



Budapest University of Technology and Economics

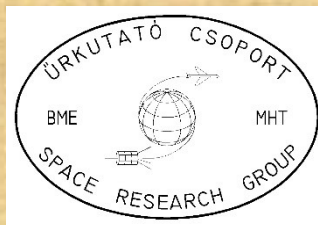
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
Űrkutató Csoport

Szabó József

**Az energia elosztó és védő hálózatok, a
fogyasztás optimalizálásának lehetőségei.**

Űrtechnológia

Budapest, 2023. május 5.



Energia elosztás és védelem

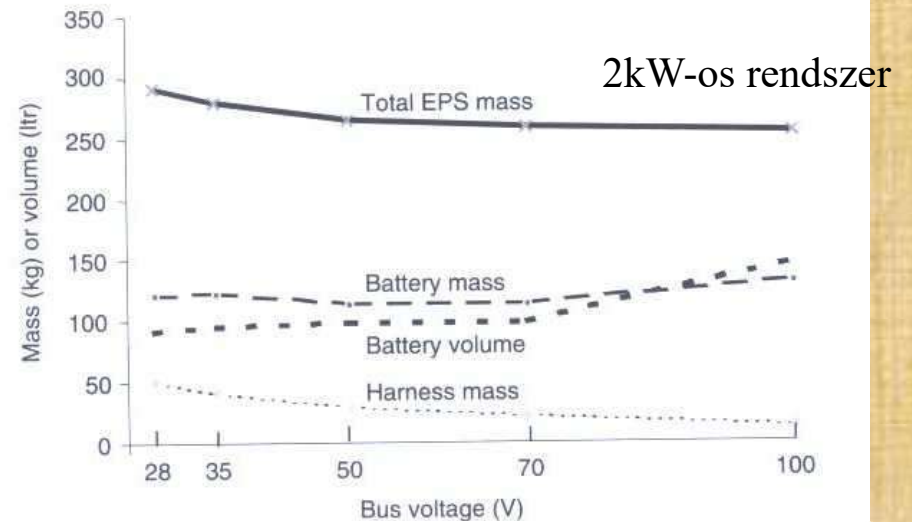
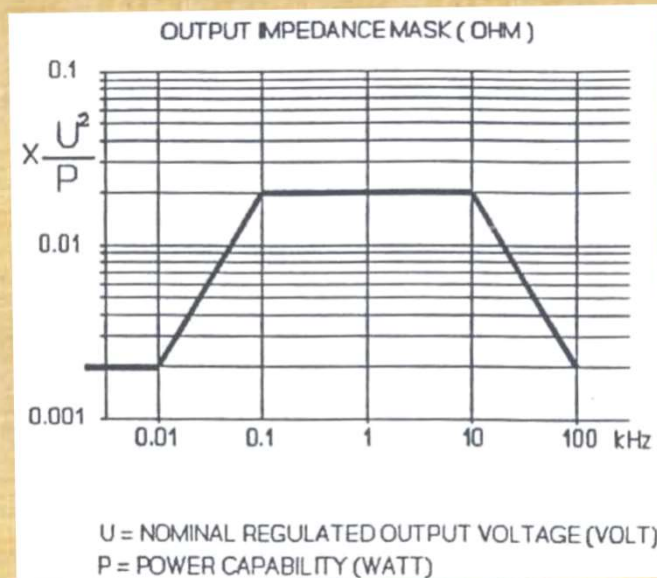
Jellemzők:

- **Műhold méret és misszió komplexitás**
 - Központosított energiakezelés (kisműholdakon egy energiabusz)
 - Elosztott rendszerek (nagy műholdakon buszrendszer)
- **Fedélzeti BUSZ paraméterek**
(ECSS-E-ST-20-20C – Electrical design and interface requirements for power supply)
 - Buszfeszültség (amplitúdó, frekvencia)
 - Szabályozott (feszültség állandó, ingadozás kicsi +/-2%)
 - Szabályozatlan (buszfeszültség = akkumuátor feszültség)
 - Hibrid (napfényes pályaszakaszon szabályozott, árnyékban szabályozatlan)
- **Terhelés tulajdonságai**
 - Funkcionális alapparaméterek (DC fogyasztás, időprofil)
 - Bemenő impedancia (statikus, dinamikus)
 - Megbízhatóság (tartalékolás)

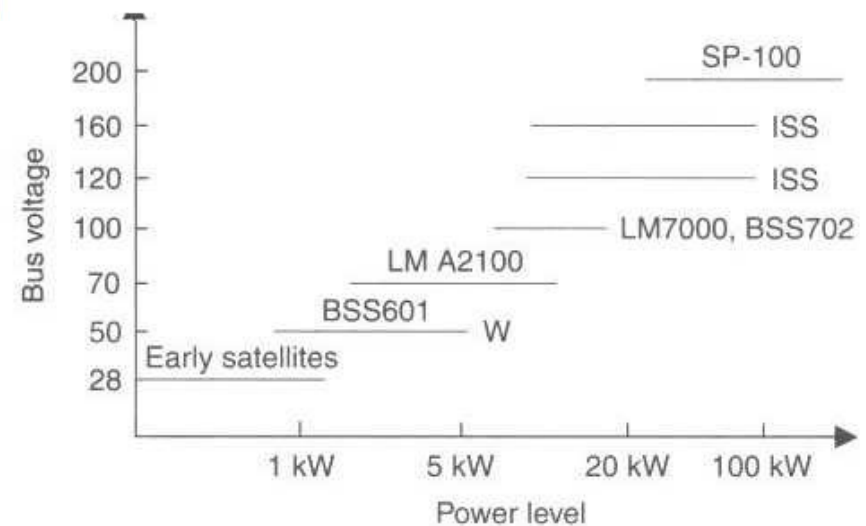
Fedélzeti BUSZ

Paraméterek:

- Buszfeszültség (28V, 50V, 120V)
- Feszültség ingadozás (min/max)
- Forrás impedancia (min 0,02 ohm)
- $C_{BUSZ} = P/400\pi U^2$ (minimum érték, papír kondenzátor, öngyógyuló)
- Csillagpont/Struktúra földelés
- Veszteség (Harness)
- Teszteléshez műhálózat (LISN)



BUS VOLTAGE (V)	P_{MAX} (W) IN LEO	P_{MAX} (W) IN GEO
28	784	1568
50	2500	5000
120	14400	28800

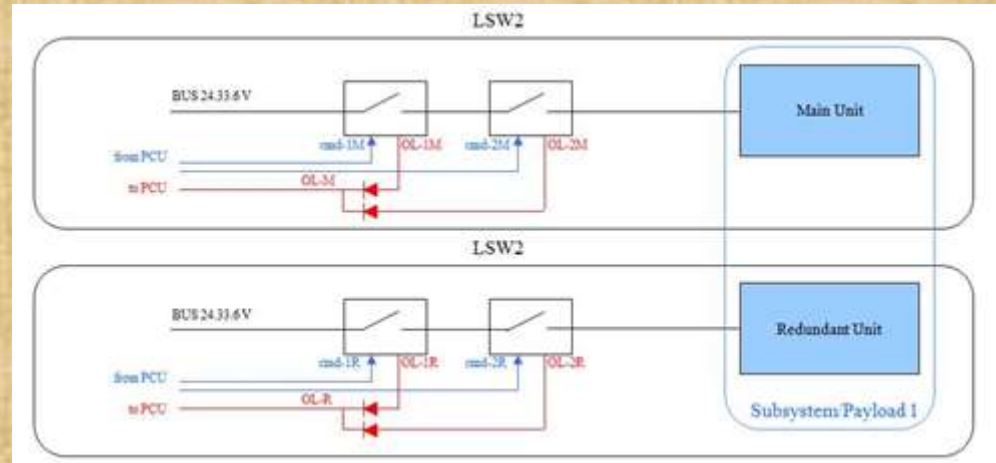


Terhelések osztályozása szempontjai

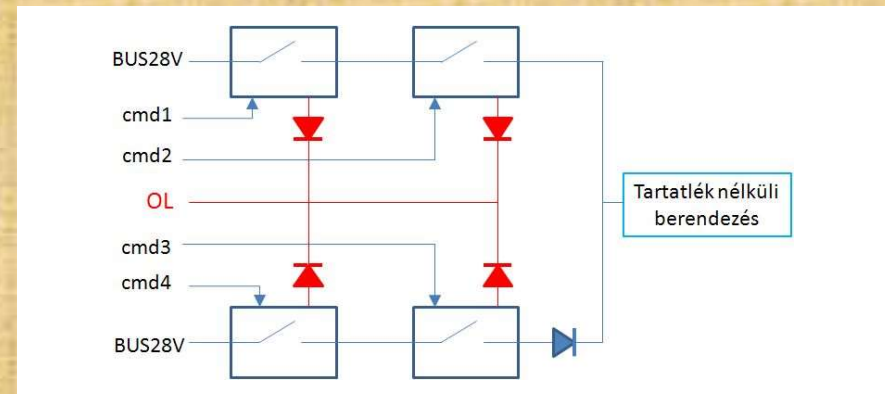
- Funkció (fontosság)
 - Alrendszer (system, S/S)
 - Célberendezés (Payload, P/L)
 - **Fontossági osztályok** (Shedding)
pl ESEO kisműholdon 4 osztály
- Tartalékolás általános szabályai
 - Tartalékolt egység S/S
 - Tartalék nélküli egység P/L
- Bemelő impedancia:
 - Ohmos
 - Induktív
 - Kapacitív
- Energia szint
 - **Standard energia osztályok**
pl. ESEO kisműholdon 3 szint

Pl.: központi vezérlés + terhelések

- tartalékolt egység 2db soros kapcsoló (**LSW2**)



- tartalék nélküli egység 2+2 soros/párhuzamos (**2LSW2**)



- tartalékolt ohmos terhelés 1db kapcsoló (SW, OL nincs)
- tartalékolás nélküli ohmos terhelés
2+2 soros/párhuzamos (2SW2, OL nincs)

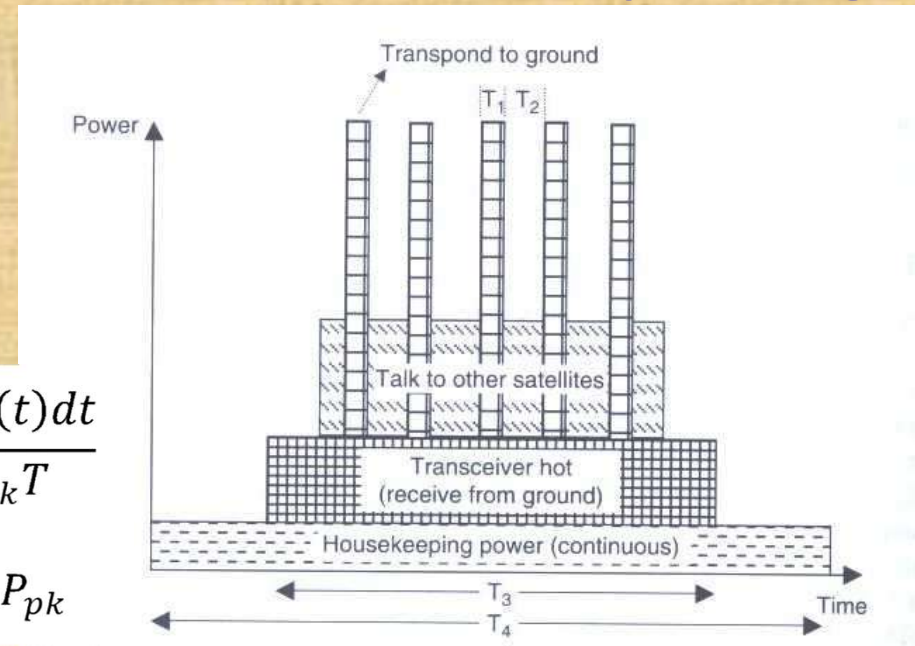
Busz terhelés időprofil, terhelés elektromos tulajdonságai

Energia fogyasztás időprofilja:

- Rendszer üzemmódok
 - Adás Földi állomás felé
 - Kommunikáció műholdakkal
 - Földi adás vétele
 - Telemetria adatgyűjtés
- missziós időterv

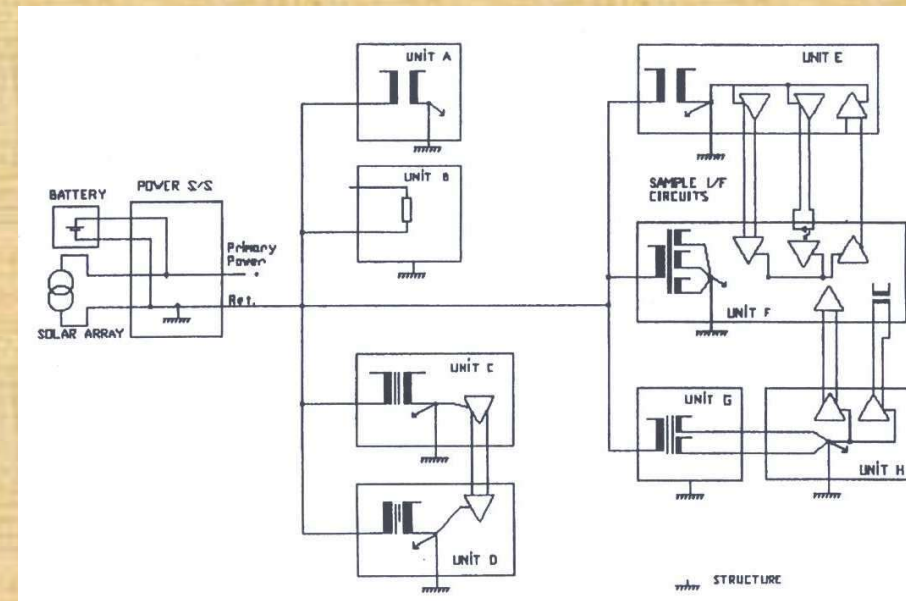
$$D = \frac{\int_0^T P(t)dt}{P_{pk}T}$$

$$P_{avg} = DP_{pk}$$



Terhelés paramétereai:

- Minimális teljesítmény
- Nominális teljesítmény
- Csúcs teljesítmény
- Bemenő impedancia
(Ohmos, induktív, kapacitív)
- AC-DC tulajdonságok



Terheléssel szemben támasztott követelmények

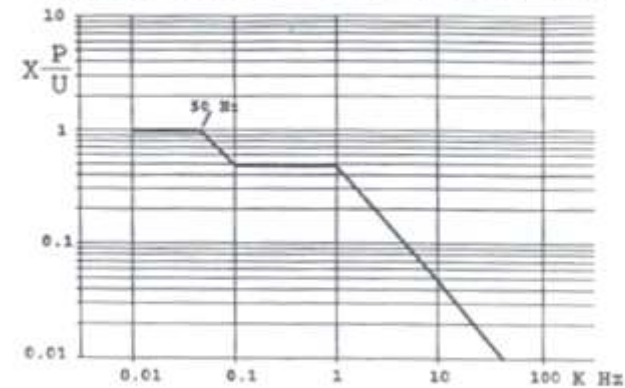
ESA EMC szabványok (ECSS-E-ST-20-07C) emisszió-immunitás/sugárzott-vezetett (KM/DM)

- Maximális túláram
 $= 0.1 P_{busmax} / U_{bus}$
- Bekapcsolási túláram (Inrush current)
 $= 0.02 U C_{bus}$
 - 0-5 μ sec (passzív védelem)
 - 5-500 μ sec (aktív védelem)
 - 500 μ sec - 200msec (PCU)
- DM Áramhullámosság = $0.05 P/U$
- Közös módusú áramhullámosság
- Galvanikus szeparáció
- Földelési lehetőségek
- Teszt műhálózat
 LISN Line Impedance Simulation Network

CONDUCTED INPUT CURRENT MODULATION

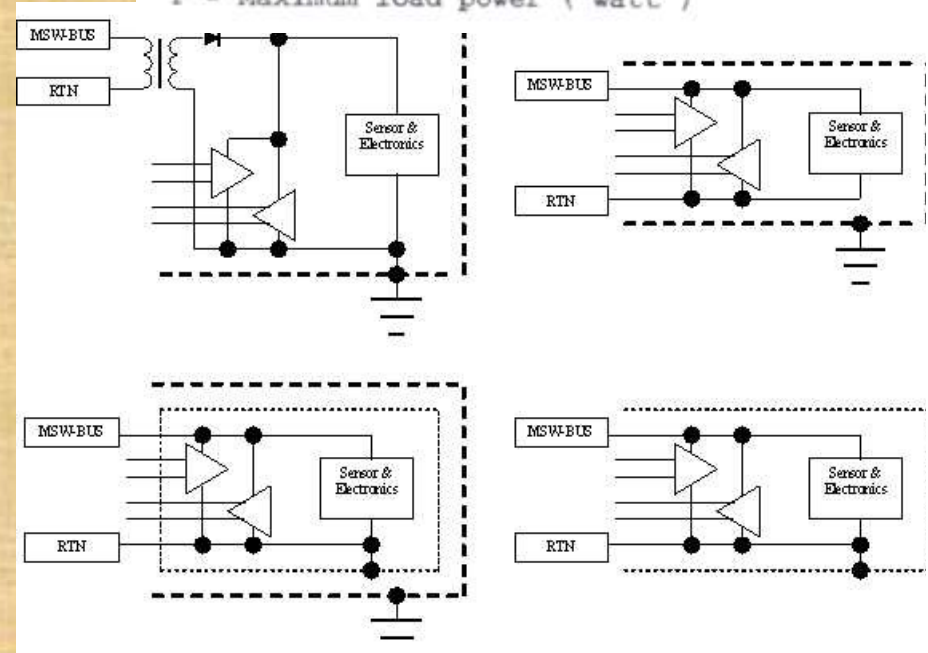
The input current modulation shall be less than the mask shown in Figure 6.1.

INPUT CURRENT MODULATION (A pp)



U = Nominal regulated voltage (volt)

P = Maximum load power (watt)



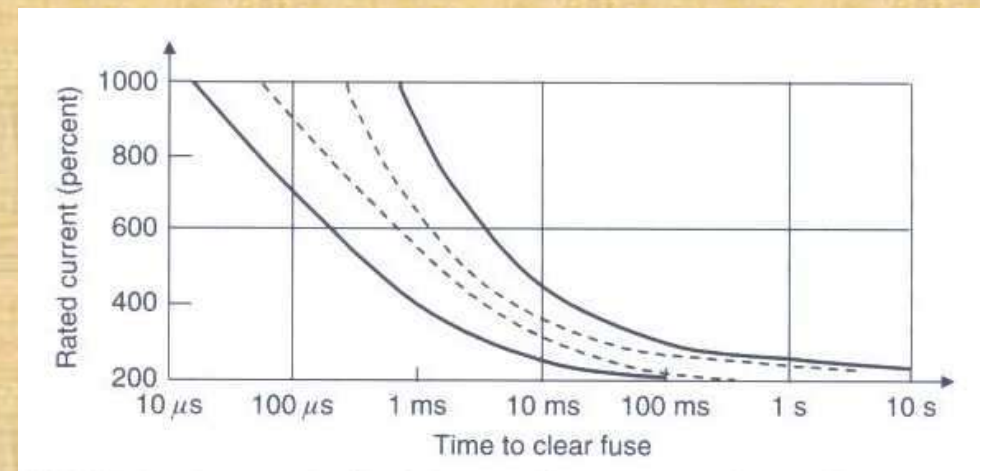
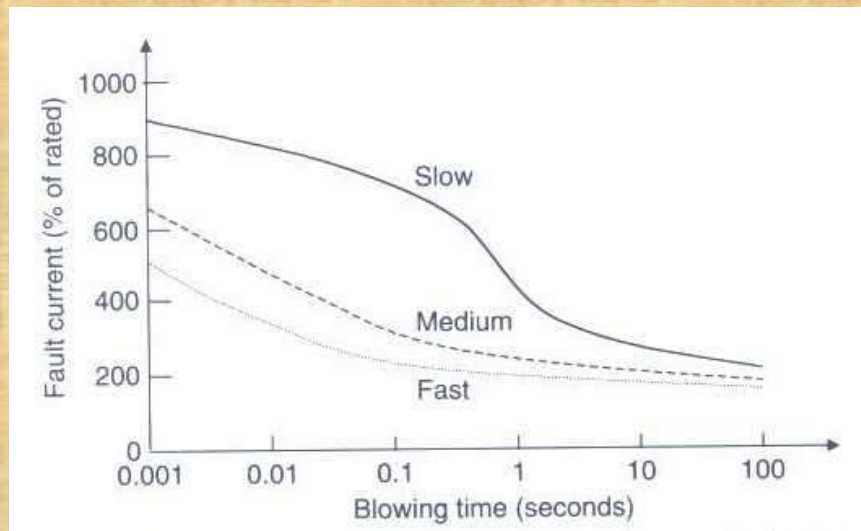
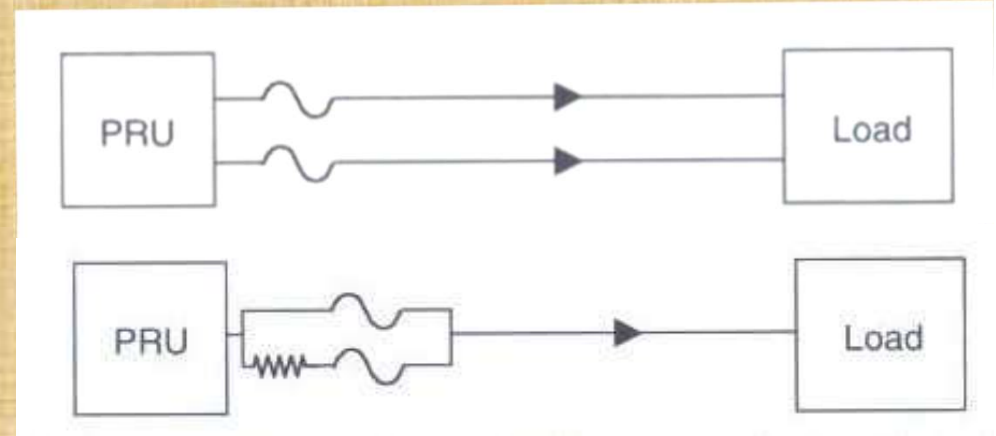
Energia szétosztás eszközei

- **Passzív védelemi eszközök**
 - Túláram (olvadó biztosítók, PTC-k)
 - Bekapcsolási túláram (NTC-k)
 - Túlfeszültség
(diódákkal és zenerekkel, varisztorokkal, szikraköz)
 - DC rendszerekben pozitív és negatív
 - AC rendszerekben amplitúdó határolás
 - Fordított polaritás (soros dióda vagy párhuzamos dióda)
- **Vezérelt kapcsolók**
 - Relék (monostabil vagy bistabil = latch)
 - Félvezetős kapcsolók
- **Aktív védelmi eszközök**
 - Limiterek (visszahajló, konstans, arányosan növe)
 - Limiter kapcsolók (LSW-k)

Passzív túláram védő eszközök

Olvadó biztosítók esetén a hiba izoláció végleges

- Tartalékolt terhelések esetén redundáns vezetékek külön olvadó biztosítóval
- Olvadó biztosító hideg tartalékolás ellenállással (NASA)



Kiolvadási idő szerint: gyors, közepes, lassú

Egy típus esetén a túlterhelés / kiolvadás idő szórási tartomány

Passzív túláram védő eszközök

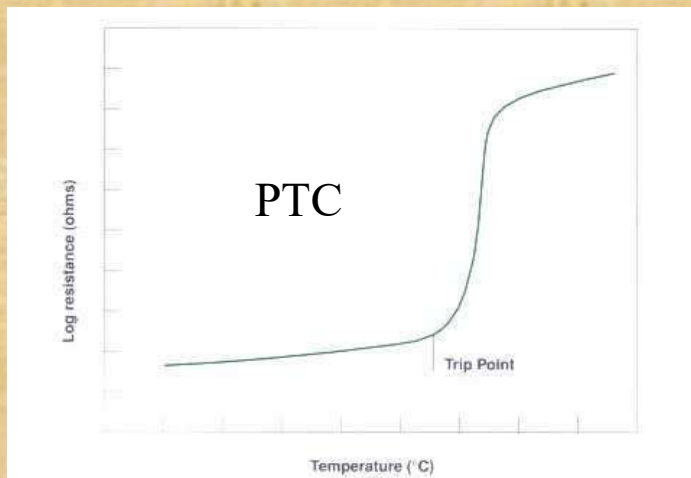
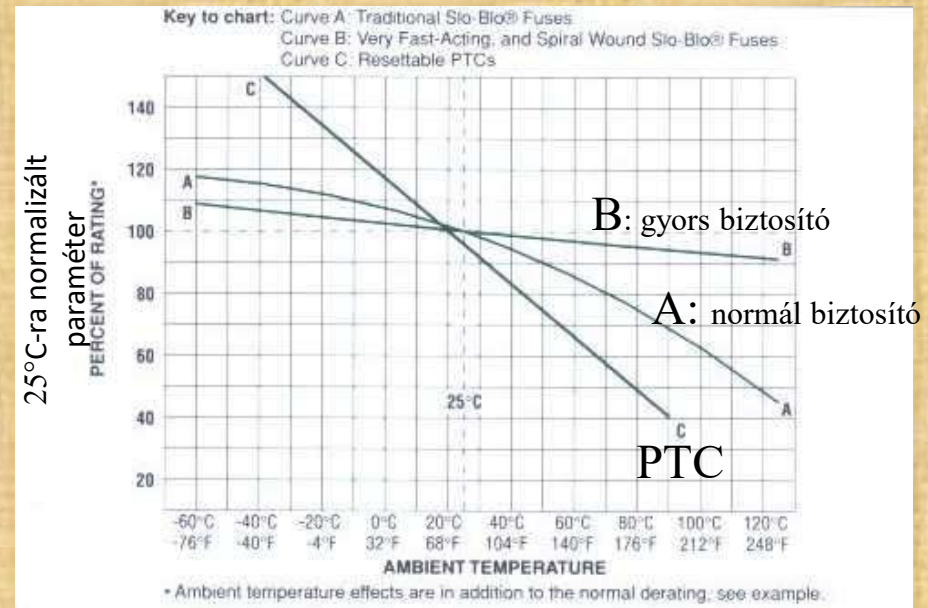
Termisztorok + / - hőfok függő áramkorlátozók

PTC-k (Poliswitch)

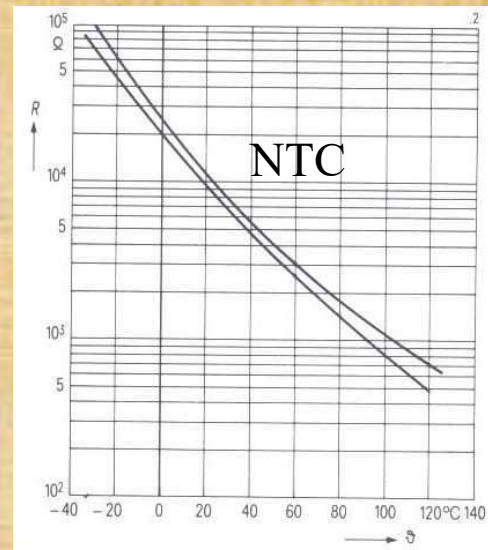
- Hibaizoláció ideiglenes
- Lokális áramkorlát
- Energia források szimmetrikus összegzése

NTC-k

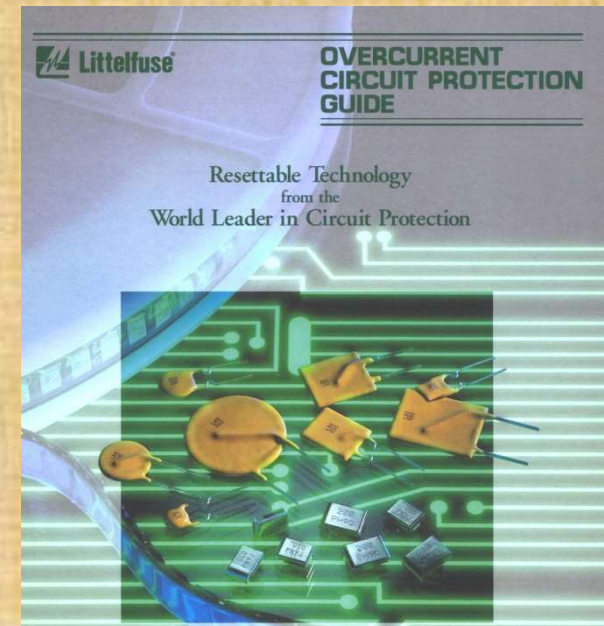
- Bekapcsolási túláram korlát (inrush)
- Műholdon nem jellemző



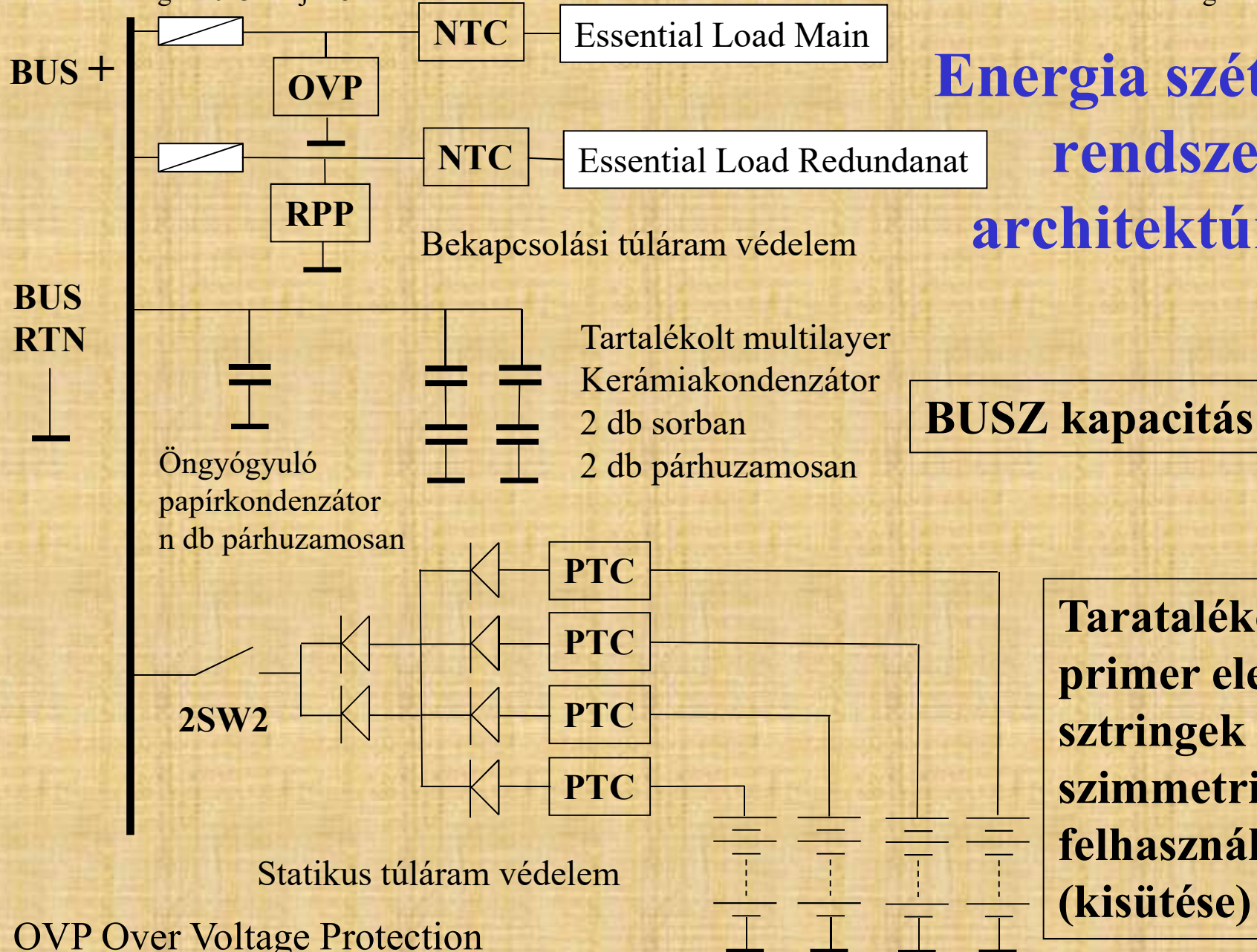
PTC ellenállása egy hőmérséklet felett meredken növekszik.



Logaritmikus ellenállás skála



Energia szétosztó rendszer architektúra I.



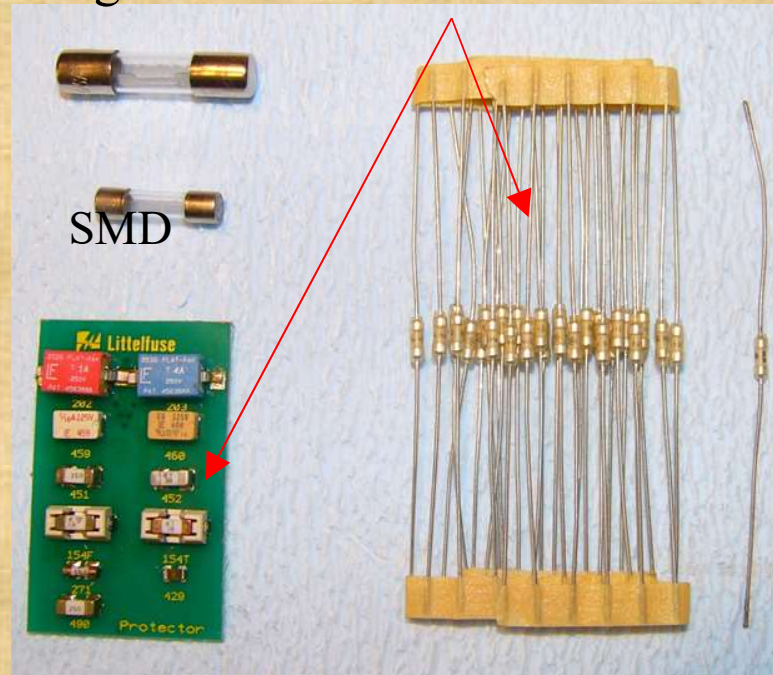
OVP Over Voltage Protection
RPP Revers Polarity Protection

Olvadó biztosítók, NTC-k, NTC-k, varisztorok

üvegcsöves űrminősítésű



Nagyfeszültségű kerámiacsöves



SMD



NTC

Varisztor



Lassú-gyors-normál



Hermetikus tokozású relék: **Vezérelt kapcsolók**

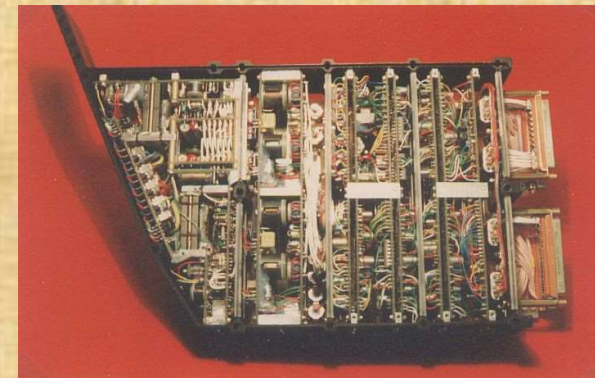
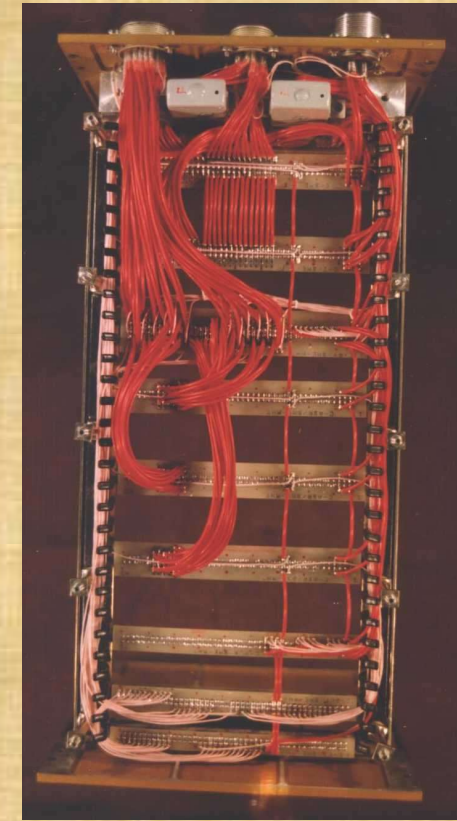
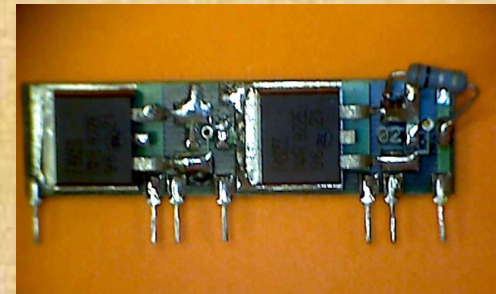
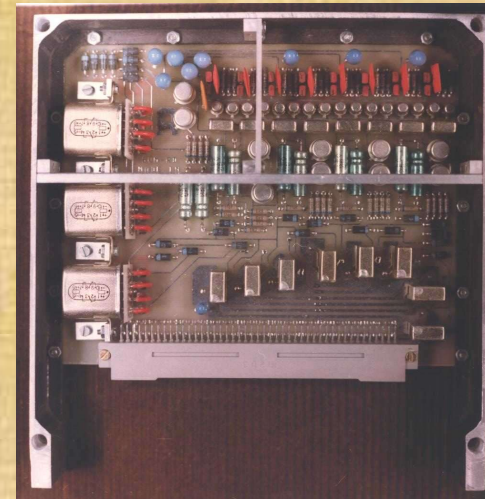
- Érintkező alaptípusok:
SPST, **SPDT**, **DPST**, **DPDT**
(Single Pole Single Throught,....
Double Pole Double Throught)



- Relé alaptípusok:
 - Monostabil (bekapcsolva állandó fogyasztás)
 - Bistabil(dinamikus átkapcsolás ezért nincs statikus fogyasztás)
 - Reed:(kis áram, HV galvanikus szeparáció)

Elektronikus kapcsolók:

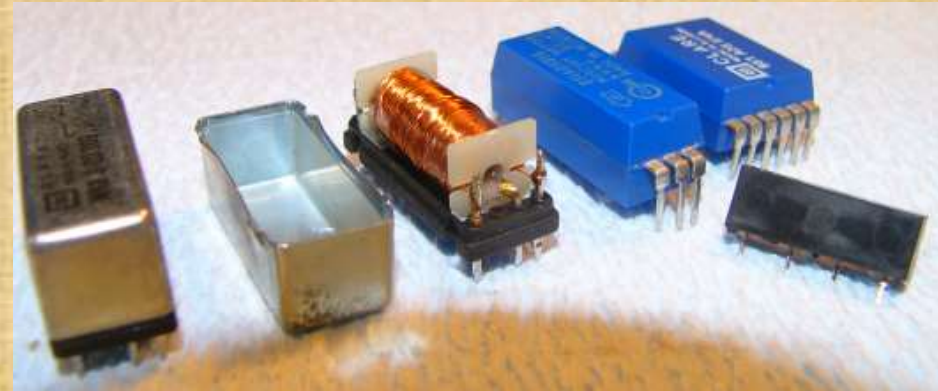
- Tirisztor (nehézkes vezérlés)
- Tranzisztor (szaturációs feszültség miatt rossz hatásfok, jó sugárállóság)
- Power FET (kis $R_{DS\ ON}$ miatt jó hatásfok, de RADHARD FET drága)



Relék



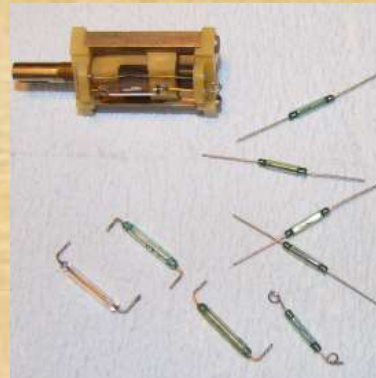
Ipari monostabil relék



Tokozott reed relék elektromágnessel



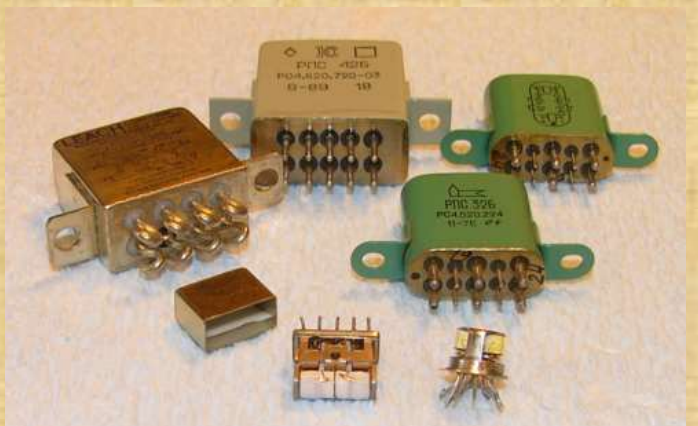
Hertmetikus tokozású monostabil relék



Tokozatlan reed relék



Reed relés nyomógomb állandó mágnessel



Hertmetikus tokozású bistabil relék

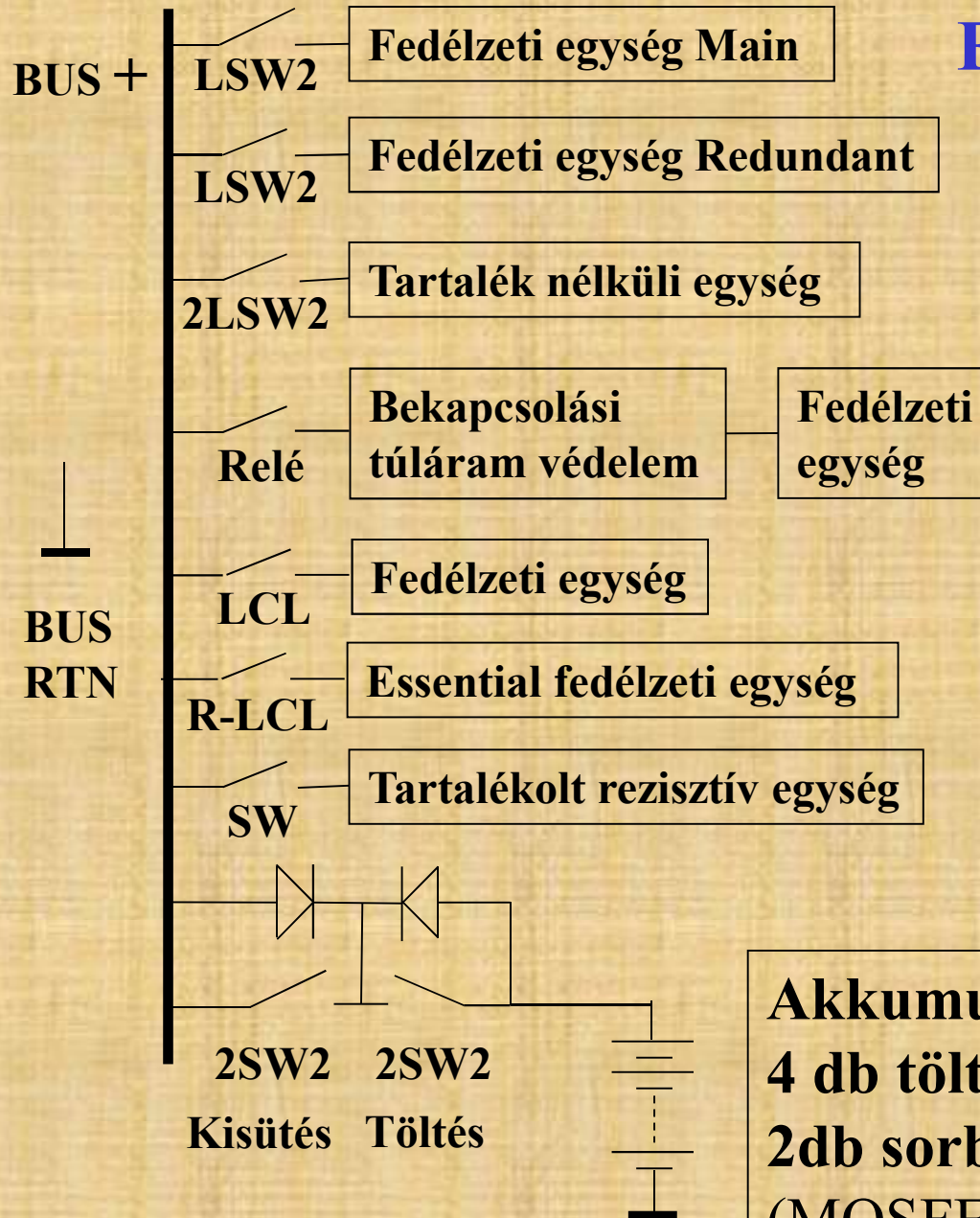


Állandó mágnessel közelítünk reed relét



É ————— D
É ————— D
Érintkezők közepén vonzzák egymást

Energia szétosztó rendszer architektúra II.



- LSW2 2db soros limiter kapcsoló
- 2LSW2 4 db limiter kapcsoló
2 db soros, 2 db párhuzamos
- Relé kontaktus kombináció
2 db soros 2 db párhuzamos
- LCL latched current limiter
- R-LCL retriggerable LCL
- SW MOSFET kapcsoló
(body diódát katód a buszon)

Akkumulátor csatlakozása

4 db töltés és 4 db kisütés kapcsolóval
2db sorban, ebből 2 db párhuzamosan
(MOSFET és body dióda)

Áramérzékelés

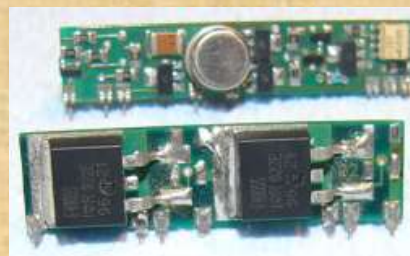
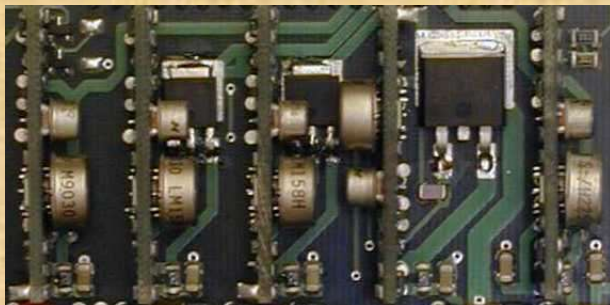
- Ellenállás (pozitív vagy negatív ágban)
- Áramtranszformátorral
- Hall elemmel

Áramszabályozási módok

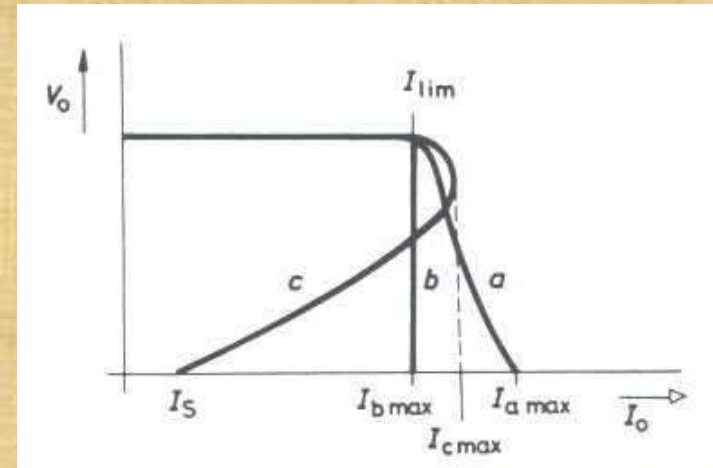
- **Konstans áram** (b. görbe) CC
- **Visszahajló** (c. görbe) FCL (konstans disszipáció, arányos)
- **Csökkenő feszültség** növekvő áram (a. görbe)

Beavatkozó/szabályozó/kapcsoló elem

- Bipoláris tranzisztor
- Teljesítmény FET



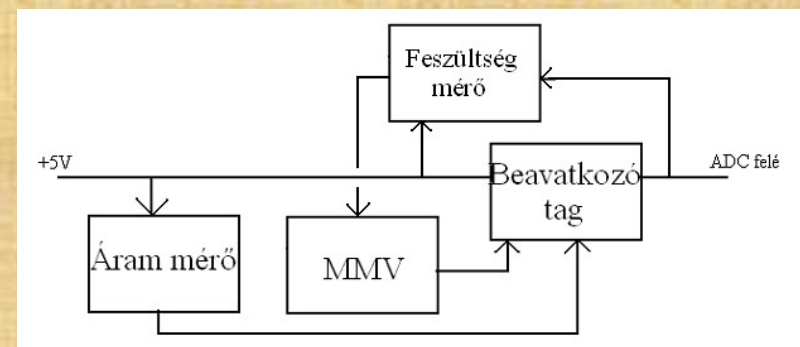
Áramlimiterek



Limiter kimeneti karakterisztikák

Kitöltési tényező vezérelt limiter

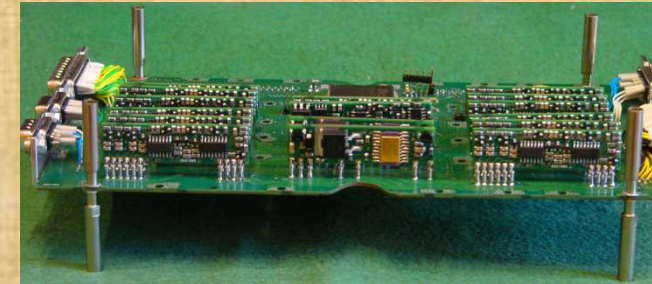
Kikapcsolási időtartam timer
(MMV = monostabil multivibrátor)



Automata áramlimiterek

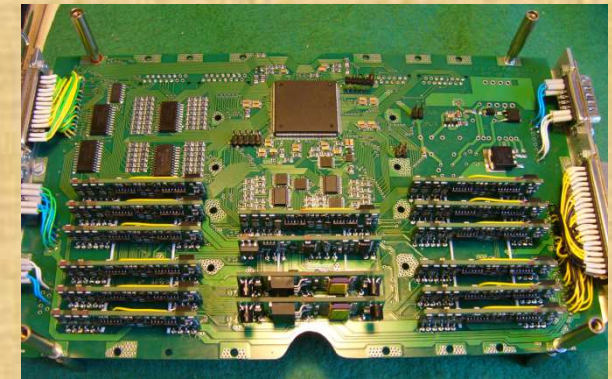
LCL Latched Current Limiter

- Névleges maximális áram (Tripoff current)
- Névleges maximális kikapcsolási késleltetés (Tripoff time)
- ON és OFF parancsok
- Státusz telemetria ON/OFF és OL
- Védelmek: alulfeszültség és újra parancsolhatóság



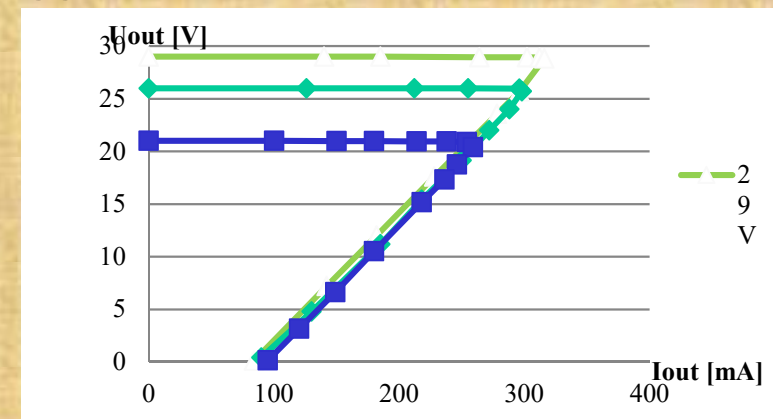
R-LCL Re-Triggerable Latched Current Limiter

- Névleges maximális áram (Tripoff current)
- Névleges maximális kikapcsolási késleltetés (Tripoff time)
- Névleges maximális kikapcsoltsági idő (Retrigger time)
- Parancssal törölhető státusz telemetria OL



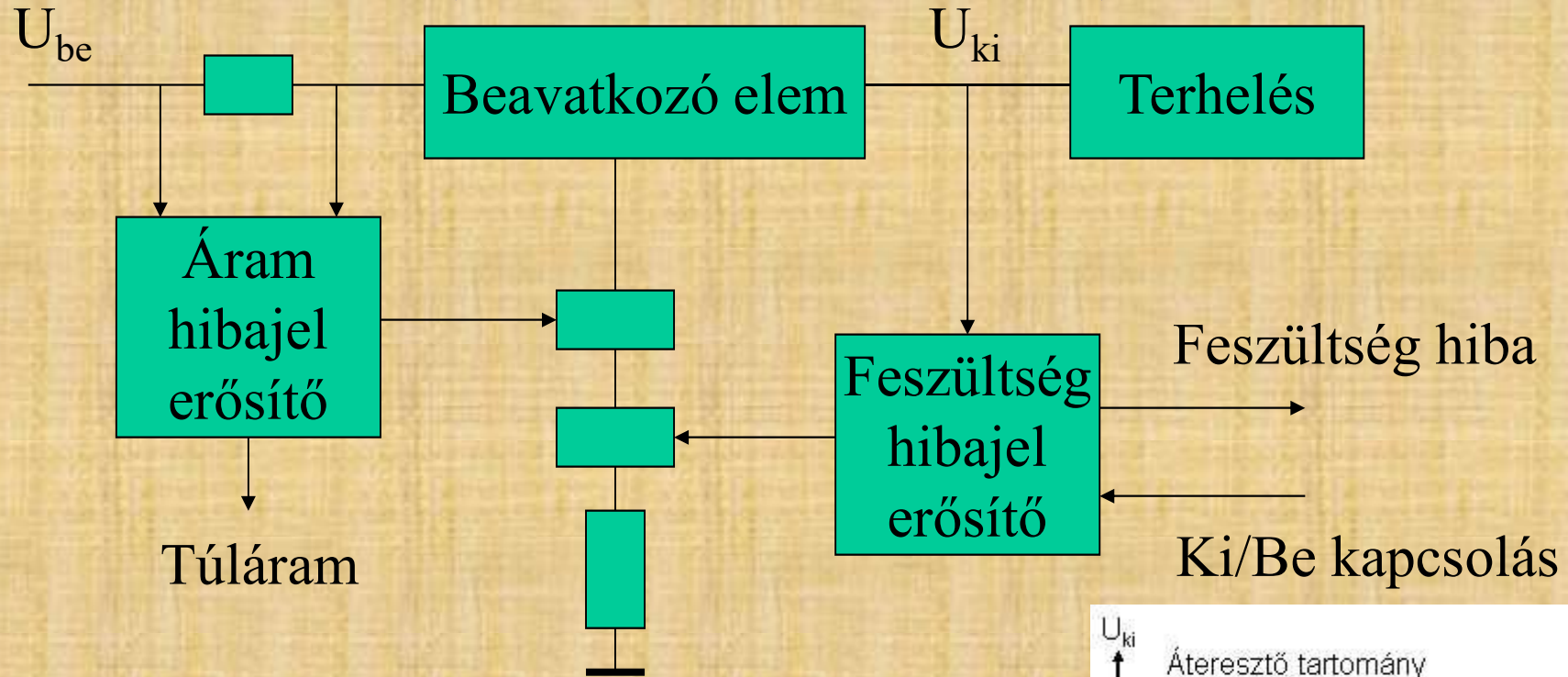
FCL Foldback Current Limiter

- Névleges maximális áram (Tripoff current)
- Névleges visszahajlás mértéke
- Státusz telemetria VEO



Áramkorlátozott feszültség szabályozó

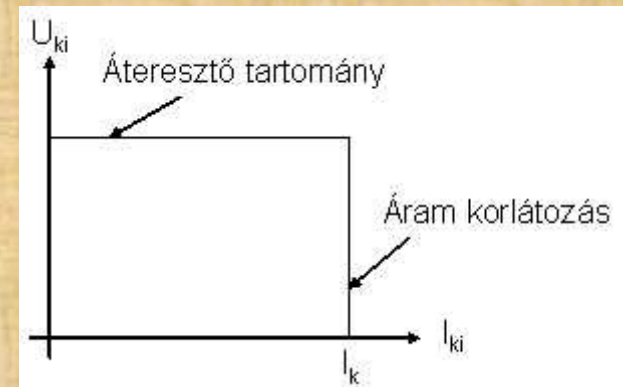
(automatikus CV/CC üzemmód)



Bemenő impedancia: ($U_{be} \sim U_{ki}$)

Áramkorlátozás nélkül $R_{be} = R_{terhelés}$

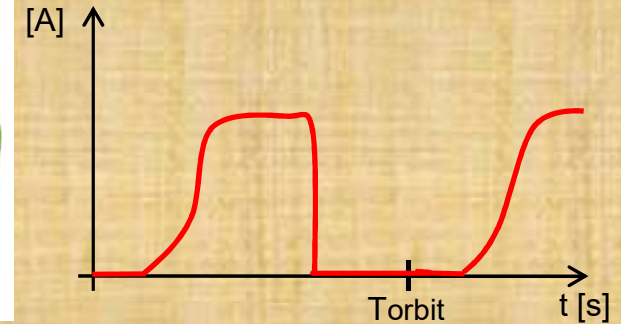
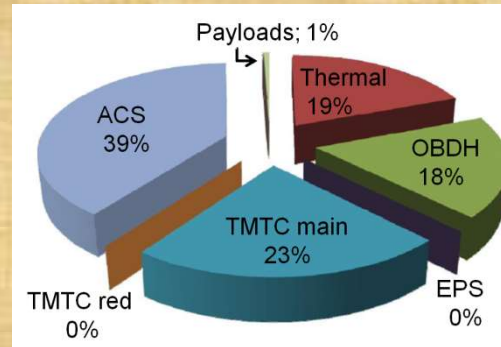
Áramkorlátozás alatt $R_{be} = R_{beavatkozó\ elem} + R_{terhelés} = konstans$



Energia egyensúly tervezés lépései

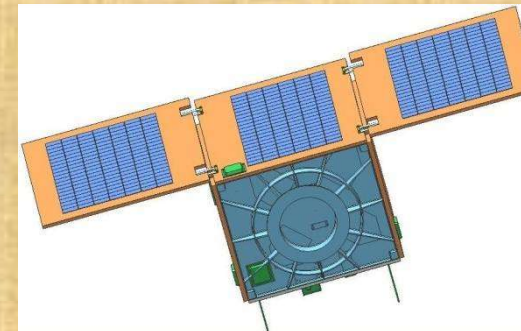
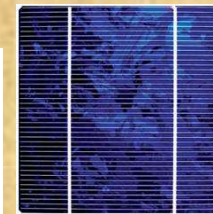
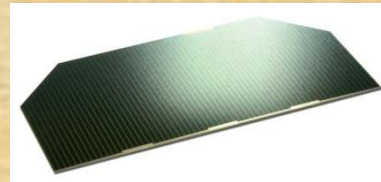
Követelmények

- fedélzeti fogyasztók energiaigénye
- működési ütemterv



Napelem teljesítmény

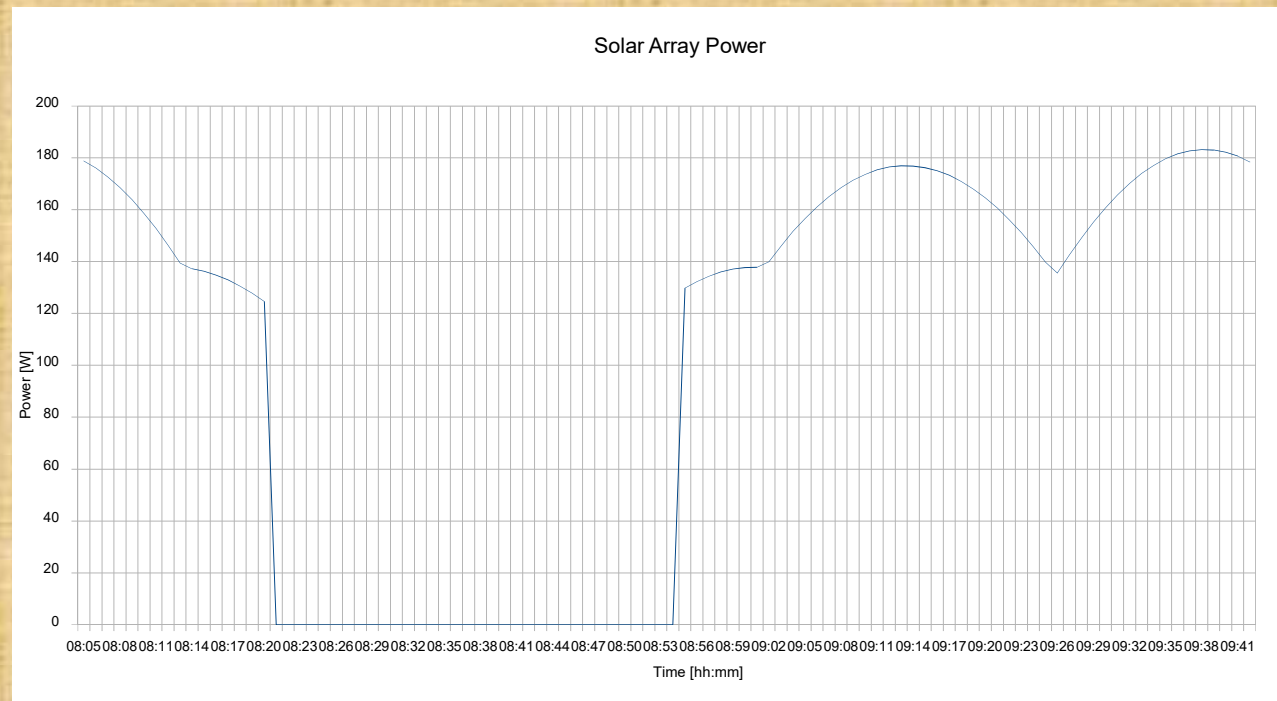
- napelem cella
 - típus kiválasztása
 - adatlap: U_{mpp} , I_{mpp}
 - korrekciók:
 - hőmérsékleti faktor
 - PRF (Power Remaining Factor)
 - sugárzás, hő és mechanikai hatások
 - pl. LEO-n, GaAs cellákra: $PRF = (1-2.75\%) / \text{év}$
- napelem tábla:
 - hasznos felület
 - cellák kapcsolása (sorok száma, cellaszám/sor)
 - orientáció → ekvivalens hatásfok



Energia egyensúly tervezés lépései (folyt.)

Példa:

A CGS/ESA ESEO
napelemeinek
összteljesítménye egy
teljes pályán



Akkumulátor méretezés

Rendszer paraméterek:

- pálya adatok
- energiaigény
- működési ütemterv

Akkumulátor/Energiaellátó alrendszer paraméterei:

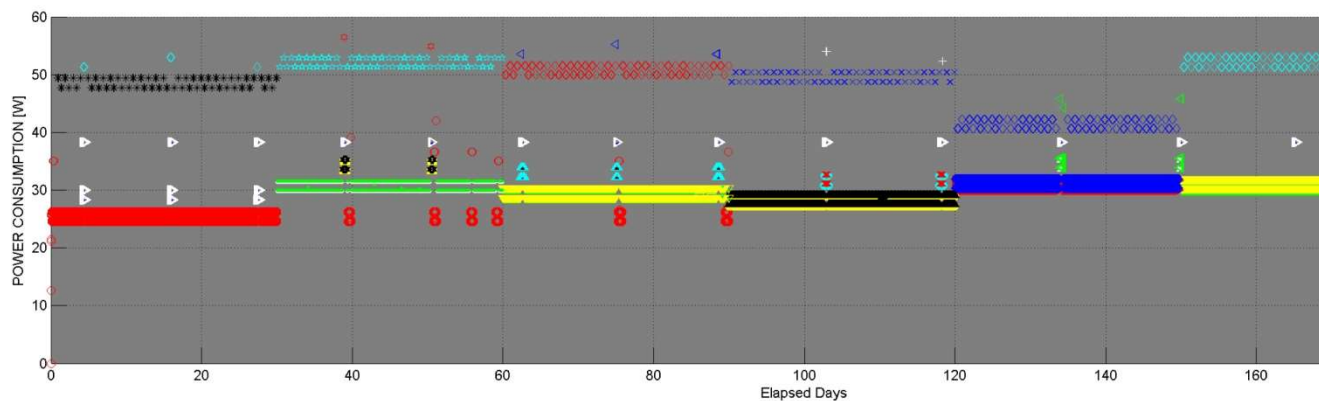
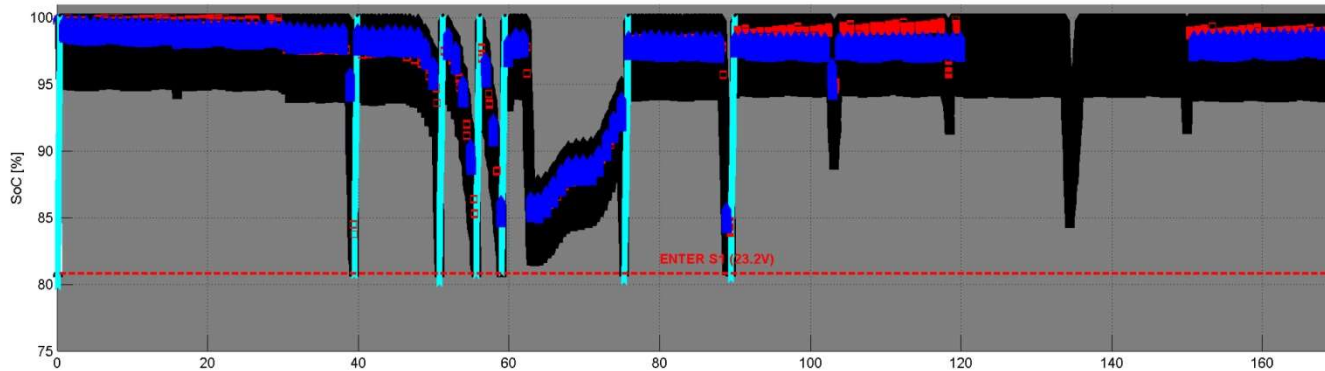
- DoD (Depth of Discharge)
- töltési hatásfok
- kisütési hatásfok

Energia egyensúly

Optimalizáció (akkumulátor méret/ár, kísérletek működési ideje, stb.)

ESA ESEO energia felhasználás BUSZ feszültség

**Akkumulátor töltöttség
(SoC = State of Charge):
75-100%**



**Energia felhasználás:
0-60W**

**Időtartam: 190 nap
6,33 ciklus**

- OFF
- ▷ GPS+ HPA
- ✦ HSTX_{mem} + GPS
- * HSTX_{mem} + GPS+ HPA
- * HSTX_{TX} + HPA
- ◇ HSTX_{TX} + GPS+ HPA
- ▷ AMSAT
- ◇ AMSAT+ HPA
- × AMSAT + GPS
- ▽ AMSAT + GPS+ HPA
- uCAM + HSTX_{mem}
- △ uCAM + HSTX_{mem} + HPA
- uCAM + HSTX_{mem} + GPS
- × uCAM + HSTX_{mem} + GPS+ HPA
- × uCAM + HSTX_{TX} + HPA
- + uCAM + HSTX_{TX} + GPS+ HPA
- ✦ LMP + HSTX_{mem}
- ▽ LMP + HSTX_{mem} + HPA
- LMP + HSTX_{mem} + GPS
- △ LMP + HSTX_{mem} + GPS+ HPA
- ◇ LMP + HSTX_{TX} + HPA
- ▷ LMP + HSTX_{TX} + GPS+ HPA
- TRITEL + HSTX_{mem}
- ✦ TRITEL + HSTX_{mem} + HPA
- TRITEL + HSTX_{mem} + GPS
- ☆ TRITEL + HSTX_{mem} + GPS+ HPA
- ☆ TRITEL + HSTX_{TX} + HPA
- ☆ TRITEL + HSTX_{TX} + GPS+ HPA

Buszfeszültség a napsugárzás és fogyasztás függvényében

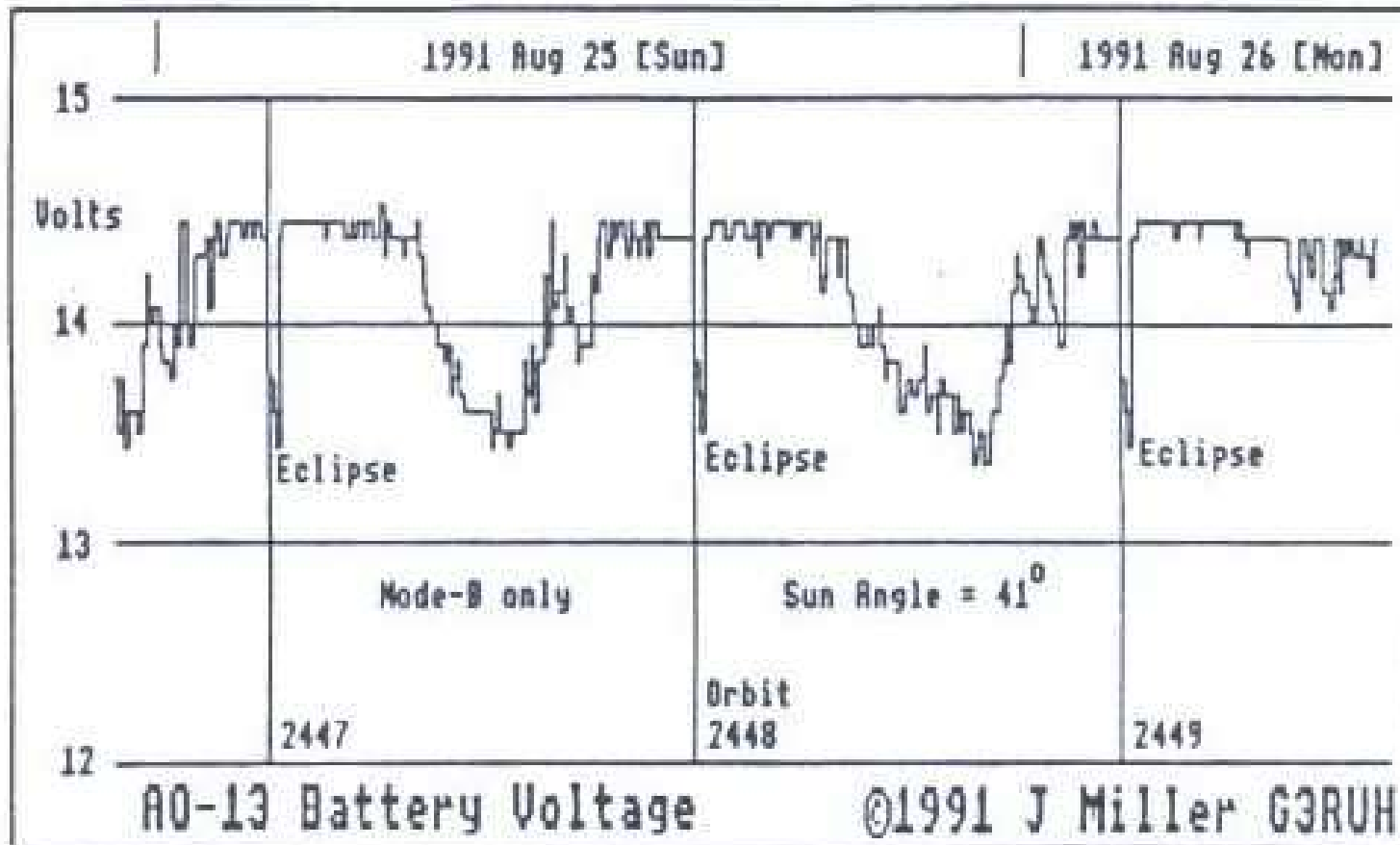
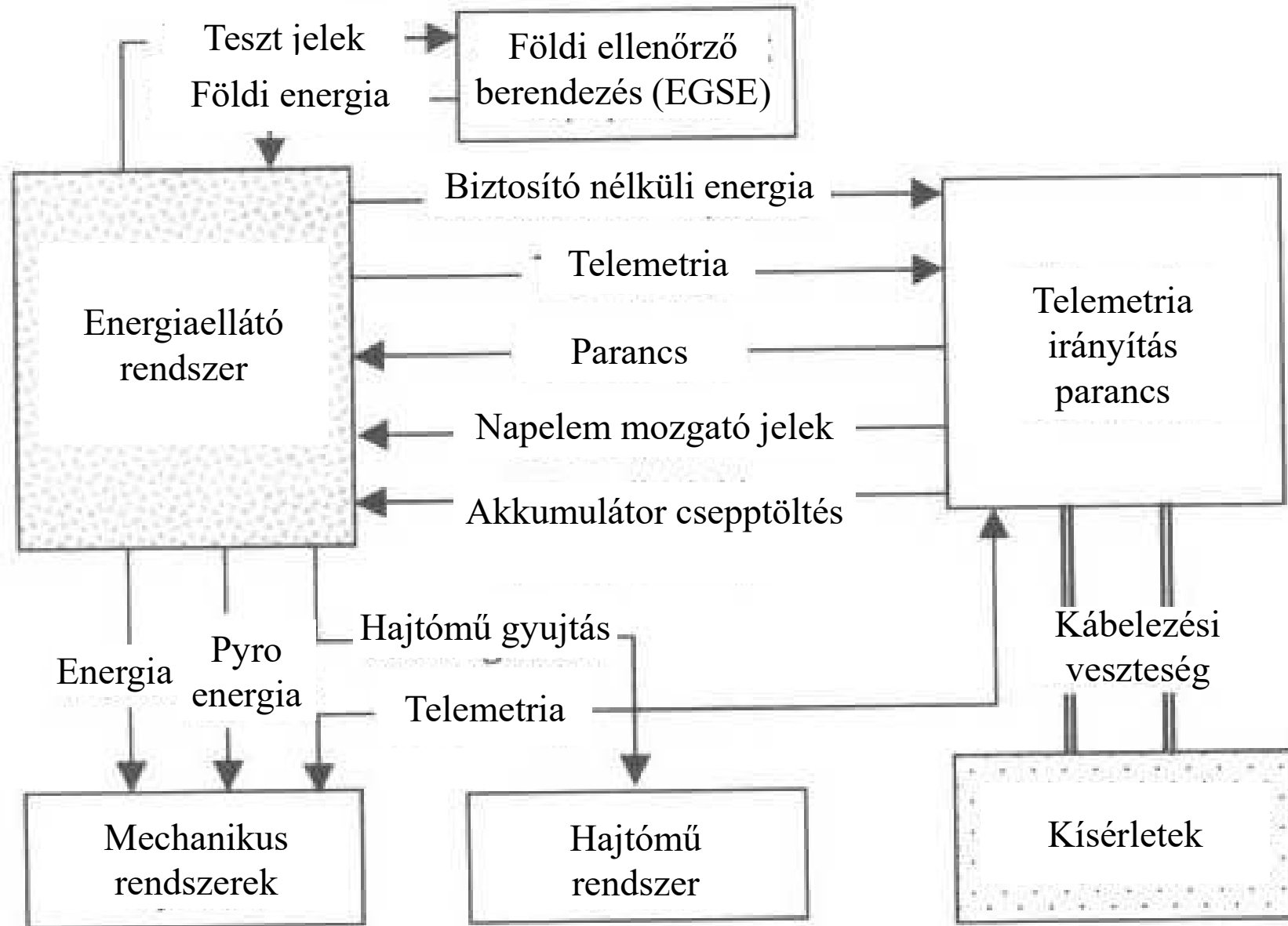


Figure 2 P3C bus voltage telemetry data.

Energiaellátó rendszer tipikus interfészei



Műhold és energiaellátó rendszer követelmények

A
fázis

Projekt definiálása (SOW)
Misszió specifikáció
Missziós követelmények
Rendszer követelmények

STUDY

B
fázis

Missziós követelmények

Űreszköz követelmények

Optimalizálás

Előzetes tervek

PDR
EM

C
fázis

Rendszer követelmények

Missziós specifikáció

Alkatrész specifikáció

CDR
QM

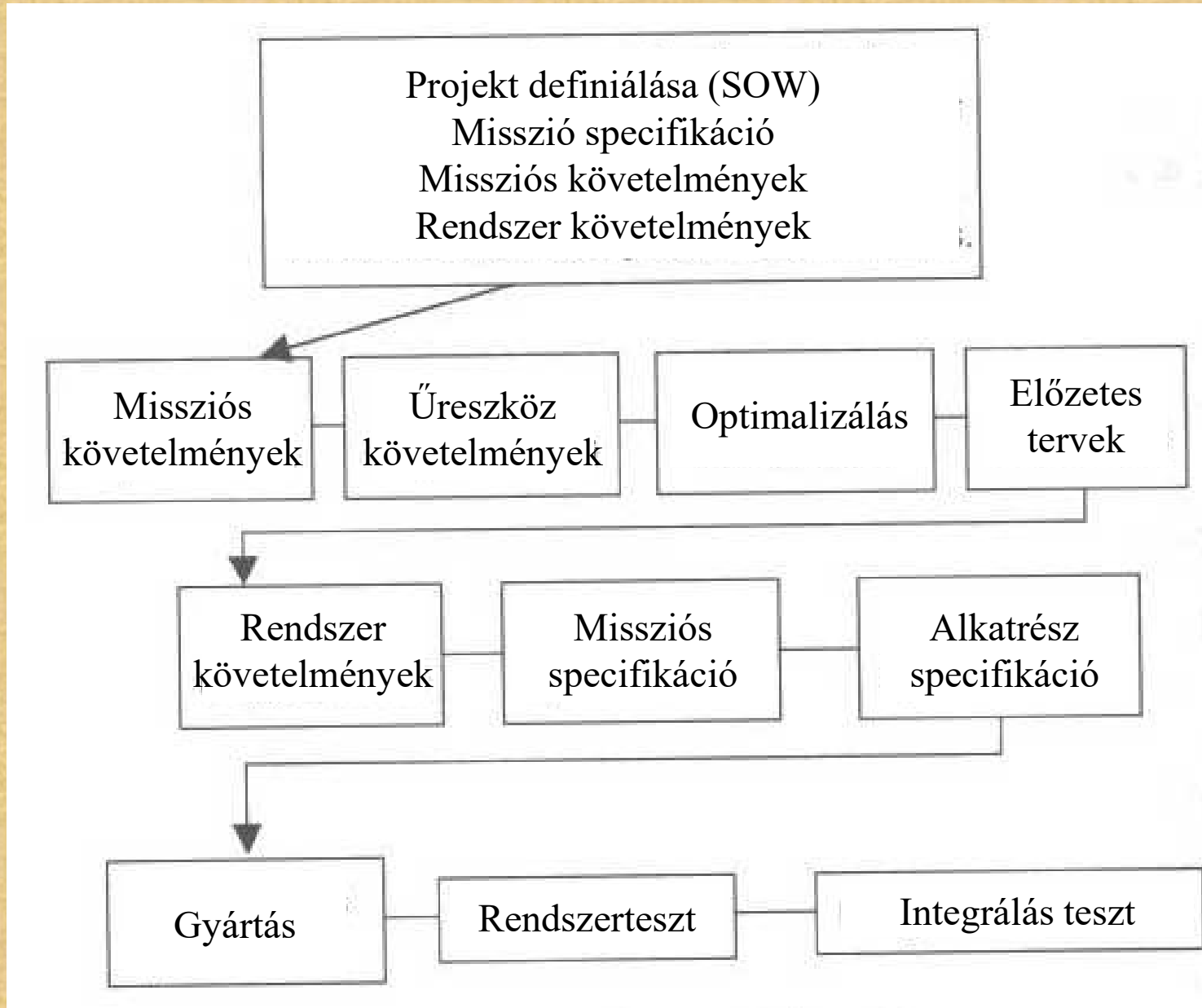
D
fázis

Gyártás

Rendszerteszt

Integrálás teszt

ADP
FM



Az anyaghoz kapcsolódó kérdések

- Melyek a műholdfedélzeti energiabusz fontosabb paraméterei?
- Milyen szempontok szerint osztályozzuk a műholdfedélzeti terheléseket és melyek azok fontosabb statikus és dinamikus paraméterei?
- Melyek az energia szétosztás és védelem fontosabb eszközei, milyen kapcsoló eszközöket használnak műholdfedélzeti energiaelosztó egységekben?
- Milyen passzív túláram védő eszközöket használnak műholdfedélzeten? Rajzolja le az eszközök jellemző karakterisztikáit!
- Milyen típusú áramszabályozókat használnak műholdfedélzeten? Rajzolja fel a legismertebb kimeneti karakterisztika típusokat!