkciók

- PV-specifikus funkciók
  - MPPT (Maximum Power Point Tracking: napelem maximális teljesítményére szabályoz)
    - Stacioner: >99% mppt hatásfok
    - Jó dinamika a besugárzás változása esetén
    - Stabil működés alacsony besugárzás esetén
  - Hálózat figyelése
    - Szigetüzem kezelése
    - cosφ
    - Feszültség / frekvencia változásai
  - Napelem monitoring
    - Panel dignosztika
    - Részleges árnyékolás érzékelése
  - Napkövetés

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

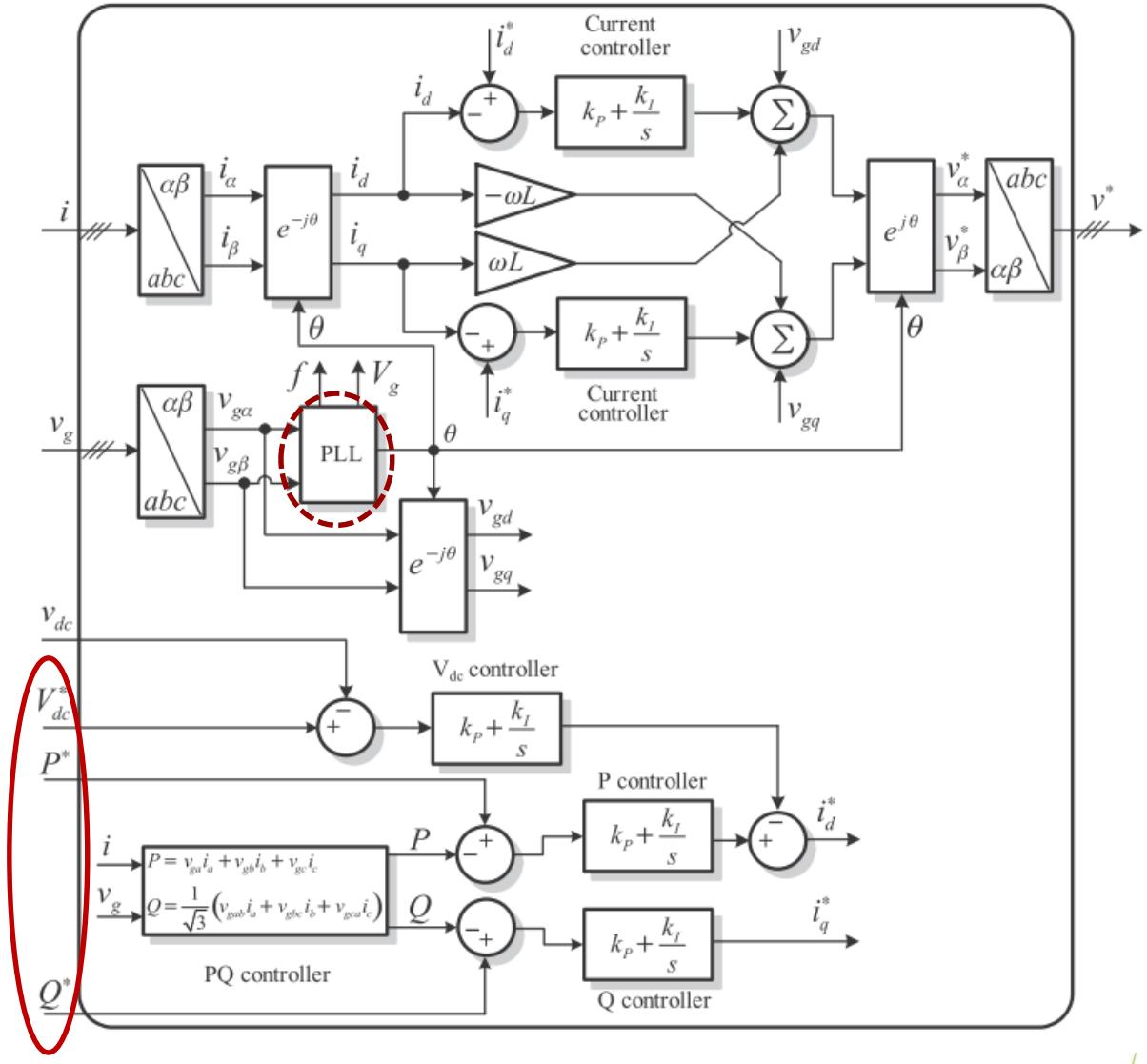
Inverterek szabályozása – funkciók

- Hálózat támogató funkciók
  - Feszültségszabályozás
  - FRT (Fault Ride-Through: feszültség letörés áthidalása)
  - Feszültségminőség
    - Harmonikus szűrés
    - Aszimmetria

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

Inverterek szabályozása: egy egyszerű szabályozó – példa



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Milyen gyors az inverterek szabályozása?

FIEK_16-1-2016-0007

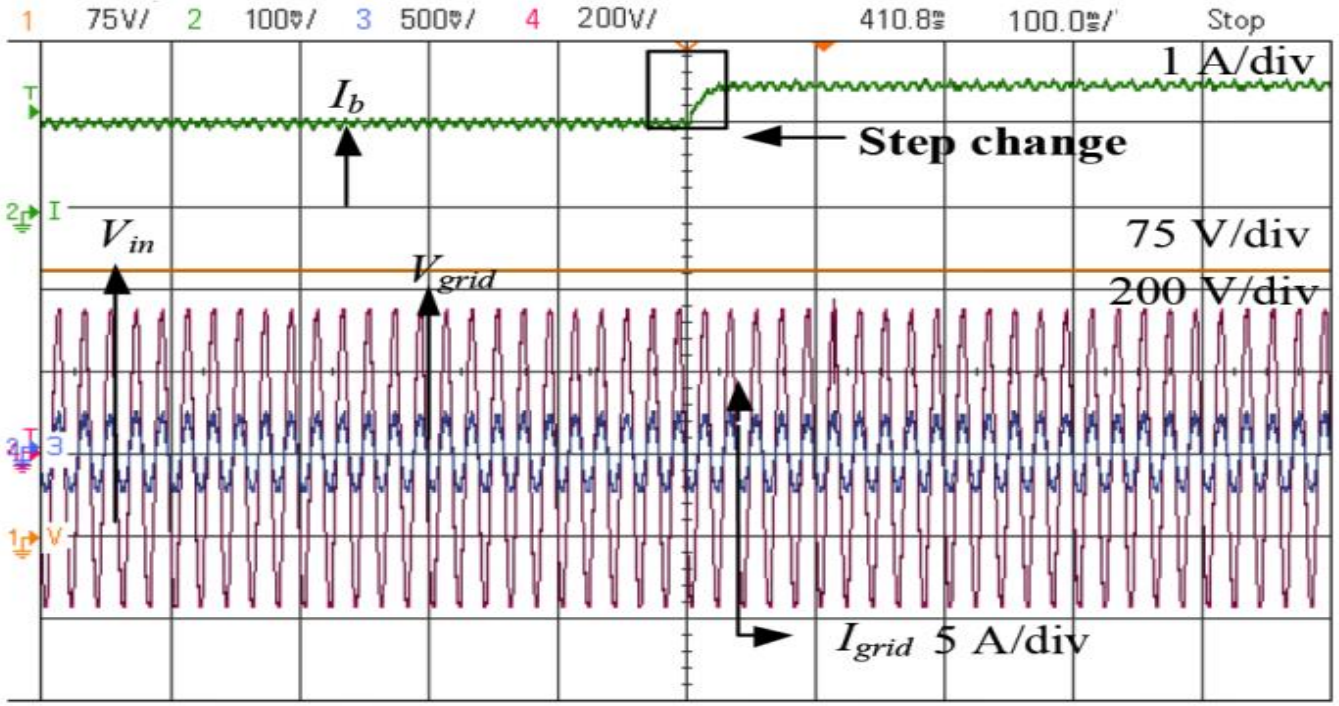
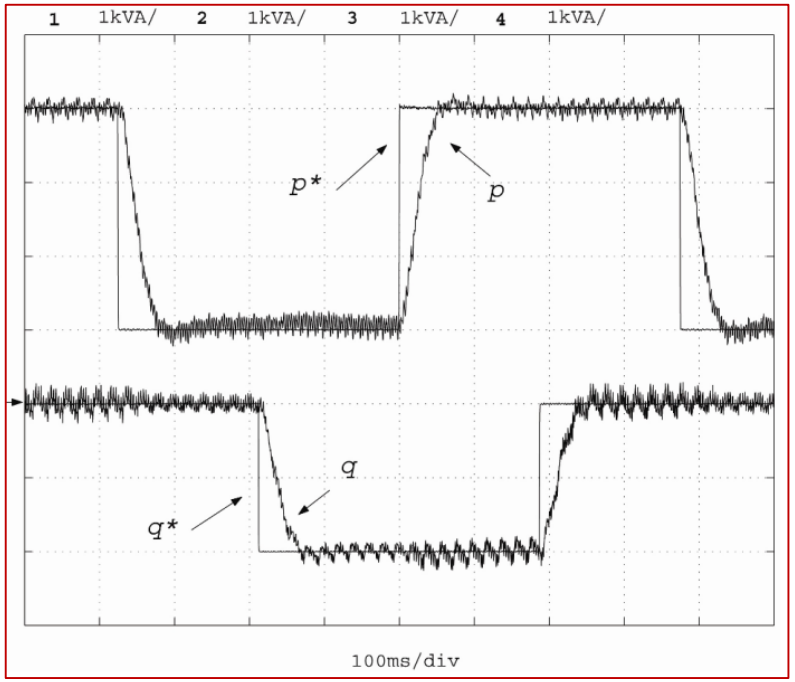


Figure 15. Experimental results for step change in reference battery current. (a) Input voltage. (b) Battery current. (c) Grid voltage and current.



Turk J Elec Eng & Comp Sci. (2018) 26: 1847 – 1859

2-3 periódus alatt megtörténik az alapjel követés.
Nem minden szabályozókör ilyen gyors.

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

MŰEGYETEM 1782

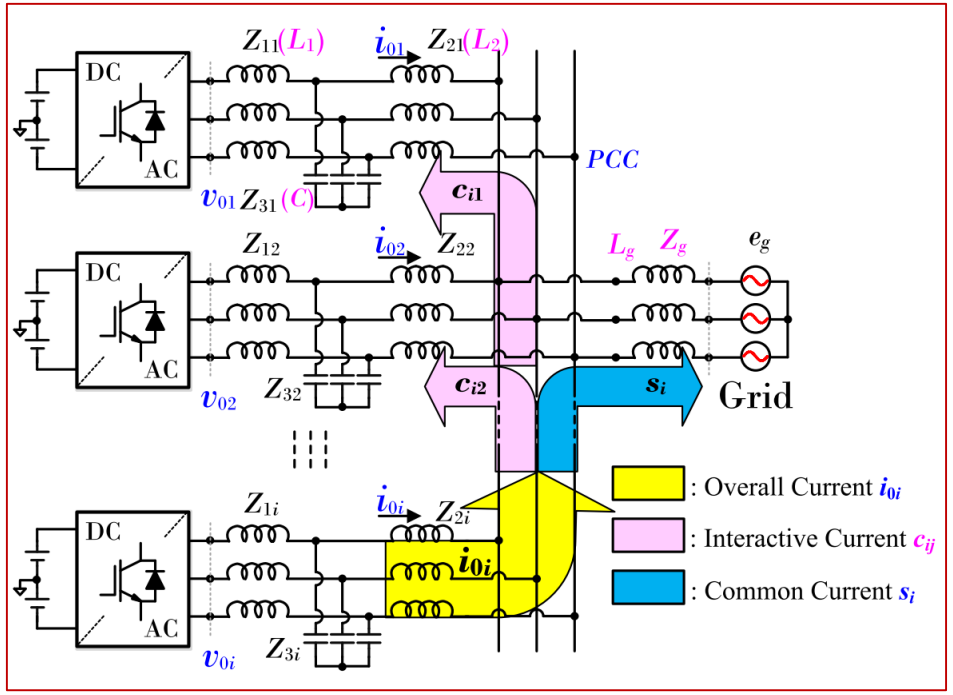
Válogatott

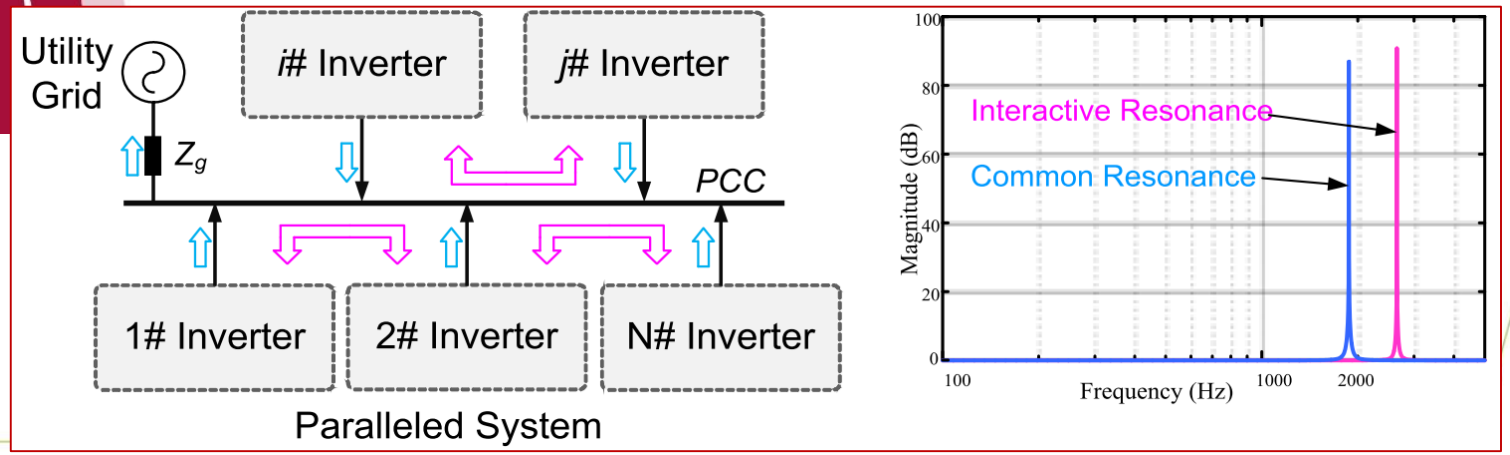
PROBLÉMÁK ÉS KEZELÉSÜK

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Harmonikus stabilitás – elmélet

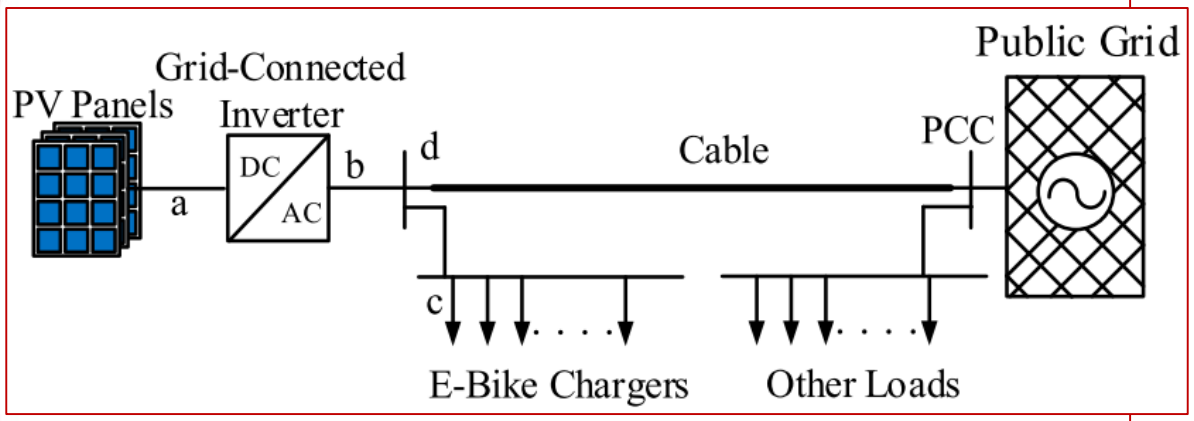
Inverterek közötti ill. inverterek és hálózati elemek közötti rezonancia

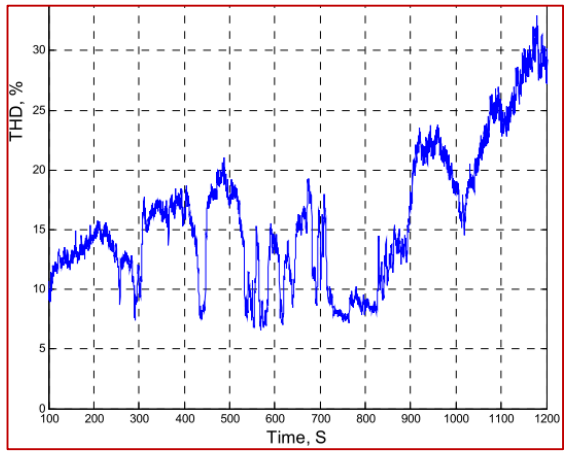




NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Harmonikus stabilitás – gyakorlat





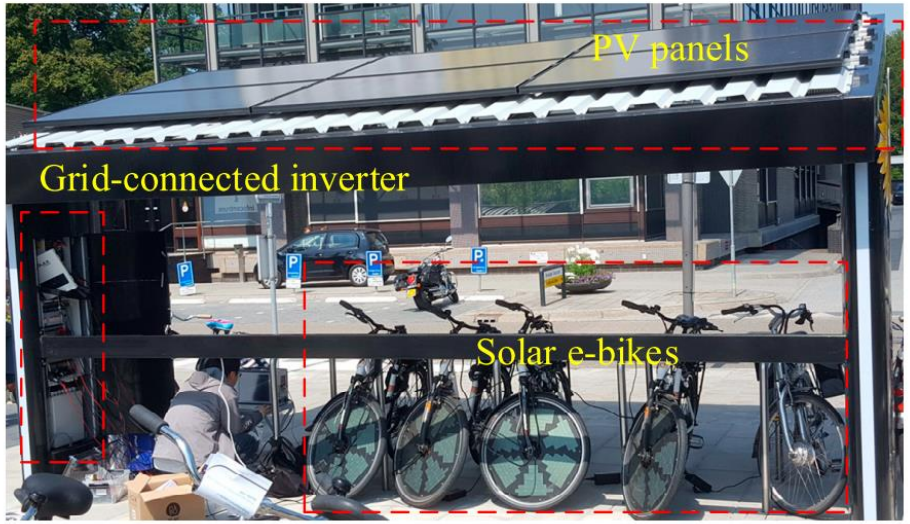
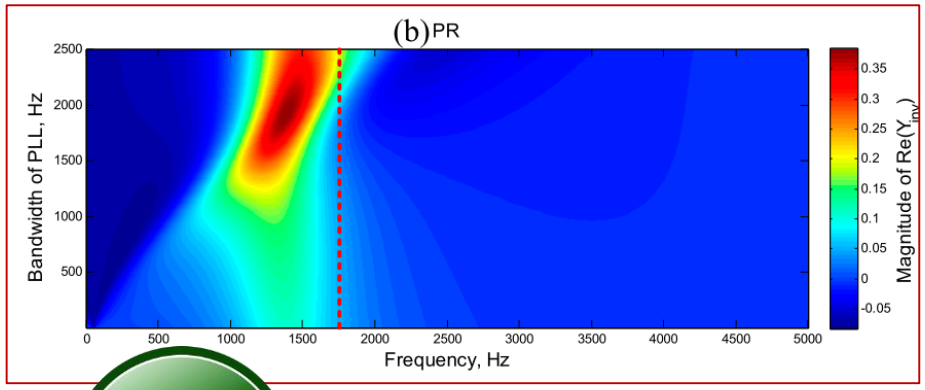


Figure 1. The PV (photovoltaic)charging station with 6 PV modules (top), a grid-connected inverter (at left column), and 4 solar e-bikes that are being charged.

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Harmonikus stabilitás – megoldások



Szabályozókörök vizsgálata ➔

- Másfajta szabályozó
- PLL paraméterhangolása
- Áramszabályozó átparaméterezése

- Hagyományos szűrés (de ez további berendezést igényelne…)

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

Szinkronizálás, frekvencia/szög mérés

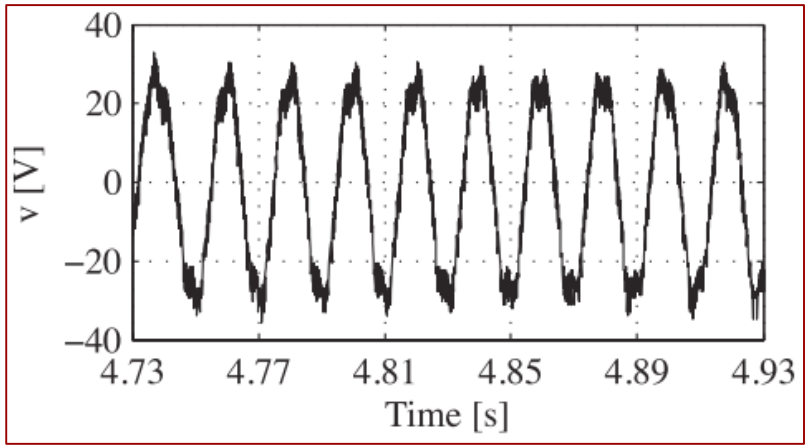
- Hagyományosan: PLL (fáziszárt hurok)
  - Hatással van a rendszer admittanciáira
  - Hatással van a stabilitásra
  - Gyorsan változó / torz jelek esetén nem mér jól
- Egyik lehetőség: PLL-nélküli inverterek
- Másik ígéretes megoldás: SLL…

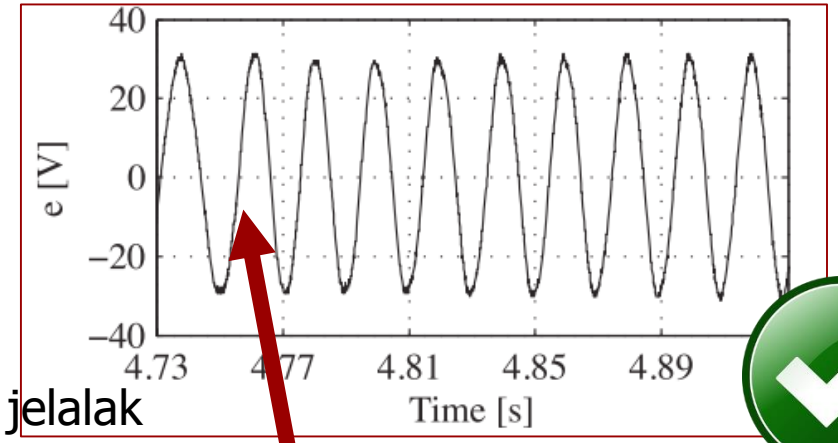
NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

SLL

FIEK_16-1-2016-0007

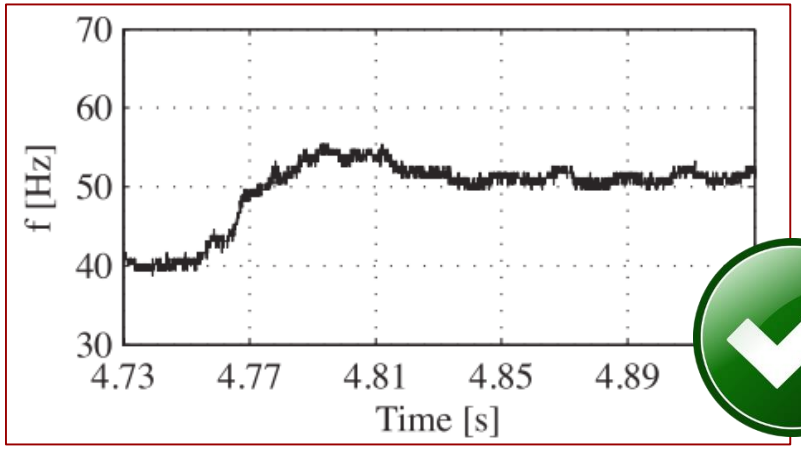
Bemenő feszültségjel (torz, felharmonikusok, frekvenciaugrás):



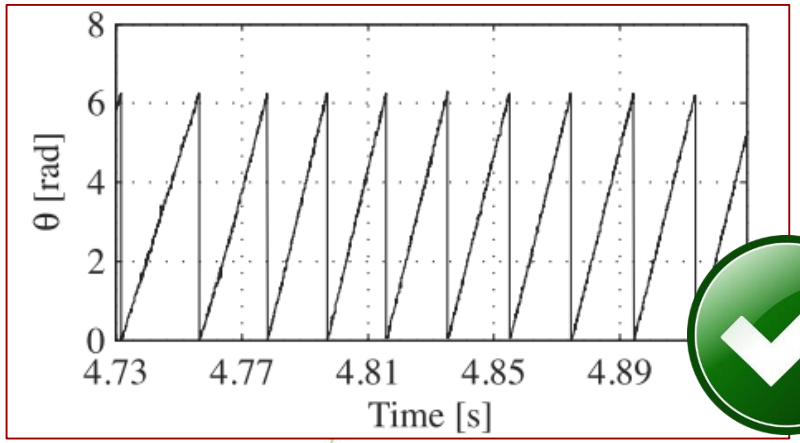


Mért feszültség jelalak

Frekvenciaugrás



Mért frekvencia



Mért szög

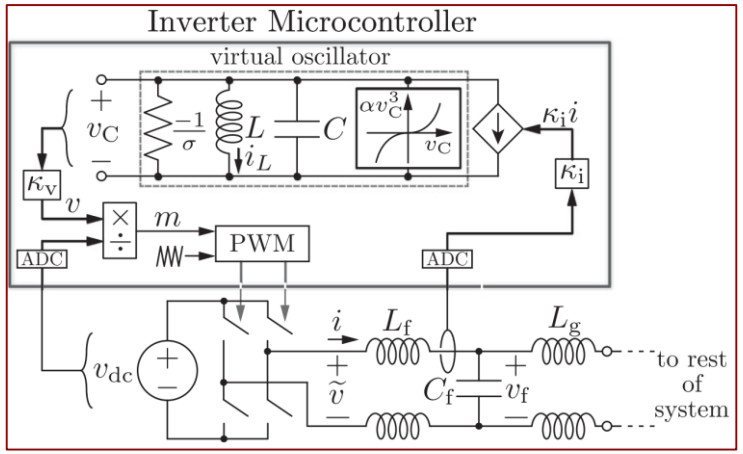
NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Új fizikai elv a szinkronizáláshoz

VOC – Virtual Oscillator Control

- Több inverter szinkronizálása tranziensekkel jár
- Csatolt oszcillátorok:

  https://www.youtube.com/watch?v=Aaxw4zbULMs



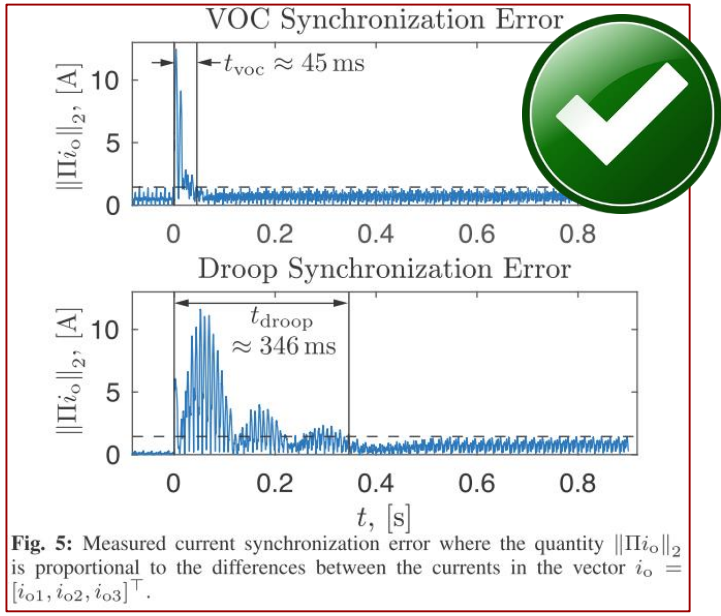


Fig. 5: Measured current synchronization error where the quantity $\|\Pi i_o\|_2$ is proportional to the differences between the currents in the vector $i_o = [i_{o1}, i_{o2}, i_{o3}]^\top$.

- P/f/Q/U szabályozást tudja
- Hálózat ⇔ sziget: kis tranziensek
- Szimmetrizálás/szűrés is megoldható

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Csökkenő inercia

- Egyre csökken a rendszerben a forgó tömeg (mozgási energia)

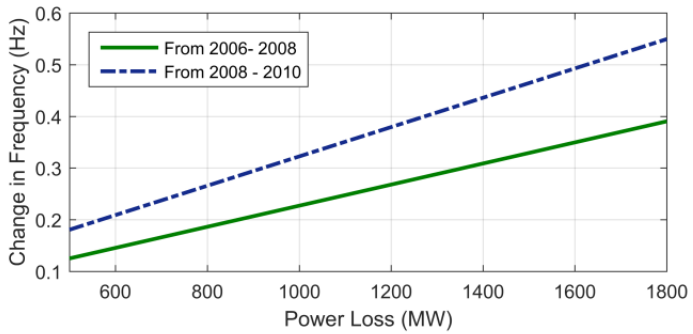


Figure 2. Increase in frequency changes in Electricity Reliability Council of Texas (ERCOT) connection due to generation loss [7].

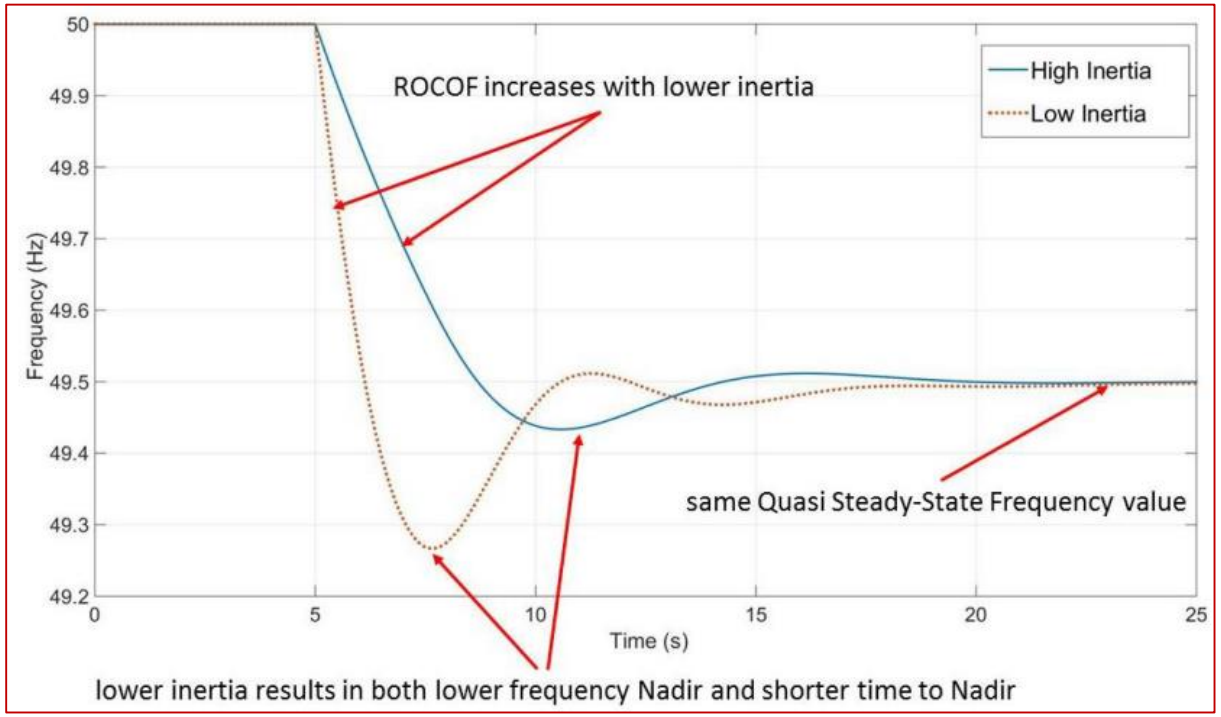
- Pedig ez sokat segített a rendszer stabilizálásában

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Csökkenő inercia

Következmények:

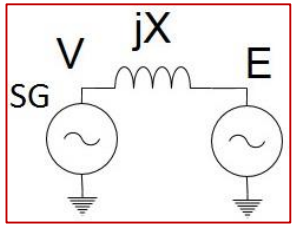
- Nagyobb frekvencia ingadozások
- Gyorsabb változások (dinamikusabb rendszer)

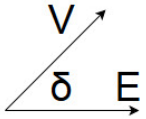


NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Egyik megoldás: Virtuális inercia

- Lengési egyenlet: $$\begin{cases} \dot{\delta} = \omega - \omega_n \\ M\dot{\omega} = P_m - \dfrac{EV}{X}\sin\delta - D\dot{\delta} \end{cases}$$





- Ezt a – szinkrongépekre jellemző – viselkedést szabályozástechnikai megoldással is lehet emulálni

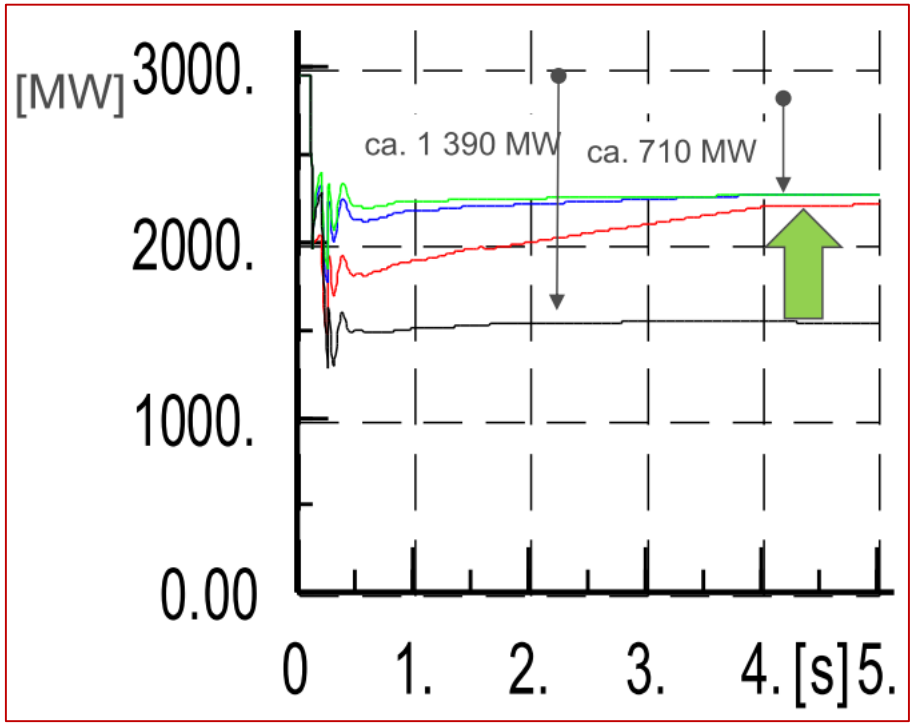
- Sőt, ez a módszer olyan lehetőségeket biztosít ezen belül a rendszerdinamika kialakítására, amelyeket a szinkrongépek nem.

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FRT

Feszültség letörés áthidalása

- Megfelelő szabályozás segíti a hálózatot (és nem „cserbenhagyja”)



dynamische Netzstützung

- V1: keine — Inverter leválik
- V2: eingeschränkte — Csak hálózaton marad, nem táplál be
- V3: vollständige (Blindstromeinspeisung) — Q betáplálás
- V4: vollständige (Blind- u. Wirkstromeinspeisung) — P és Q betáplálás

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Modell-validálás

Sokféle kialakítás, szabályozástechnikai megoldás létezik.

Honnan tudjuk, hogy egy adott (típusú) készülékben mi van?

- ✓ Néhány generikus modell (GE, WECC, EPRI…) szimulációja
- ✓ Validálás: helyszíni mérések / valósidejű szimuláció, + modellparaméter-hangolás

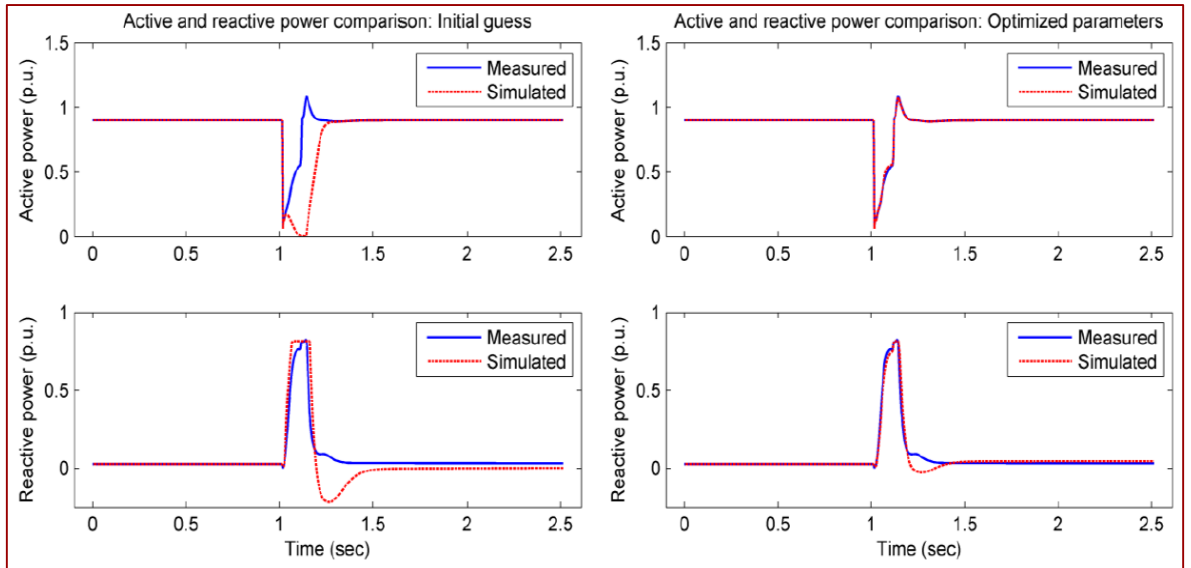
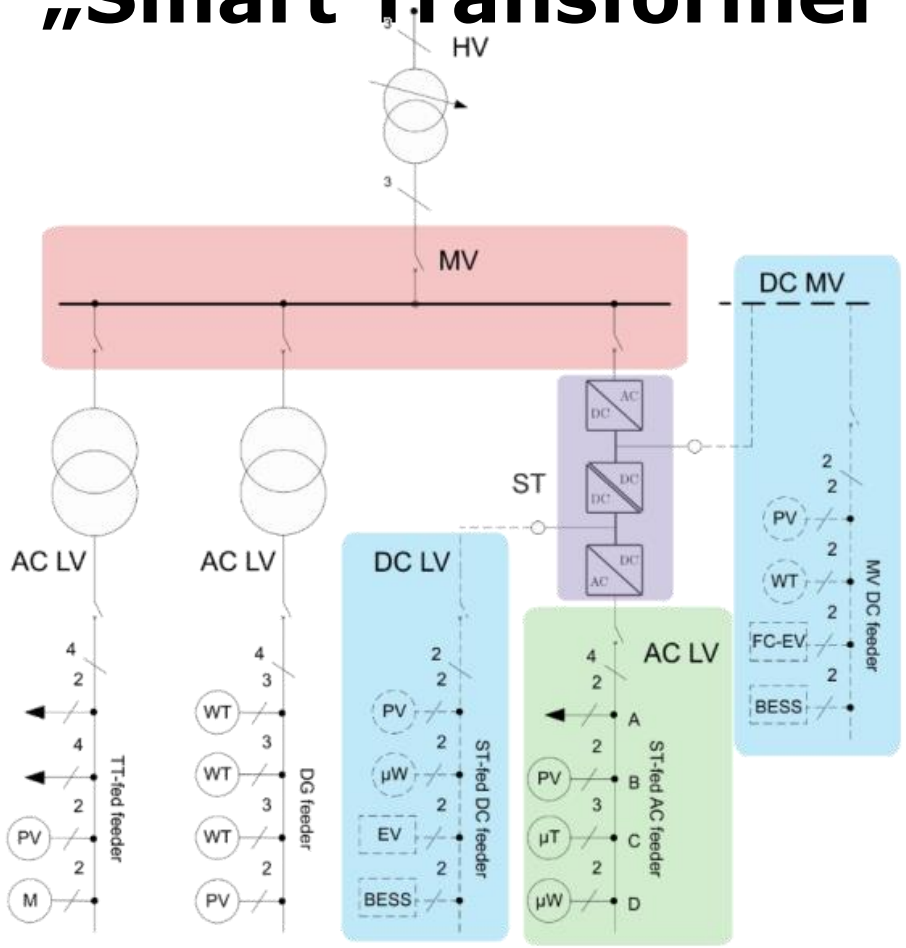


Figure 6. Initial guess output comparison. Figure 7. Optimized parameter output comparison.

AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT
NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE

FIEK_16-1-2016-0007

Mi jöhet még…? DC elosztás + „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

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

MŰEGYETEM 1782

IEEE 1547-2018

RFG (2016..2019)

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

IEEE 1547-2018

- Normál üzemállapot (pl. U-Q szabályozás) kapcsán:
  - Category A: minimum követelmények, kisebb penetráció vagy kisebb ingadozások
  - Category B: erősebb követelmények: nagyobb penetráció vagy nagyobb ingadozások

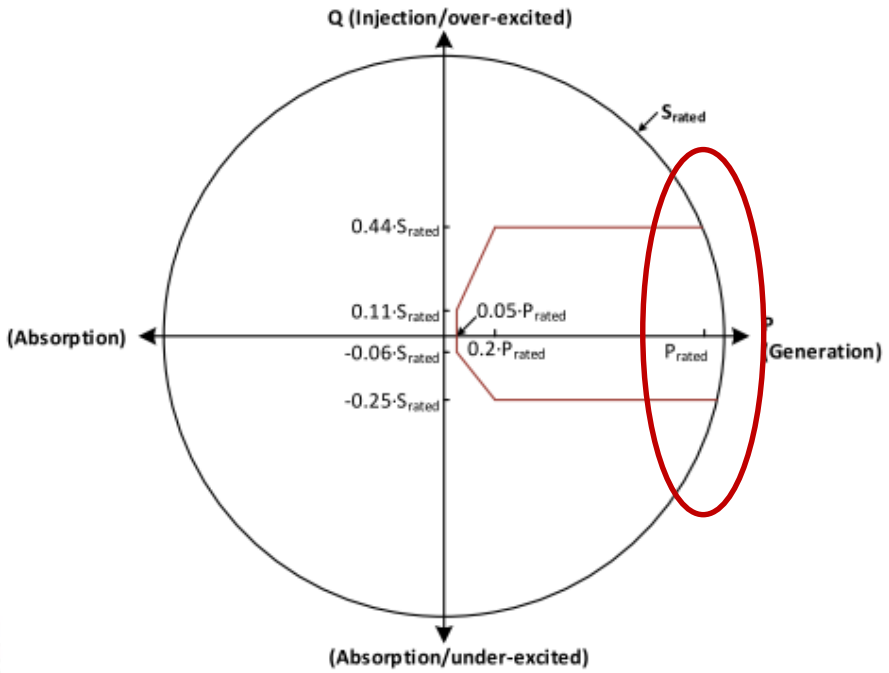
- Normáltól eltérő üzemállapotok kezelése kapcsán:
  - Category I: minimum, minden inverter tudja
  - **Category II: bizonyos veszélyeztetett / üzemzavari állapotok során is üzemben marad**
  - **Category III: még erősebb követelmények (nagy penetráció)**

Inverter alapú rendszerek (nap, szél, tárolás)

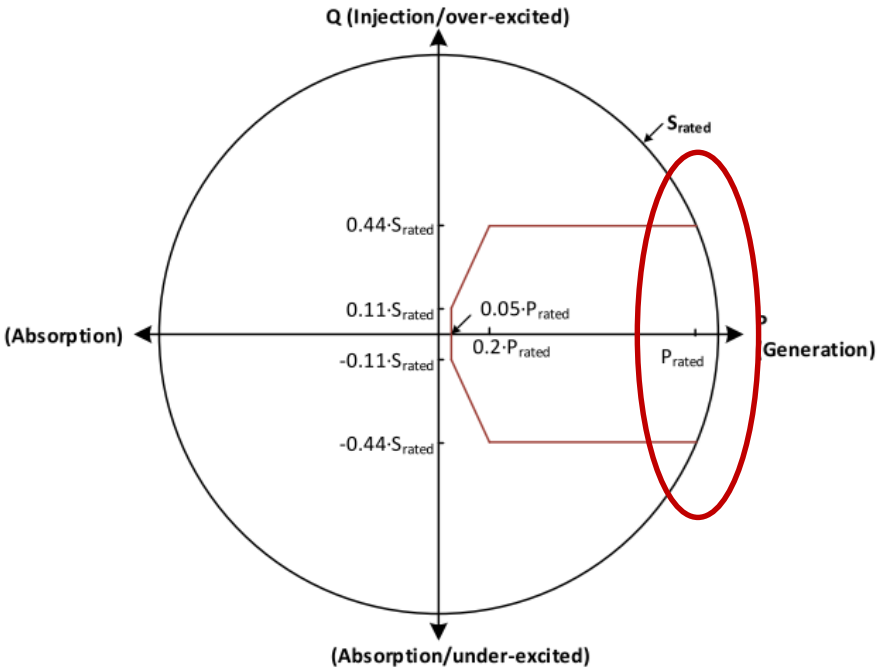
NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

IEEE 1547-2018

- Meddő képesség



Category A



Category B

Kb. 10% túlméretezés

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

IEEE 1547-2018

- Feszültség szabályozás (1..5..10..90s)

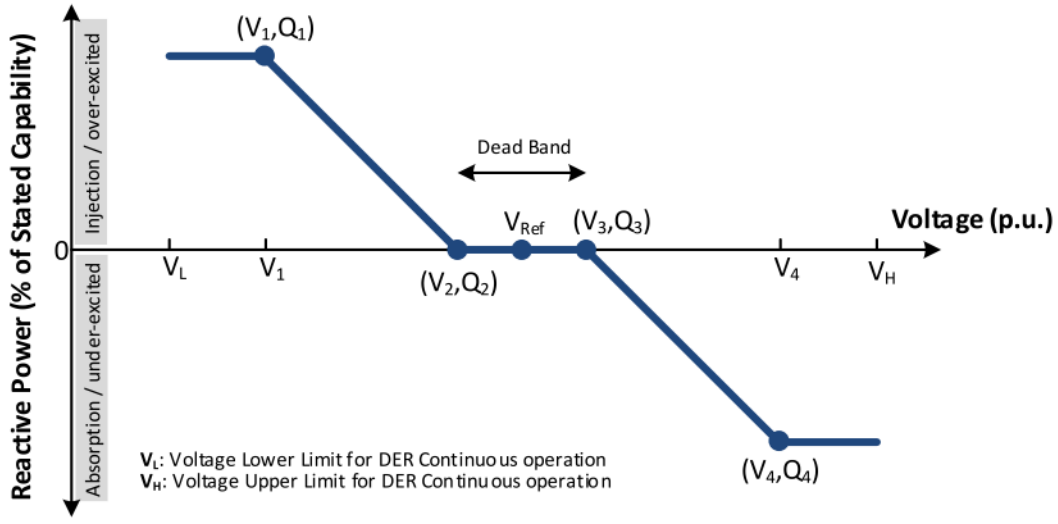


Figure H.4—Example voltage-reactive power characteristic

DER category	Category A	Category B
Voltage regulation by reactive power control		
Constant power factor mode	Mandatory	Mandatory
Voltage—reactive power mode[a]	Mandatory	Mandatory
Active power—reactive power mode[b]	Not required	Mandatory
Constant reactive power mode	Mandatory	Mandatory
Voltage and active power control		
Voltage—active power (volt-watt) mode	Not required	Mandatory

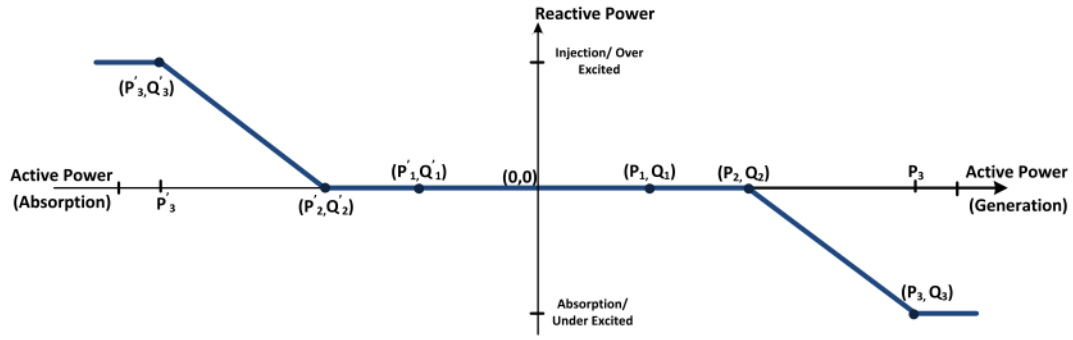


Figure H.5—Example active power-reactive power characteristic

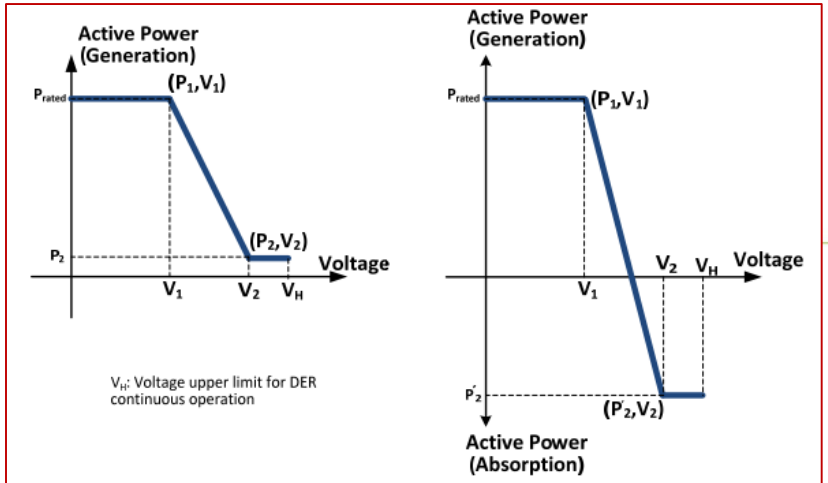


Figure H.6—Example voltage-active power characteristic

IEEE 1547-2018

- Feszültségcsökkenés/-emelkedés

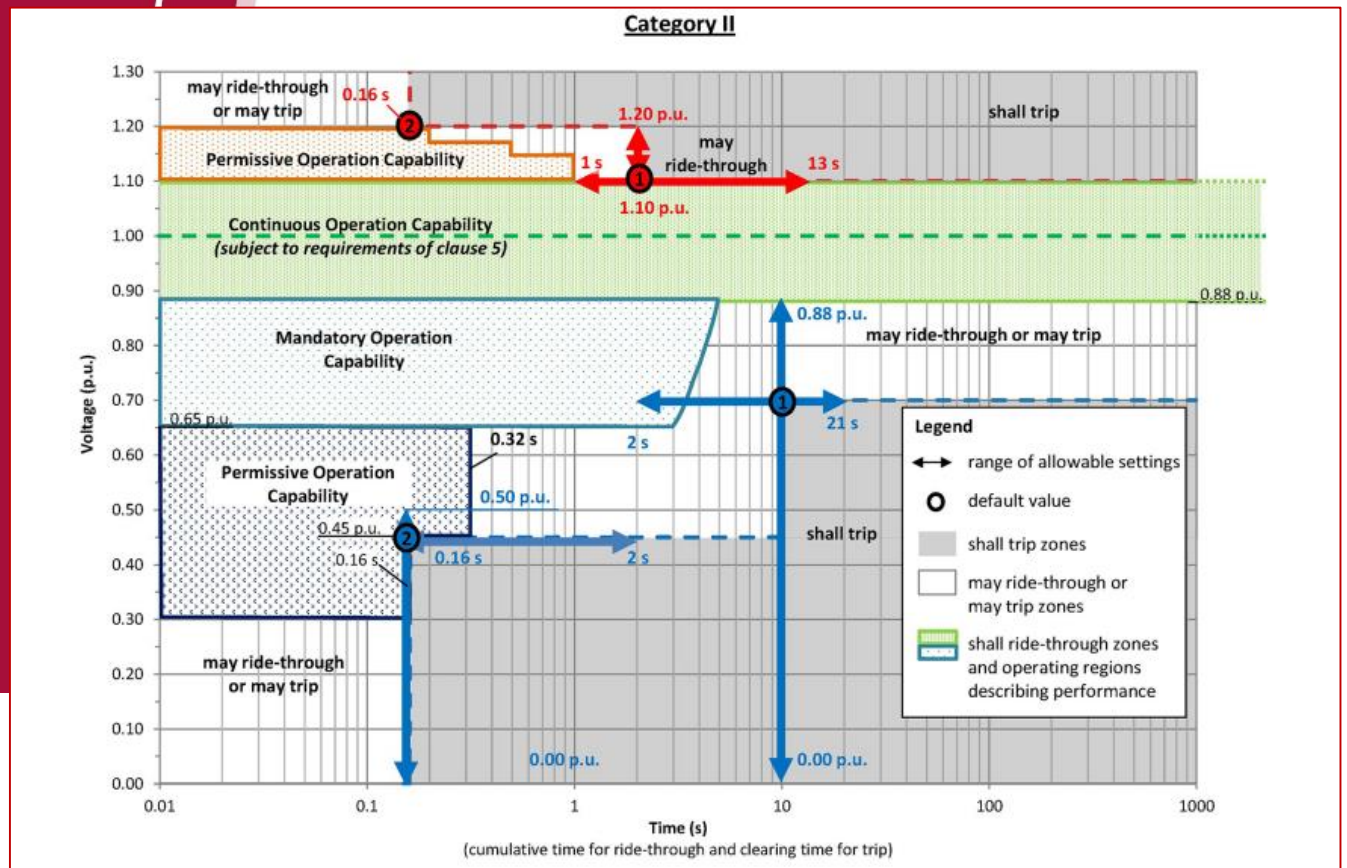
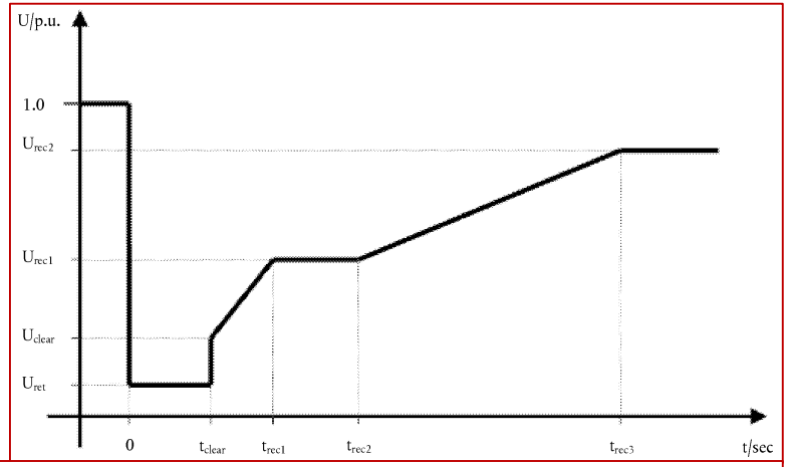


Figure H.8—DER response to abnormal voltages and voltage ride-through requirements for DER of abnormal operating performance Category II

v.ö.: RfG, B típus:



Feszültségparaméterek [pu]		Időparaméterek [másodperc]	
U_{ret}:	0,05–0,15	t_{clear}:	0,14–0,15 (vagy 0,14–0,25, ha a rendszergos üzem úgy kívánja)
U_{clear}:	U_{ret}–0,15	t_{rec1}:	t_{clear}
U_{rec1}:	U_{clear}	t_{rec2}:	t_{rec1}
U_{rec2}:	0,85	t_{rec3}:	1,5–3,0

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

IEEE 1547-2018

- Frekvenciaváltozás

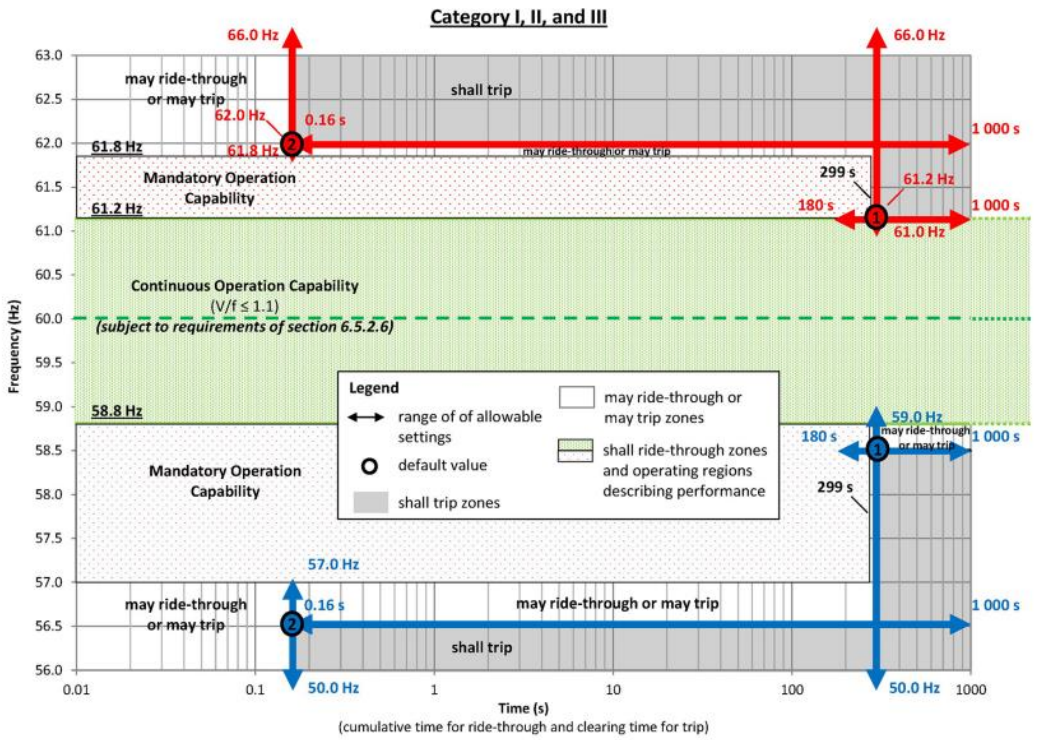


Figure H.10—DER default response to abnormal frequencies and frequency ride-through requirements for DER of abnormal operating performance Category I, Category II, and Category III

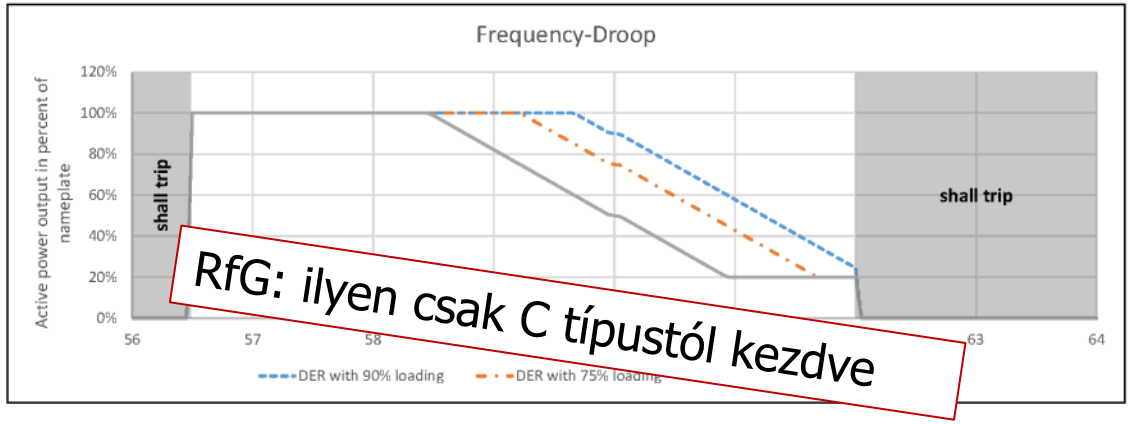


Figure H.11—Example of a three frequency-droop function curves with a 5% droop, 36 mHz deadband, and 20% minimum active power output for DER operating at different pre-disturbance levels of nameplate rating (50%, 75%, and 90%)

Table 20—Frequency ride-through requirements for active power output capability for abnormal operating performance Category I, Category II, and Category III

Category	Active power output capability
I	80% of nameplate active power rating or the pre-disturbance active power output whichever is less
II and III	Pre-disturbance active power output
NOTE—Per 6.1, this requirement is limited to *available active power*.	

Table 21—Rate of change of frequency (ROCOF) ride-through requirements for DER of abnormal operating performance Category I, Category II, and Category III

Category I	Category II	Category III
0.5 Hz/s	2.0 Hz/s	3.0 Hz/s

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

IEEE 1547-2018

- Szigetüzem
  - Megengedett, ha egyébként kiesne
  - Átmenet nem okozhat 5%-nál nagyobb feszültség-eltérést, kivéve, ha „viszi magával a fogyasztást” (90..110%)

- Kommunikáció
  - <30s válaszidő
  - Legalább ezek a protokollok:

Protocol
IEEE Std 2030.5 (SEP2)
IEEE Std 1815 (DNP3)
SunSpec Modbus

  - „Kapocstábla” adatok (r)
  - Konfiguráció (r/w)
  - Monitoring (r)
  - Vezérlés (r/w)

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

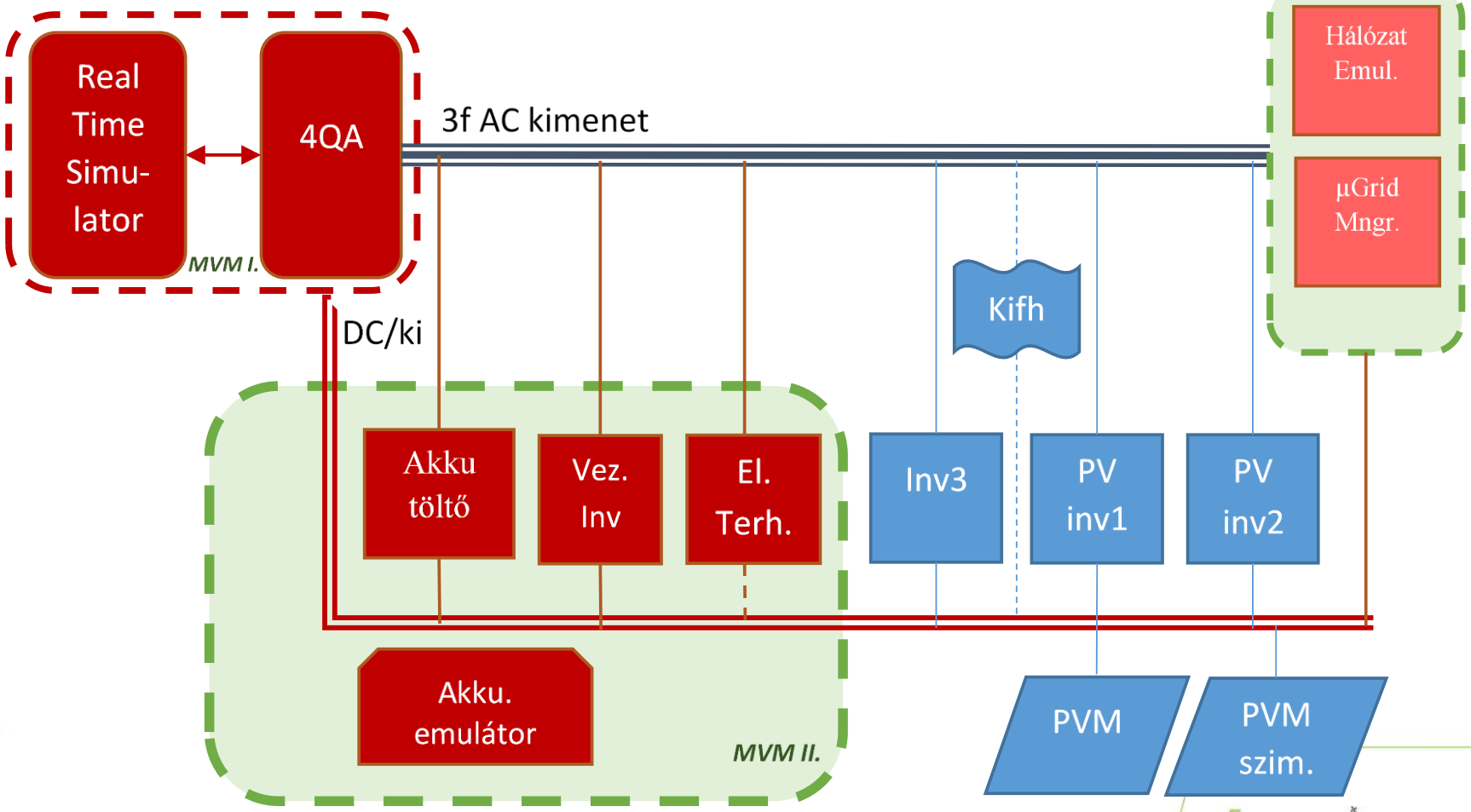
Inverter alapú rendszerek vizsgálatára:

FIEK MVM-BME LABORATÓRIUM

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

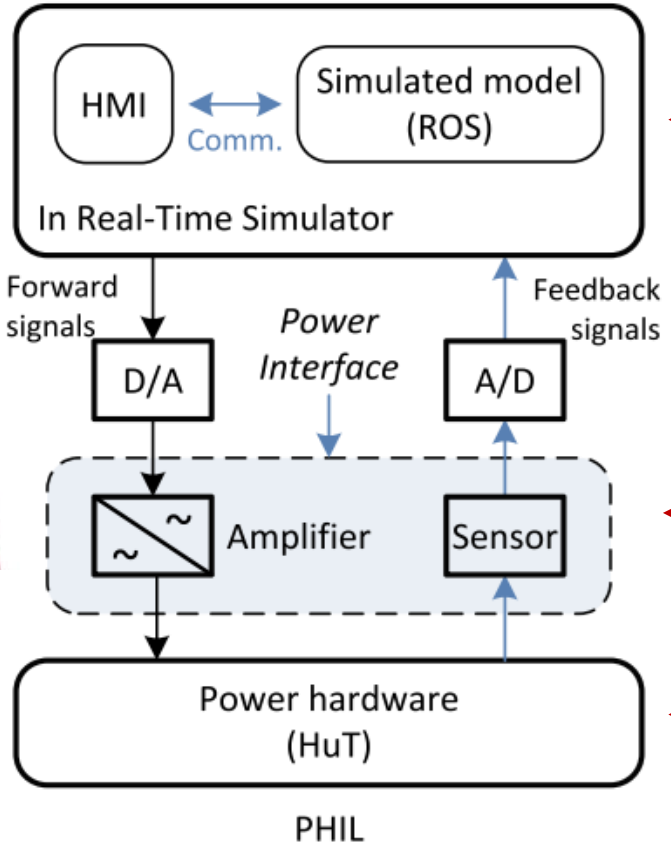
Az MVM-BME VET laboratórium

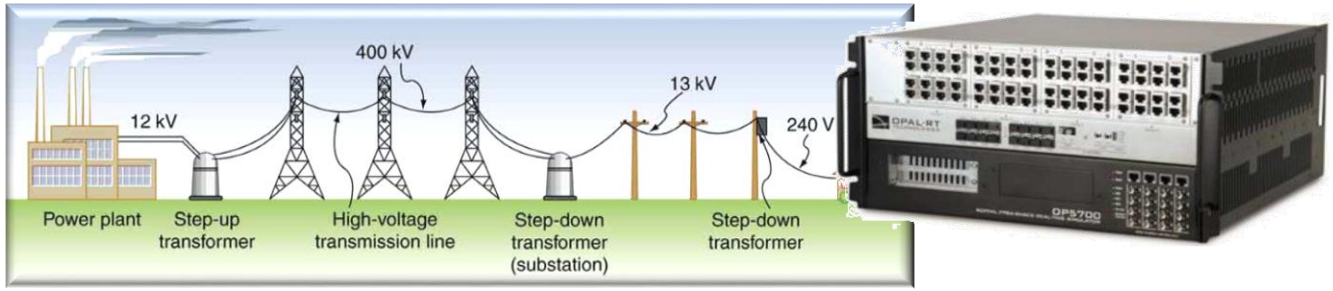


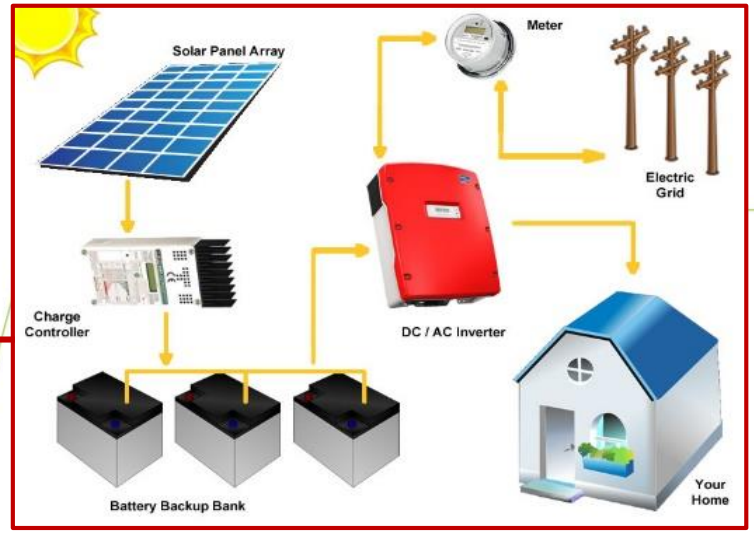
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT
NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE

Mire jó ez a labor?

Valódi eszközök (vezérlők, védelmek, inverterek stb.) összekapcsolása emulált hálózattal



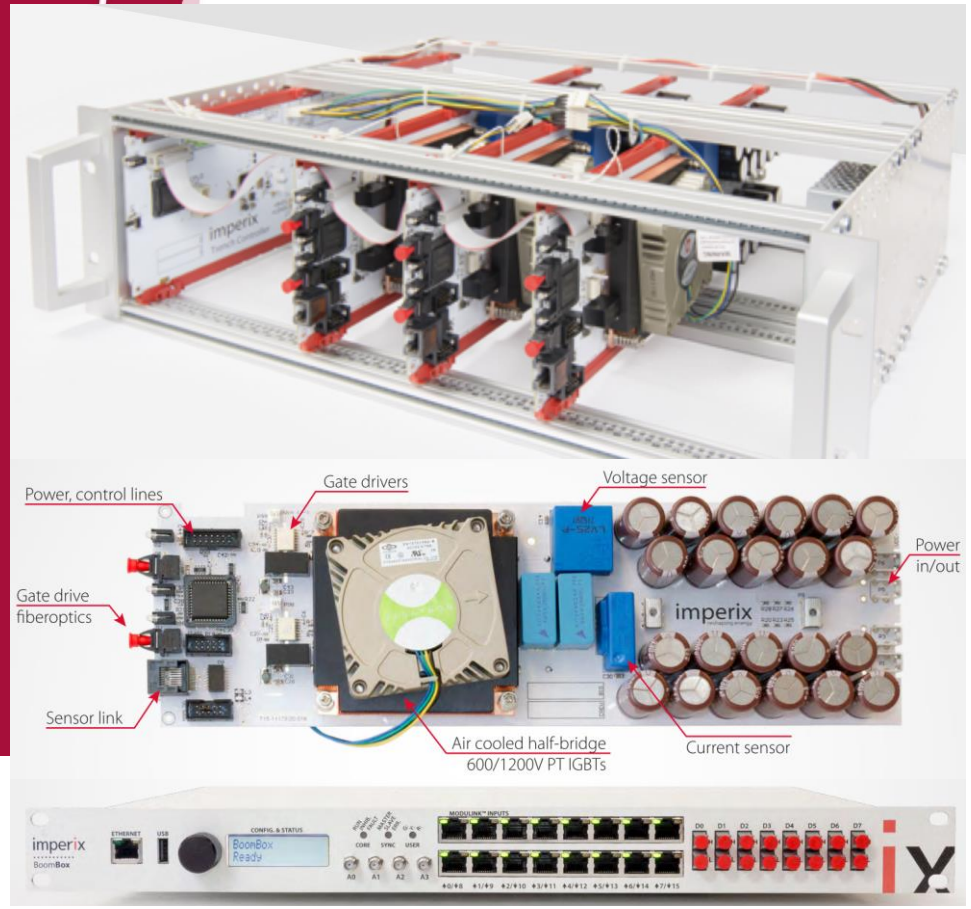


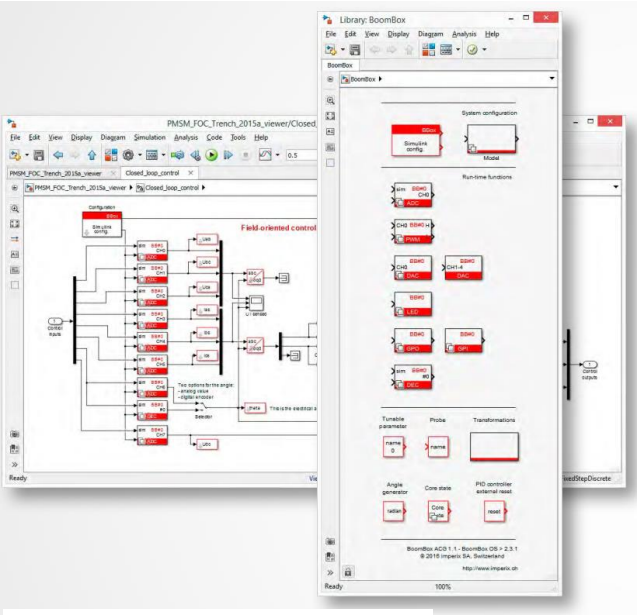


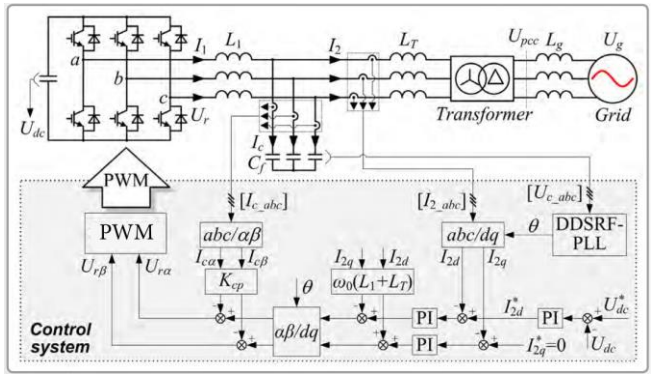
FIEK_16-1-2016-0007

Az MVM-BME VET laboratórium

Saját algoritmussal vezérelhető inverterek







AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE

FIEK_16-1-2016-0007

Az MVM-BME VET laboratórium: hálózatszimulációs képesség

Szimulátor

- 1000 db 3f csomópontos hálózat @ 20ms (RMS)
- 120 db 3f csomópontos hálózat @ 50μs (EMT)
- Elektronika: 144 kapcsoló @ 150 ns (FPGA)

Erősítő

- 3x7 kVA erősítő (DC – 20kHz)
- 12 bit
- 0.1% pontosság

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

Az MVM-BME VET laboratórium: kommunikáció

- TCP/IP UDP/IP
- IEC 61850 GOOSE, SV
- IEC 60870-5-104 Slave
- Modbus RTU, Modbus ASCII
- RS432 / RS485
- C37.118
- DNP3

- 16 db 250VDC relé
- 64 DI, 64 DO
- 32 analog input (16bit, +/- 20V)
- 32 analog output (16 bit, +/- 16V)

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Alkalmazási területek

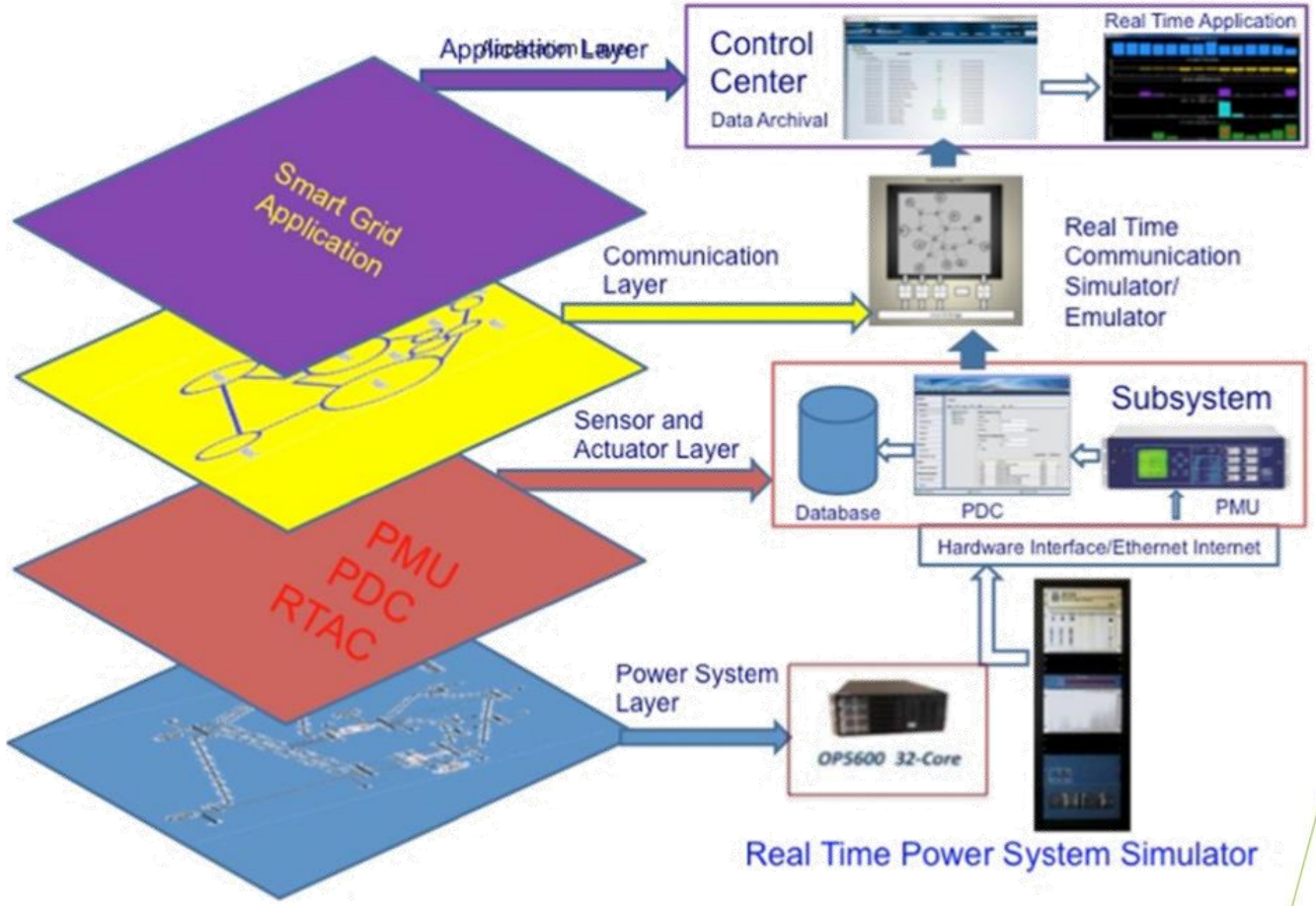
- „Saját” vezérlési algoritmusok fizikai próbája
  - PV inverterek P/Q /f … szabályozási stratégiái
  - Elosztott feszültségszabályozás
  - Mikrogrid rekonfiguráció
- PMU alkalmazások

- **Szabvány-megfelelőségi vizsgálatok**
- **IKT / interoperabilitás / kiberbiztonság**
- **Védelmi rendszerek tesztelése**
- **Inverter modell validálás**

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Alkalmazási területek

Kiberfizikai rendszer szimulációja



IEEE PES Task Force on RT Sim. of Power end Energy Sys.: Applications of Real-Time Simulation Technologies in Power and Energy Systems

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

MŰEGYETEM 1782

ÖSSZEFOGLALÁS

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

Összefoglalás

- A rendszer változik, összetettebb, dinamikusabb lesz.
- Valóban sok még a kérdőjel.

✓ A világon sok helyen megbízhatóan működnek inverter-alapú rendszerek.

✓ Számos olyan új megoldás létezik, ami már most választ ad azokra a kérdésekre, amelyek az eddigi és az új világ határán felmerülnek.

✓ Együttműködési lehetőség: ipar + egyetemek, laboratórium által kínált egyedülálló lehetőségek.

Értsük meg és alakítsuk együtt a jövőt!

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

FIEK_16-1-2016-0007

Szóval akkor…
barát vagy ellenség?

Egy kedves idegen, akit párszor láttunk már.

Lehet és érdemes vele jobban összebarátkozni, mert ő lesz a szomszédunk.

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Köszönöm a figyelmet!

Raisz.David@vet.bme.hu

A FIEK_16-1-2016-0007 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a Felsőoktatási és Ipari Együttműködési Központ – Kutatási infrastruktúra fejlesztése" (FIEK_16) pályázati program finanszírozásában valósult meg.

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE

AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Forrásjegyzék

- Teodorescu, Liserre, Rodriguez: Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems, Wiley, 2011
- Zhong, Hornik: Control of Power Inverters in Renewable Energy and Smart Grid Integration, Wiley
- Prof. Dr.-Ing. Marc Hiller: Power Electronics for Medium Voltage Grid Applications, 2017
- J. Rodriguez, S. Bernet, B. Wu, J. O. Pontt and S. Kouro, "Multilevel Voltage-Source-Converter Topologies for Industrial Medium-Voltage Drives," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 54, no. 6, pp. 2930-2945, Dec. 2007
- R. N. Beres, X. Wang, M. Liserre, F. Blaabjerg and C. L. Bak, "A Review of Passive Power Filters for Three-Phase Grid-Connected Voltage-Source Converters," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 4, no. 1, pp. 54-69, March 2016.
- R. Singer, M. Bader, C. Siedle, „Results for a MV-Hybrid-Microgrid Test Campaign in the MW-Range”, 3rd INTERNATIONAL HYBRID POWER SYSTEMS WORKSHOP, Tenerife, May 2018
- Weiterentwicklung der Anforderungen an Erzeugungsanlagen: Verhalten im Fehlerfall Studie der TU Delft (August 2014) Im Auftrag Forum Netztechnik/Netzbetrieb, Jan Suckow, Forum Netztechnik/ Netzbetrieb im VDE 09.10.2014
- Ujjwol Tamrakar, Dipesh Shrestha, Manisha Maharjan, Bishnu P. Bhattarai, Timothy M. Hansen and Reinaldo Tonkoski: Virtual Inertia: Current Trends and Future Directions, Appl. Sci.2017, 7(7), 654
- Resonance Instability of Photovoltaic E-Bike Charging Stations: Control Parameters Analysis, Modeling and Experiment, Zhang, Z., Grecek, C., Renner, H., Reinders, A. & Fickert, L., 11 Jan 2019, in : Applied Sciences. 9, 2, 252.
- IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 31, NO. 8, AUGUST 2016: Synthesizing Virtual Oscillators to Control Islanded Inverters

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT

RfG - HU

Típus	Csatlakozási pont (hálózat) feszültségszintje	V. MAVIR változat	
		$Pmax_{,min}$	$Pmax_{,max}$
A	< 110 kV	0,8 kW	200 kW
B	< 110 kV	200 kW	5 MW
C	< 110 kV	5 MW	25 MW
D	≥ 110 kV, vagy $Pmax > Pmax_{,min,D}$	25 MW	

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROJEKT