A villamos jel analízis eljárás alkalmazása és perspektívái a villamos hajtásrendszerek állapotfigyelésében és diagnosztikájában

Gyökér Gyula
okl. vill. mérnök

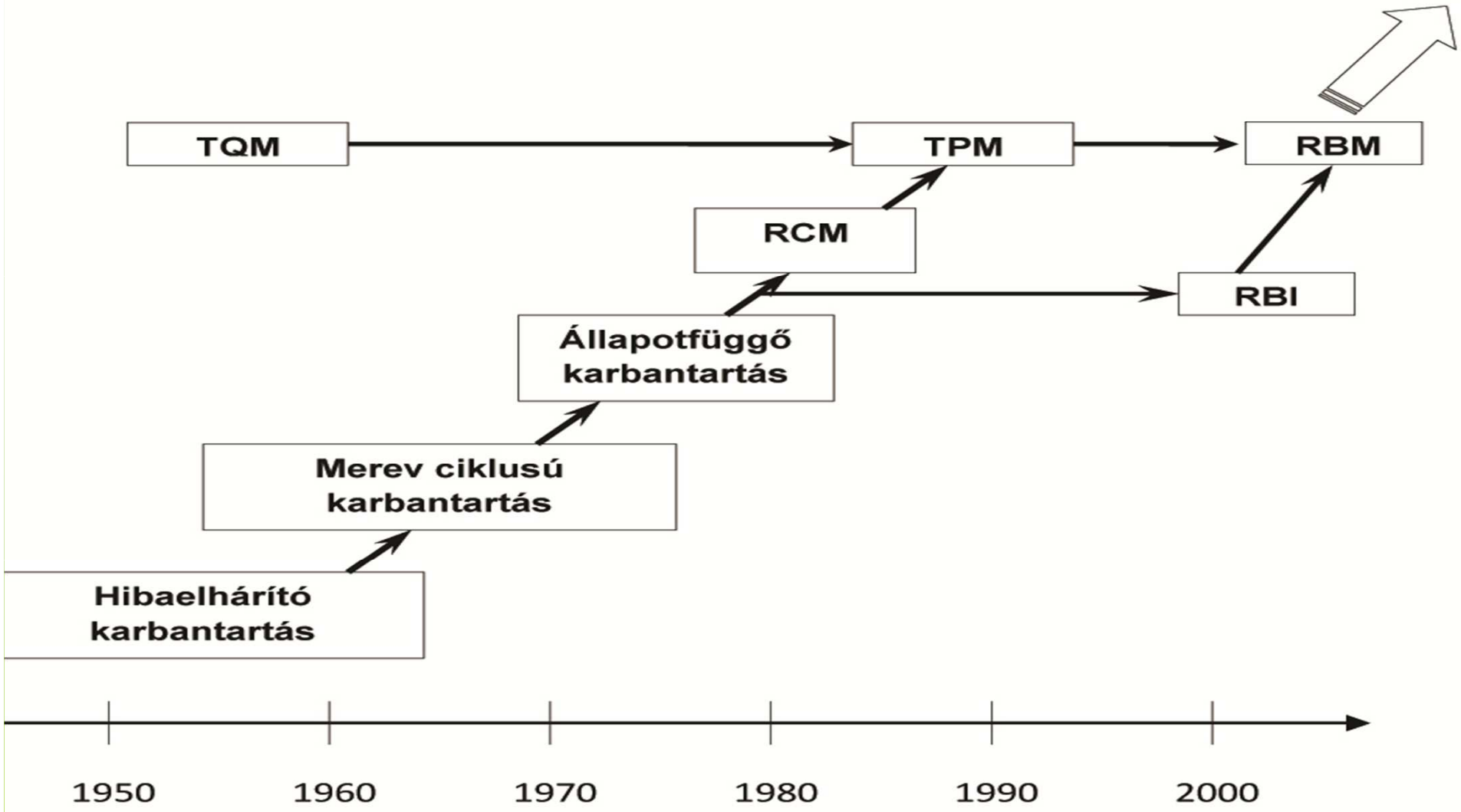
Gépegészségtan
Milyen a jó géprendszer?

Funkcionális megközelítés:

1. Működőképes és folyamatosan rendelkezésre áll *(pl. OEE rendelkezésre állási mutatóval vagy MTBF meghibásodási gyakorisággal)*
2. **Megbízhatóan működik, váratlan meghibásodás és üzemzavar nélkül**
3. Beruházási költségei versenyképesek
4. Üzemeltetési költségei (energiafogyasztás, javítás, karbantartás) megfelelnek a gazdaságossági elvárásoknak (fajlagos mutatók: pl. kWh/t, Ft/év, stb.)
5. Life Cycle Costing, Tradeover, Profitability
6. Benchmarking, Improvement, Asset management

A karbantartási stratégiák fejlődése

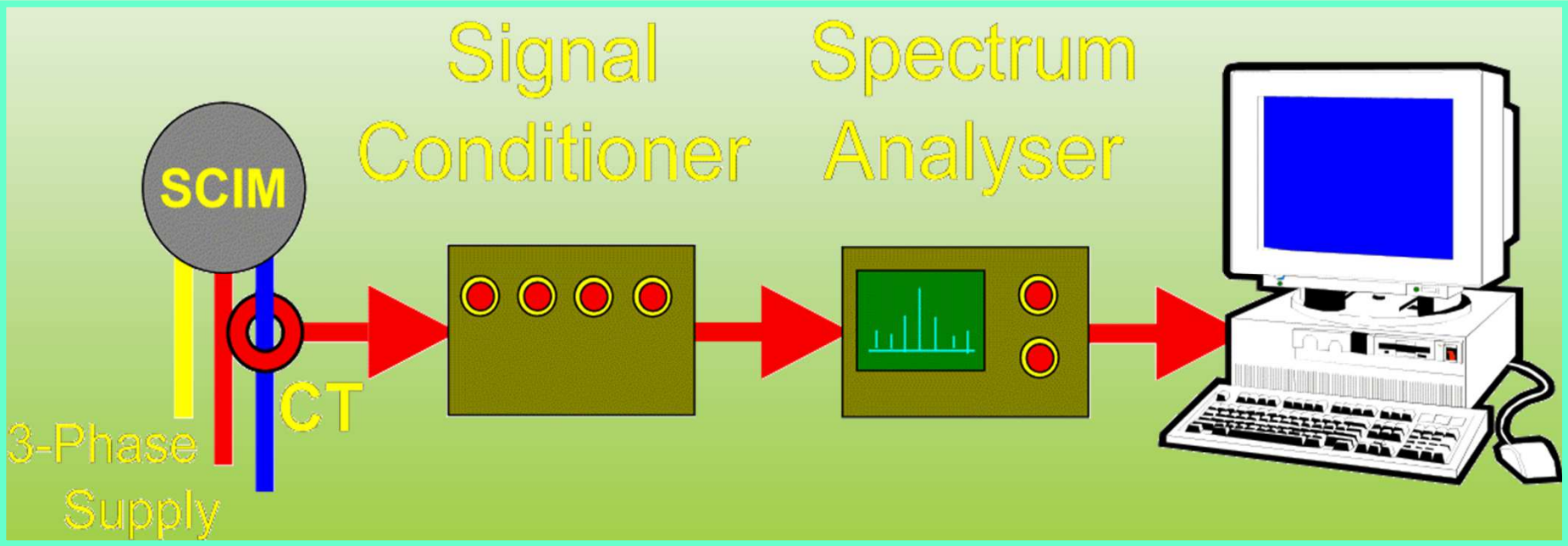
állapotfüggő karbantartás=állapotfigyelés+előrejelzés



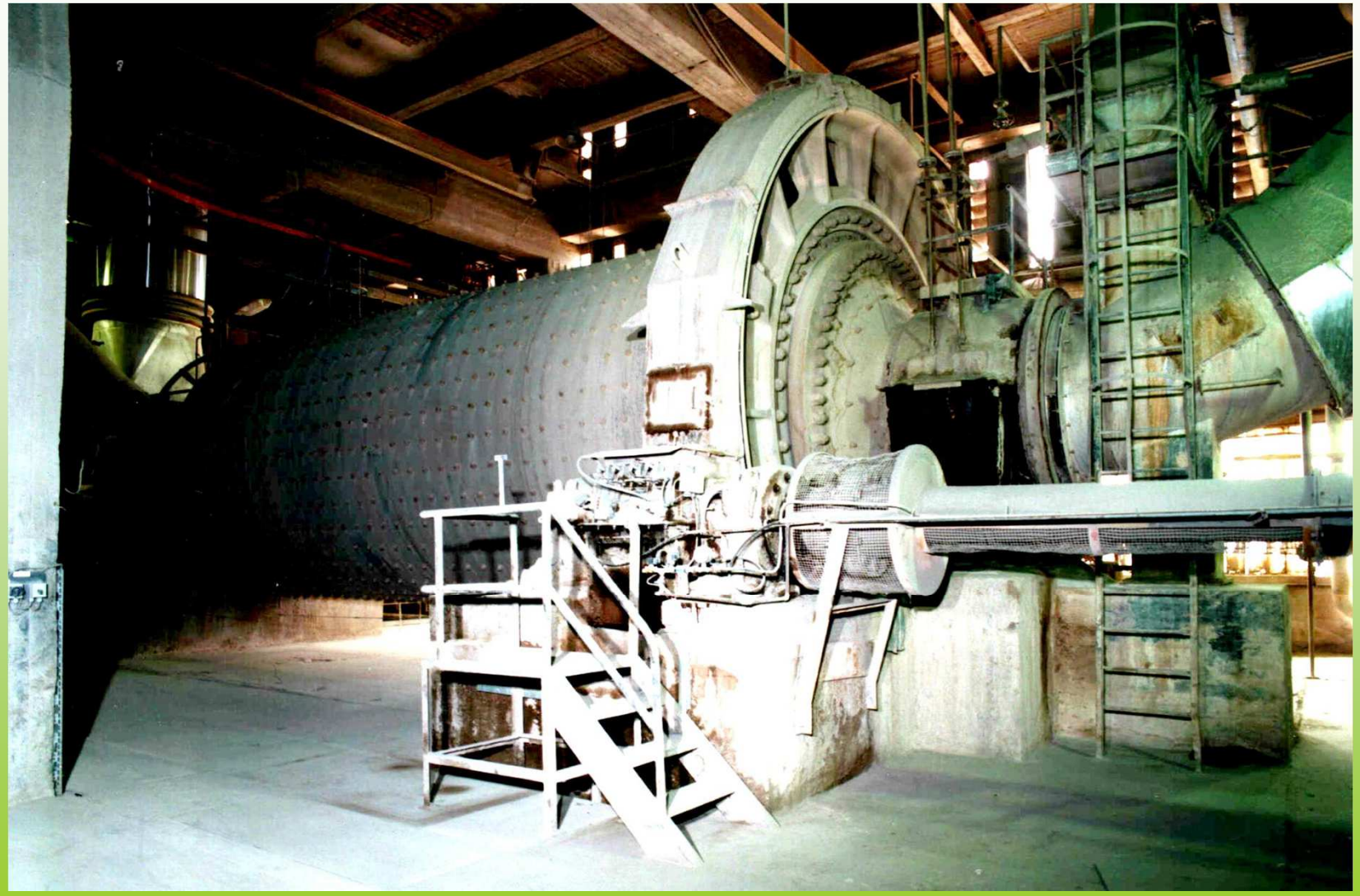
A motor áram analízis (MCSA) és a Villamos Jel Analízis (ESA) módszer eredete

OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, USA

MCSA : On-Line Monitoring and Analysis of Current to Assess the Condition of an Induction Motor Drive System



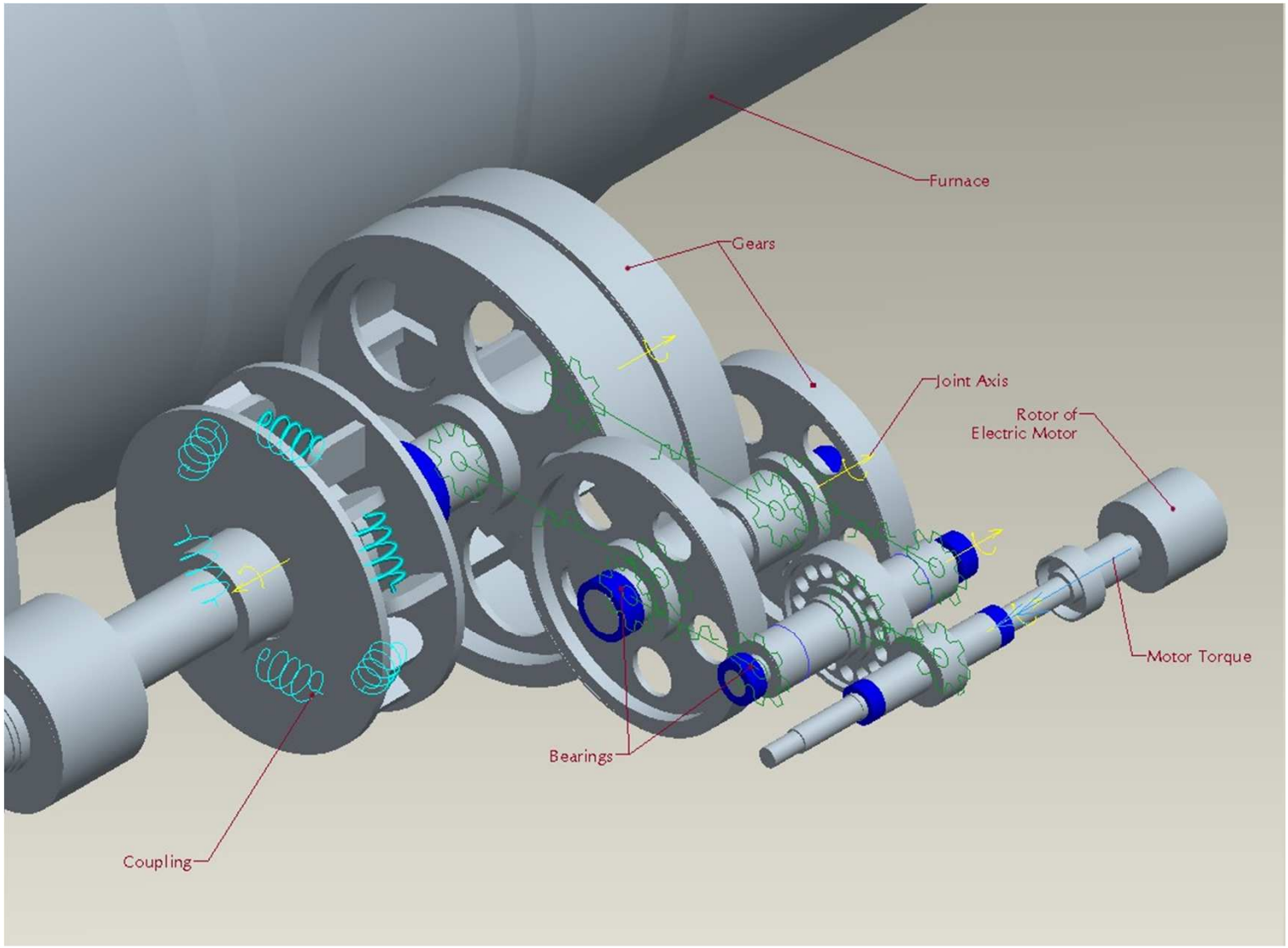
2x1400 kW-os cementmalom



Kalickás motoros golyósmalom ikerhajtások

Forgókemence

Forgókemence hajtáslánc ág



200 kW-os csigaszivattyú (Archimédes-csavar)

Szennyvíztelep keverő hajtás

A DINAMIKUS TERHELÉSANALÍZIS
mérnöki eljárás

DRIVESIMULATOR
szoftvercsomag

numerikus módszerekkel megoldja a hajtásrendszer mozgását leíró nem lineáris differenciálegyenlet rendszert

bemenõ paraméterek:
a hajtásrendszer egyes elmeinek jellemzõi

kimenõ paraméterek az idõ függvényben:

villamos:
- áram
- feszültség
- teljesítménytényezõ
- légrésnyomaték

mechanikai:
- szögelfordulás
- szögsebesség
- szöggyorsulás
- nyomaték

energetikai:
- teljesítmény
- veszteségek
- hatásfok

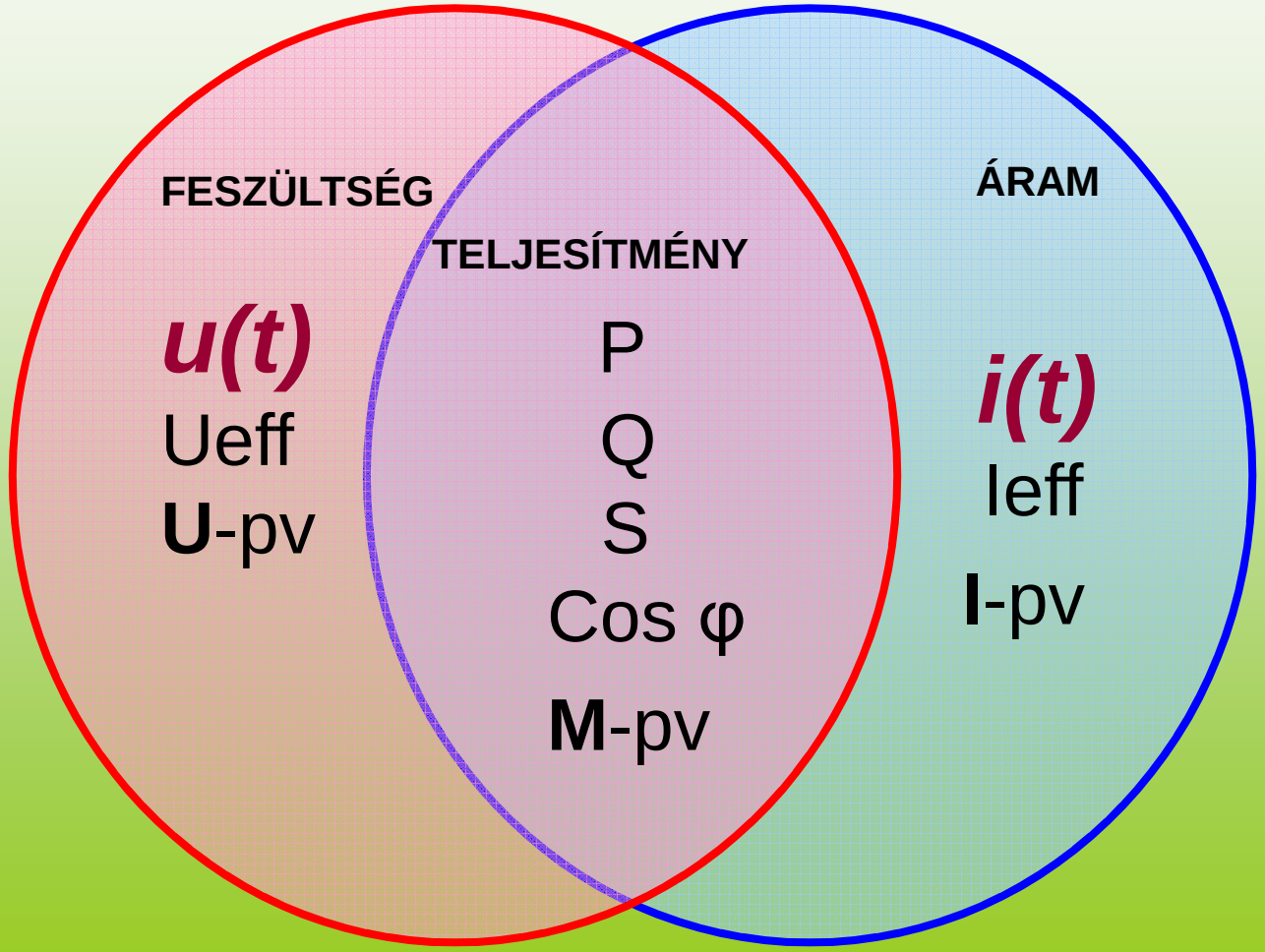
DRIVETESTER
számítógépes mérõberendezés

sokcsatornás, analóg-, digitális-, idõjeleket fogadni és feldolgozni képes mérõrendszer

hardver:
- NOTEBOOK
- mérõkártya:
  - DAQ Card-AI-16E-4
  - 16 analóg input
  - 8 digitális input
  - 2 idõmérõ input
  - 500 kHz mintavételi sebesség
- különleges szenzorok és jeladók:
  áram, feszültség, nyomaték, szögsebesség, szöggyorsulás, stb. érzékelésére

szoftver: National Instruments LabVIEW fejlesztõi környezet

VILLAMOS JEL(alak) ANALÍZIS
(ESA, Electrical Signature Analysis)



A villamos jel analízis technikáinak fejlődése

MCSA - *Motor Current Signature Analysis*

ESA - *Electrical Signature Analysis*

CSA - *Current Signature Analysis*

VSA - *Voltage Signature Analysis*

IPSA - *Instanteous Power Signature Analysis*

EPVA - *Extended Park Vector Analysis*

MTSA - *Magnetic Torque Signature Analysis*

VMM - *Vienna Monitoring Method*

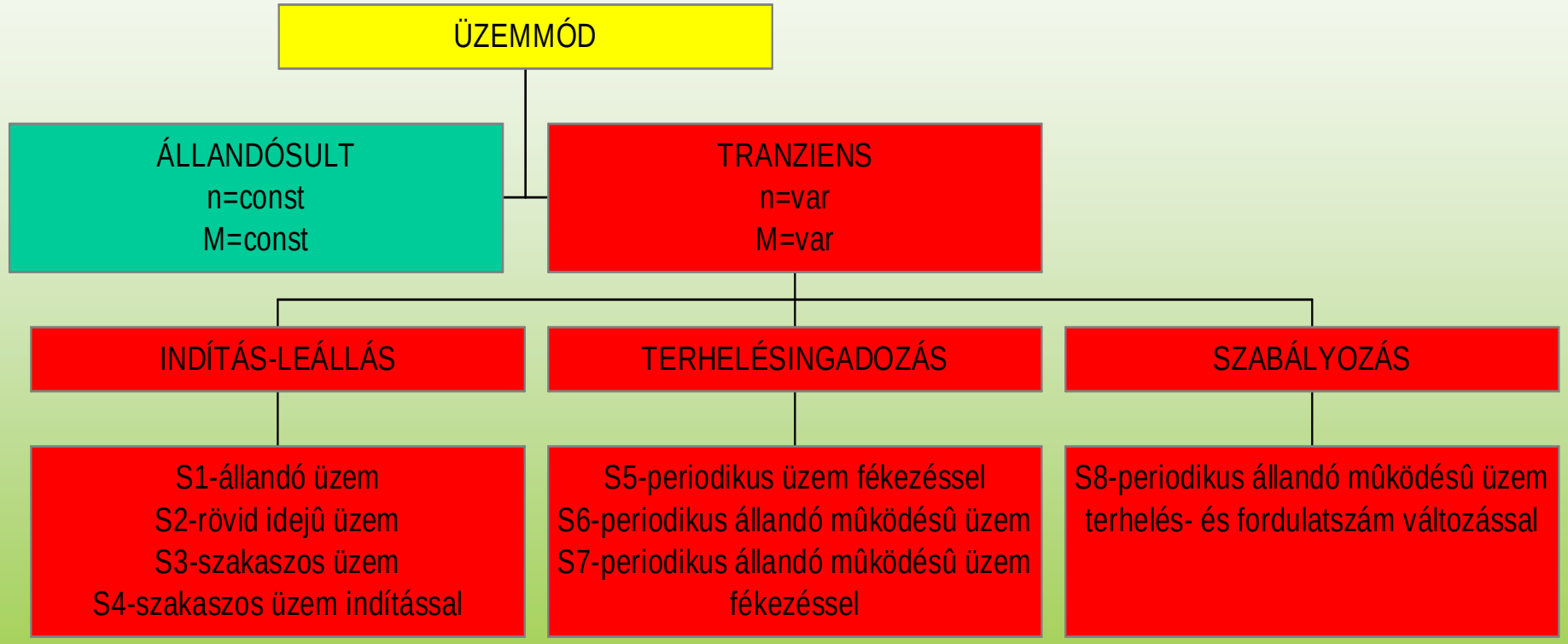
NRCEs - *Normalized Reference Current Errors*

ENCAAV - *Normalized Currents Averige Absolute Values*

CPVPCP - *Current Park Vector Phase and Currents Polarity*

TSCFE-SS - *Time-Series Data Finite Element State Space*

Villamos gépek üzemmódjai



Aszinkron motorok indítása

Kalickás gépek

- közvetlen hálózatra kapcsolás,
- csillag-delta indítás,
- állórész feszültségváltoztatás:
- (u.n lágyindítók)
- frekvenciaváltós indítás-szabályozás

Csúszógyűrűs gépek

- rotorköri fokozatindító,
- rotorköri folyadékindító,
- rotorköri lágyindító (szaggató)

A VJA lényege:
az érzékelő maga a villamos gép

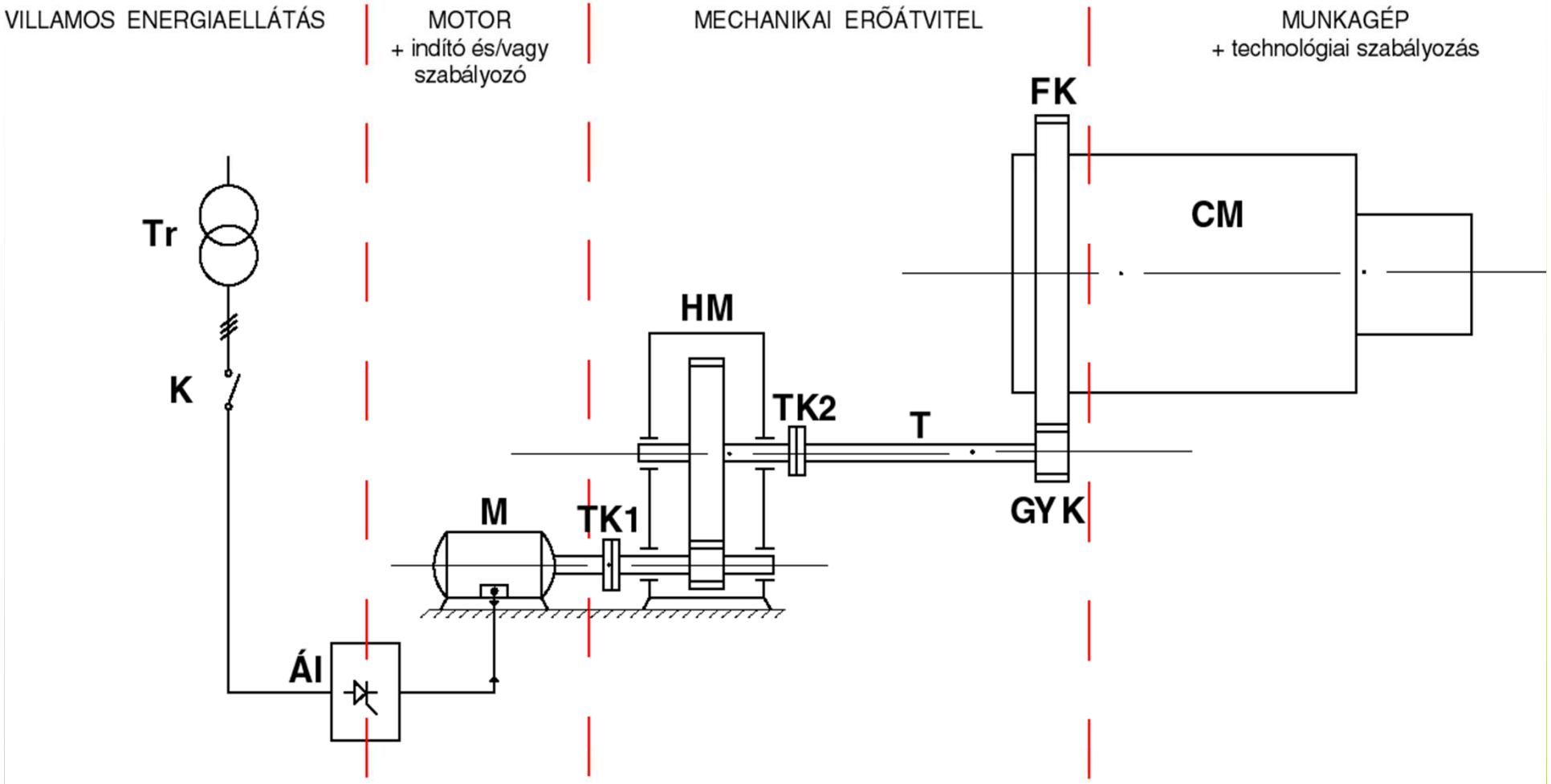
A villamos géppel kapcsolt géprendszer és energiaellátó rendszer dinamikáját hűen leképezik a villamos gépben lezajló elektromágneses folyamatok, így a tápfeszültség-, áram- ill. azokból származtatott jelek alkalmasak a géprendszer ***statikus, dinamikus és tranziens terheléseinek minőségi és mennyiségi vizsgálatára*** és a géprendszer legkülönfélébb anomáliáinak és hibáinak azonosítására

A meghibásodások okozta gerjesztések hatása

A forgó géprendszerben a különféle nemlinearitások, anomáliák, aszimmetriák, kiegyensúlyozatlanságok, egyéb hibák, ill. sérülések gerjesztő hatásaikkal ***modulálják a villamos gép nyomatékát, áram-, feszültség- és fluxus- térvektorát.*** A VJA ezeket az ***amplitúdó-, frekvencia- és fázismodulációs hatásokat*** vizsgálja a jelanalízis matematikai módszereivel az ***idő- és a frekvenciatartományban valamint a szlip-frekvencia és az idő-frekvencia tartományban***.

A VJA lényegében a villamos gép térvektoros elmélete alapján értelmezhető.

ELEKTROMECHANIKAI HAJTÁSRENDSZER



generátorok, távvezetékek, alállomások, kapcsolóberendezések, kábelek, sínezések, védelmek, stb.

E. Á. motorok, V. Á. motorok: csúszógyûrûs kalickás, szinkron, indító-, áramirányító és szabályozó berendezések stb.

tengelyek, hajtómûvek, fogaskerekek, lendkerekek, tengelykapcsolók, láncok, szíjak, szalagok, kapcsolóorsók csapágyak, stb.

szivattyúk, ventilátorok, törõ- és aprítógépe keverõk, kalanderek, hengermûvek, kompresszorok, emelõgépek, jármûvek, stb.

A VILLAMOS JEL ANALÍZIS ELŐNYEI és ALKALMAZÁSA

1. A mérés, vagy állapotfigyelés nem zavarja a termelési folyamatot és a kapcsolótérben ill. a motorleágazásban egyszerűen elvégezhető, nincs szükség fizikai hozzáférés sem a villamos géphez sem a kapcsolt géprendszerhez
2. Bármilyen fordulatszámú, kivitelű, teljesítményű és üzemmódú gép esetén jól alkalmazható
3. Univerzális jellegű, mert képes kimutatni:

- a villamos energiaellátás minőségét, zavarait (THD, feszültségletörések, flicker, aszimmetriák, stb),
- a motor vezérlő-, indító- és szabályozó berendezéseinek hibáit,
- a villamos gép hatásfokát és üzemének jellemzőit,
- a villamos gép hibáit (állórész, forgórész, légrés, csapágy, fellazulás, stb.)
- a mechanikai erőátvitel hibáit (kiegyensúlyozatlanság, tengelykapcsolódás, fogaskerék-kapcsolódás, stb.),
- a munkagép hibáit (kiegyensúlyozatlanság, csapágy, fellazulás, rezonancia, kavitáció, stb.)
- A villamos gép és a kapcsolt elektromechanikai részek tranziens jellegű terheléseit
- egyéb, technológiai- folyamatirányítási- és rendszertechnikai eredetű anomáliákat.

Az ESA mérőrendszer felépítése

1. Áram- és feszültség érzékelés
   (Ur, Us, Ut, Ir, Is, It, Io)
2. Jelillesztés, jelkondicionálás
3. Sokcsatornás, nagyfelbontású digitalizálás
   (szimultán mintavételezéssel)
4. On-line és/vagy off-line adatfeldolgozás
   (vizsgálatok az idő- és a frekvencia tartományban, speciális analízis technikák)
5. Adattárolás, dokumentálás

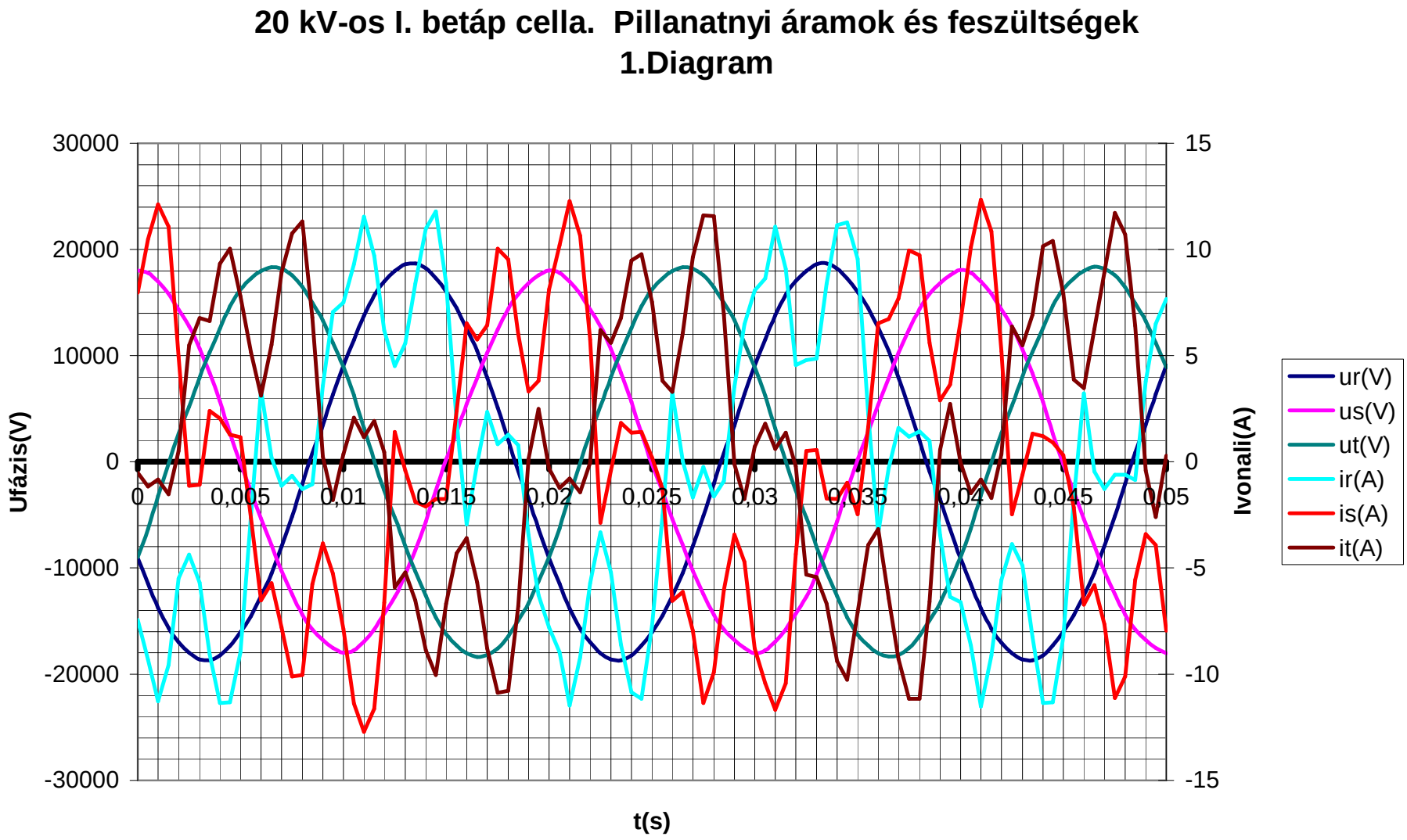
A VILLAMOS JEL ÉRZÉKELŐK

Áramérzékelők: hagyományos áramváltók,
lakatfogók,
Hall-cellás áramváltók,
Rogowski-tekercsek

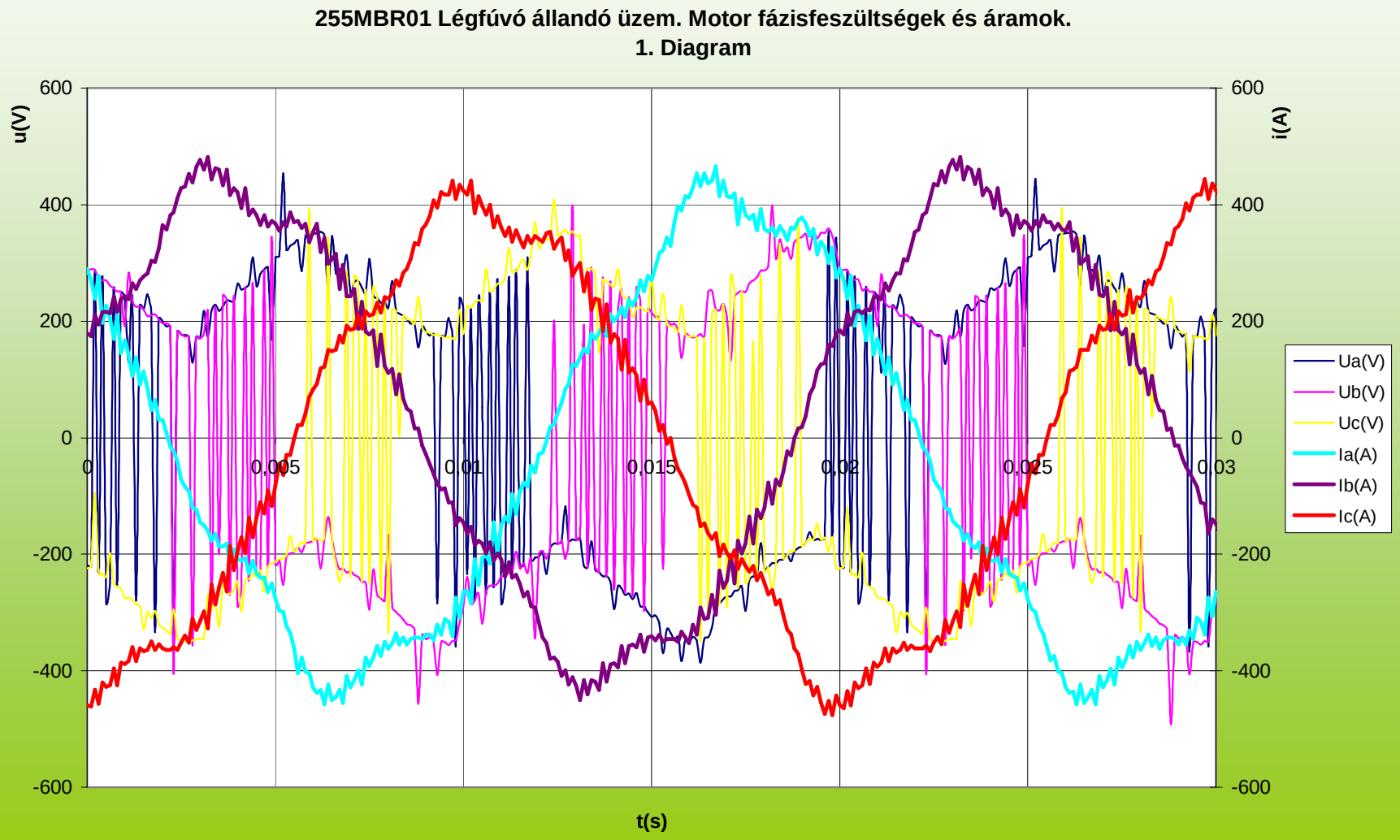
Feszültségérzékelők: feszültségosztók,
feszültségváltók,
Hall-cellás feszváltók,
feszültséglevválasztók

Mérés a kapcsolótérben

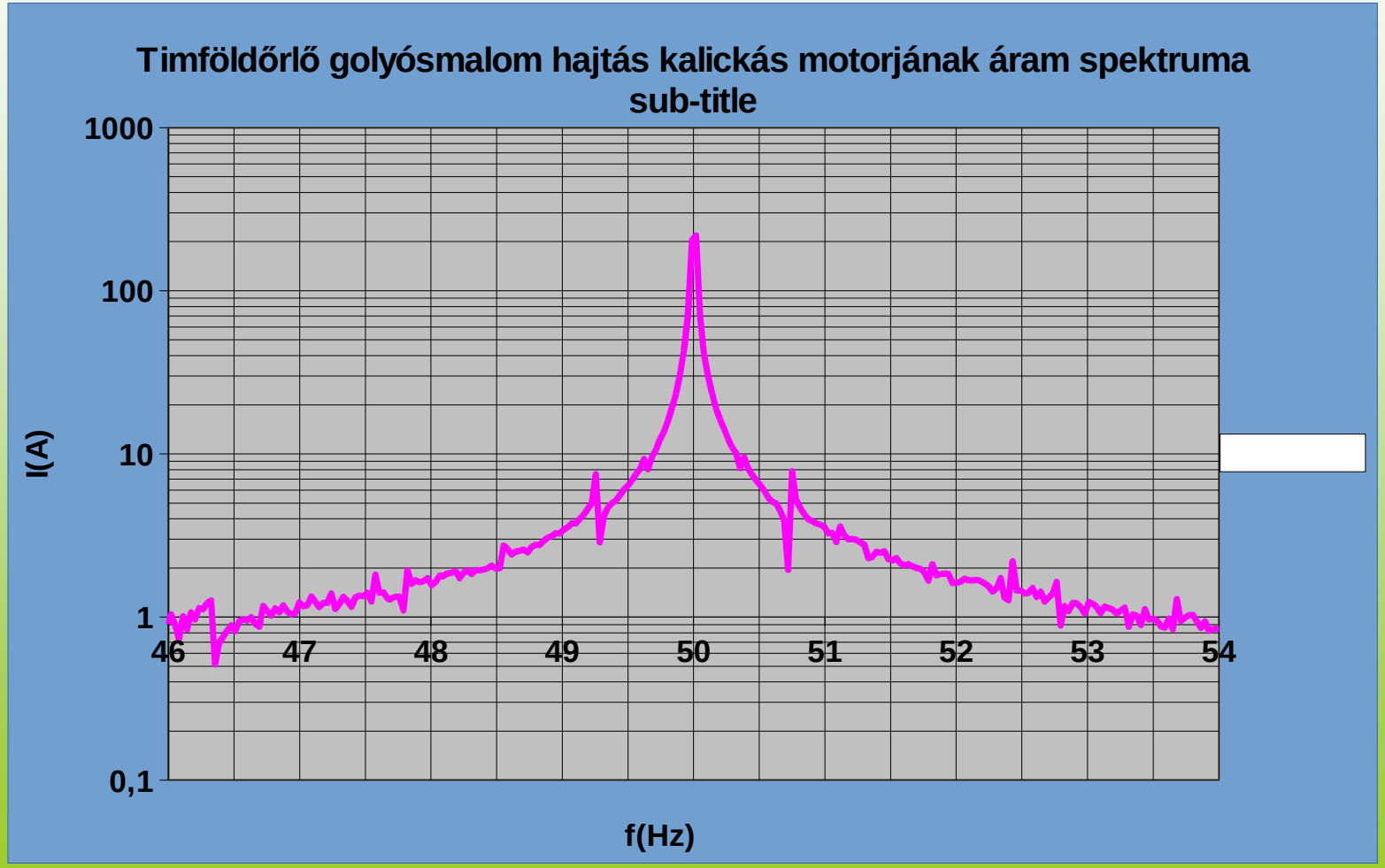
Szennyvíztelep energiaellátása



Frekvenciaváltóról táplált 255 kW-os légfúvó hajtás állandó üzem



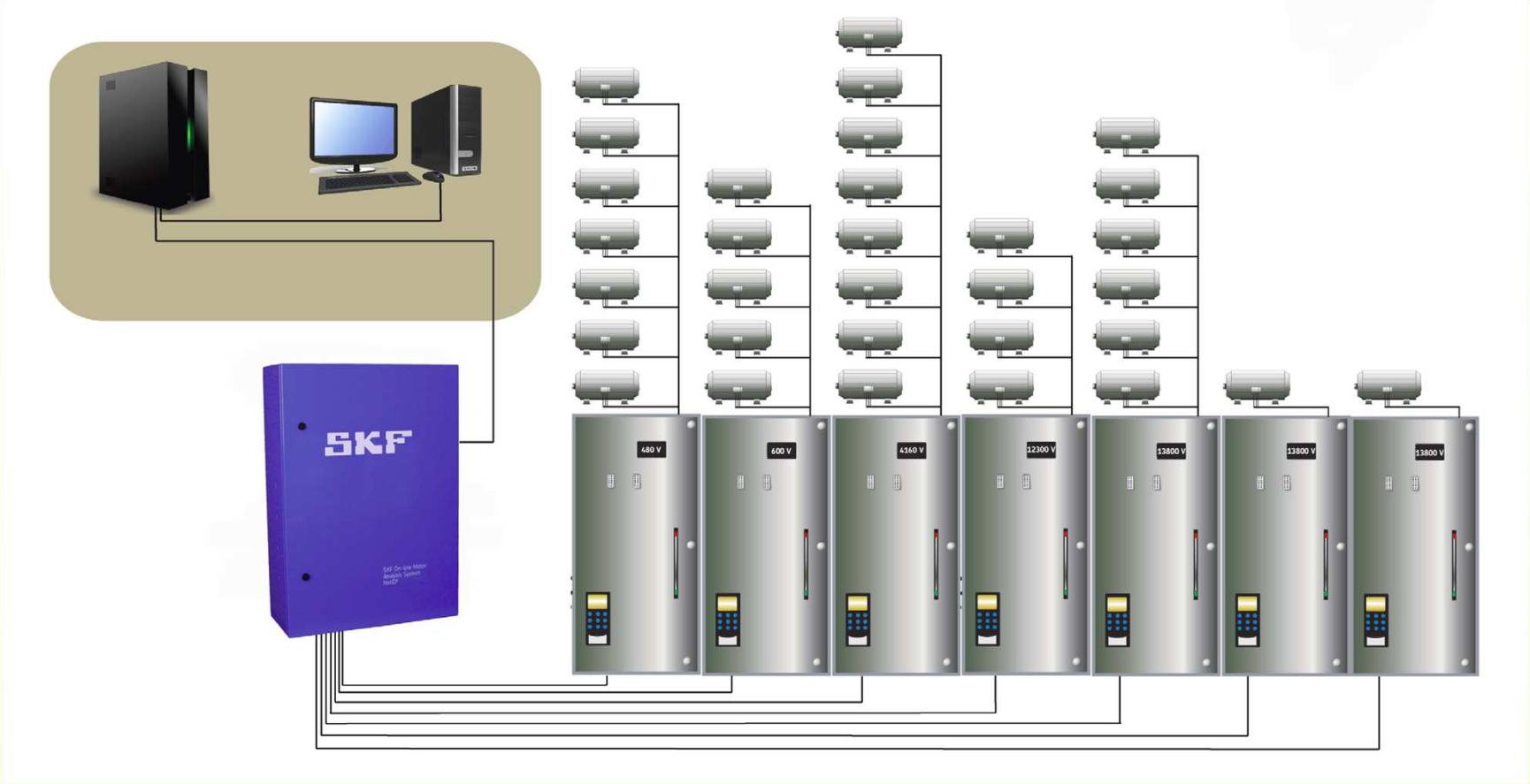
Törött kalickarúd hatása a motoráram spektrumra



PdMA Emax Portable On-line Motor Analyser

Datcon telepíthető Power Meter Analyser

SKF-Baker Instruments
On-line Motor Analysis System



SKF Online Motor Analysis System Alarm

Load [%]
Load [kW]
Power Out [kW]
Rotor Bar Sideband [-db]
Speed [RPM]
Efficency [%]
Eff. Service Factor
Impedance Unbalance [%]
Za
Za angle
Zb
Zb angle
Zc
Zc angle
NEMA Derat.
Input Power [kW]
P. F. Avg
Frequency [Hz]

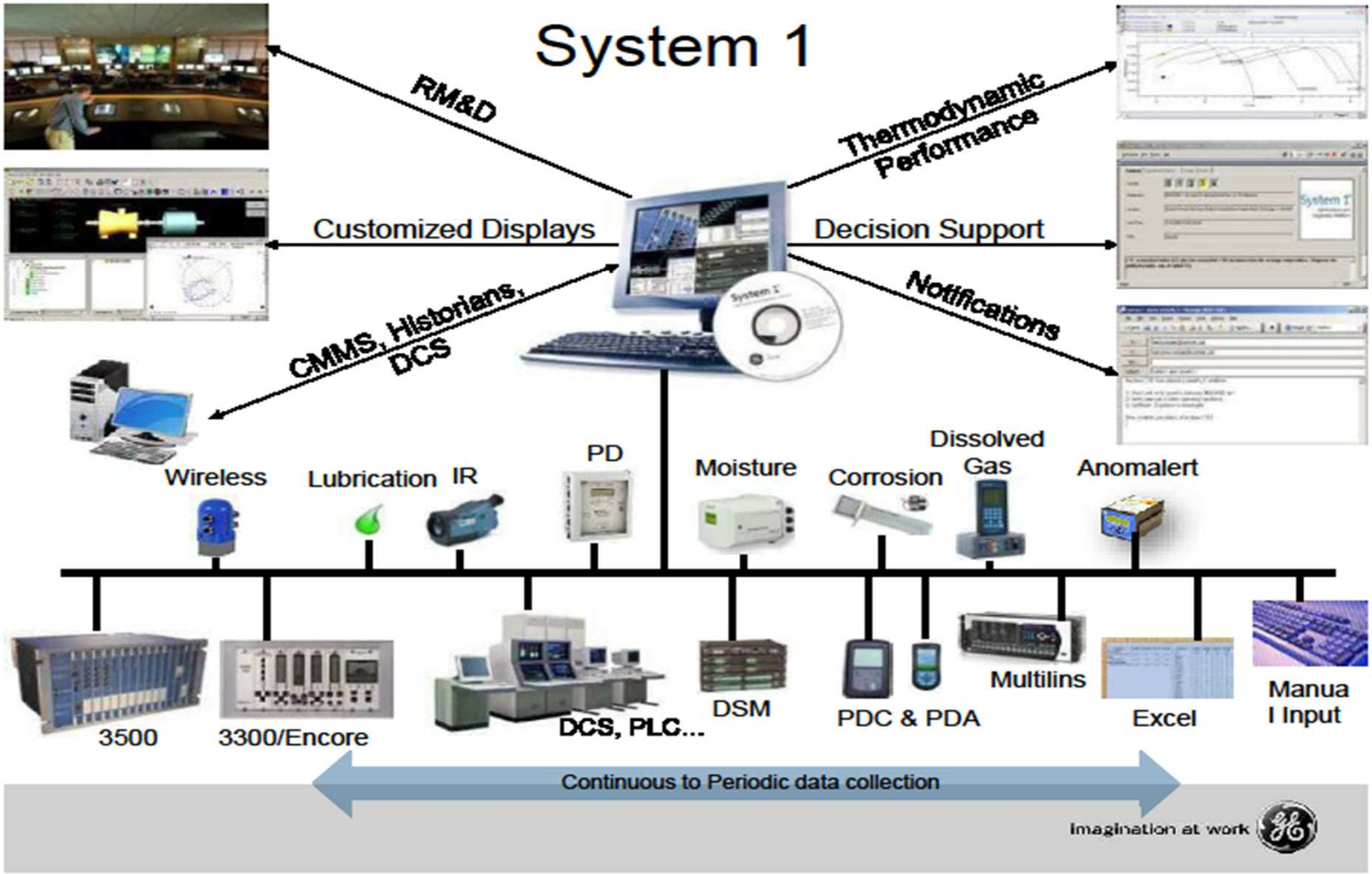
Current Unbalance [%]
Current Level [%]
Harmonic Distortion I [%]
I Avg RMS [A]
I Peak
Total Distortion I [%]
c.f. I Avg
Voltage Unbalance [%]
VUF [%]
Voltage Level [%]
Total Distortion [%]
V avg RMS [V]
Peak Voltage [V]
Harmonic Distortion [%]
HVF
c.f. V Avg.

15 kW-os 4-pólusú MOTOR ÜZEM JELLEMZŐK	Jelölés/Mértékegység	Mennyiség
Fázisfeszültség, effektív	Ua-eff (V)	227,15
Fázisfeszültség, effektív	Ub-eff (V)	225,05
Fázisfeszültség, effektív	Uc-eff (V)	225,98
Vonali tápfeszültség effektív középértéke	Uv-eff (V)	391,55
Feszültség szint (Uátlag/Un)	%	103,04
Feszültség aszimmetria (max. eltérés/átlag)	Au (%)	0,48
Motor áram	Ia-eff (A)	25,08
Motor áram	Ib-eff (A)	24,07
Motor áram	Ic-eff (A)	25,41
Motor áram szint (Iátlag/In)	%	86,30
Áram aszimmetria (max. eltérés/átlag)	Aa (%)	3,14
Látszólagos teljesítményfelvétel	S (kVA)	16,86
Hatásos teljesítményfelvétel	P (kW)	13,33

A VJA-n alapuló műszaki audit megállapításai

1. Tervezési hibák
2. Gyártási, telepítési, szerelési hibák
3. Vezérlési, szabályozástechnikai hibák
4. Üzemeltetési hibák (kézi-automatikus üzem, gépkezelő, operátor)
5. Karbantartási hibák (beállítás, kenés, felesleges gépmegbontás)
6. Javítási, felújítási hibák, nem megfelelő vagy hibás alkatrészek beépítése
7. Energiaellátási, energiahatékonysági hiányosságok
8. A kezelési- és karbantartási dokumentáció és előírások hiányosságai

Plant Engineering: processing (SCADA)+asset management (protection+maintenance+repair CMMS) Állapotfigyelés&Diagnosztika jelentősége



Plant-wide CM&Diagnostics
Teljeskörű gépállapot felügyeleti és automatizált diagnosztikai rendszer
ISHM=Integrated Systems Health Management

1. Marketing szemlélet helyett rendszerszemlélet

2. A CMD rendszer szerves integrálása a folyamatirányítási és a karbantartási rendszerbe

3. Integrált gépállapot figyelő rendszer, mely a technológia valós igényeire és a gépek kritikusságára épül (turbina-generátor gépcsoport kontra szennyvíz keverő)

4. A Plant-Wide CMD ill. ISHM rendszert csak a VJA-ra tudjuk alapozni, mivel:

- a VJA a legsokoldalúbb diagnosztikai módszer,

- ott is alkalmazható, ahol más módszer gyakorlatilag nem jöhet számításba

- a VJA a legkisebb költségigényű (hardver+telepítés),

- a 3-fázisú villamos jelek mérés-adatgyűjtési technológiája megbízható és kiforrott

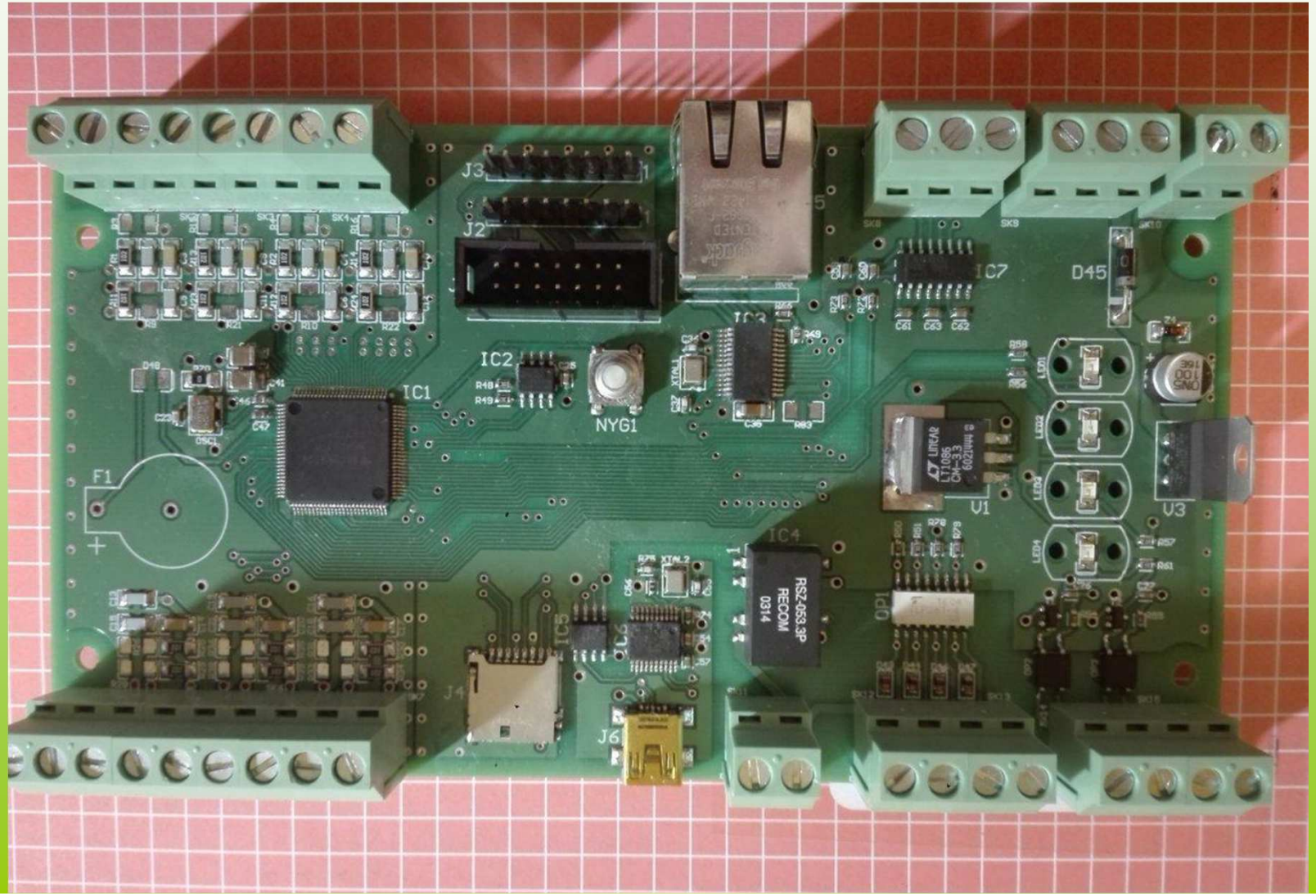
5. Az adatgyűjtés és feldolgozás a legkorszerűbb információtechnológián alapulhat

6. A hibaazonosítás szelektivitása és az előrejelzések megbízhatósága a mesterséges intelligencia különféle módszereinek integrált alkalmazásán alapul

7. A rendszer tegye lehetővé az egyedi távdiagnosztikát diagnosztikai szakemberek bevonásával

8. Létfontosságú az ipar és a kutatás együttműködése és a valóságos ipari körülmények között működő gépek diagnosztikai adatbázisához való hozzáférés.

24-bit felbontású, 7-csatornás, szimultán mintavételezésű U-I adatgyűjtő Ethernet kommunikációs modullal



Köszönöm a figyelmet!

Gyökér Gyula
okl. vill. mérnök
Intelligens Gépdiagnosztika Kutatócsoport