

# Az alkatrészek kiválasztása



**Szimler András**  
**BME HVT, Űrtechnológia Laboratórium**



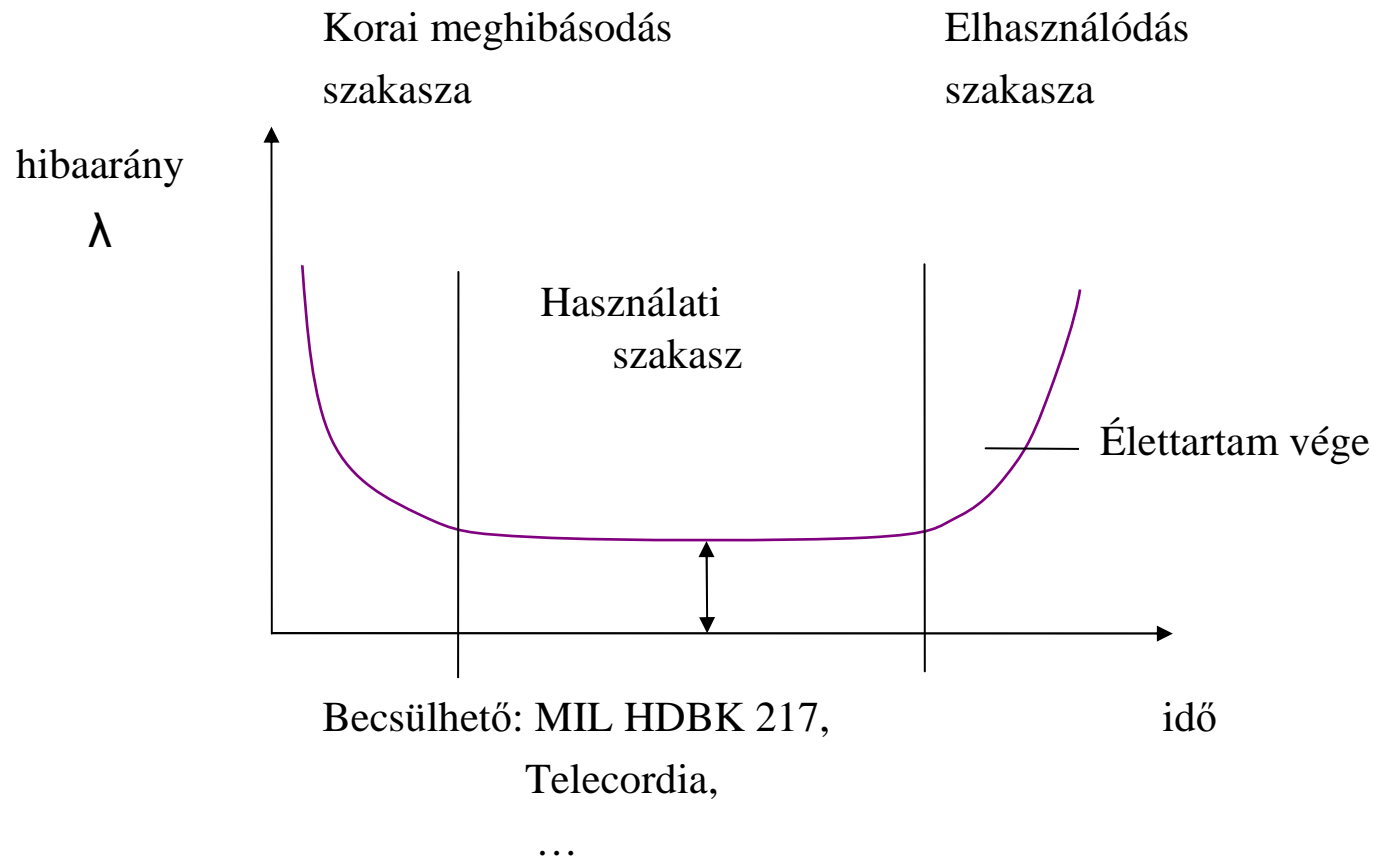
# Munkafázisok

- **Tervezés**  
Előzetes ismeretek, követelmények,  
system / payload oldal
- **Fejlesztés, modell építés**  
Olcsó alkatrészek, COTS, egy-két végleges
- **MéRNÖKI minták** (EQM, Engineering Qualification Model)  
Döntően végleges alkatrészek
- **Repülő példány(ok)** (FM flight model)  
Végleges alkatrészek

# Az alkatrész választás szempontjai

- Megbízhatóság
- Környezeti követelmények
  - Sugárzás
  - Vákuum
  - Mechanikai igénybevétel
  - Hőmérséklet, hőingadozás
- Beszerezhetőség
- Ár

# Az alkatrészek megbízhatósága



# A MIL-HDBK-217F

Diszkrét alkatrész meghibásodási aránya:

$$\lambda_p = \lambda_b \prod_{i=1}^n \pi_i \quad [\text{hiba}/10^6\text{h}]$$

$\lambda_p$  becsült hibaaarány

$\lambda_b$  alap hibaaarány

$\pi$  korrekciós tényezők

$\pi_Q$  minőség

$\pi_E$  környezet **A sugárzást nem veszi figyelembe!**

$\pi_A$  alkalmazási terület

$\pi_T$  hőmérséklet

$\pi_C$  konstrukció

$\pi_S$  elektromos igénybevétel

$\pi_R$  teljesítményszint

$\pi_P$  disszipáció

# A tranzisztorok hibaaránya

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_Q \pi_A \pi_E \pi_T \pi_S \pi_R$$

NPN, PNP
$f_T < 200\text{MHz}$
$\lambda_b = 0,00074$

Minőség	$\pi_Q$
JANTXV	0,7
JANTX	1,0
JAN	2,4
Nem minősített	5,5
plasztik	8,0

Felhasználási mód	$\pi_A$
Lineáris	1,5
kapcsoló	0,7

Környezet	$\pi_E$
Földi	1-9
Tengeri	9-19
Légi	13-43
Űrben repülés	0,5
Rakéta repülés	14
Rakéta kilövés	32
Ágyúból kilövés	320

$T_J$	$\pi_T$
25°C	1,0
175 °C	11
$\pi_T = \exp(-2114(1/(T_J+273)+1/298))$	

$V_{CE}/V_{CEO}$	$\pi_S$
0-0,3	0,11
0,9-1,0	1,0
$\pi_S = 0,045e^{0,31V_s}$	

Teljesítményszint	$\pi_R$
$P_r = 0,1\text{W}$	0,43
$P_r = 500\text{W}$	10
$\pi_R = P_r^{0,37}$	

# Az összetett alkatrészek hibaaránya

Mikroáramkörök (60 000 db kapuig / 10 000 db tranzisztorig)

$$\lambda_p = (C_1 \pi_T + C_2 \pi_E) \pi_Q \pi_L$$

$C_1$  a chip komplexitása

$C_2$  a tokozás komplexitása

Minőség	$\pi_Q$
MIL-JAN CLASS S, MIL-QML CLASS V, K	0,25
MIL-JAN CLASS B, MIL-QML CLASS Q, H	1,0
MIL883B	2,0
COTS	10

Kiforrottság/ Mióta gyártják [év]	$\pi_L$
< 1 év	2
0,5 év	1,8
1	1,5
1,5	1,2
> 2 év	1

# Mean Time Between Failure (MTBF)

MTBF = összes üzemidő / hibák száma

$$\text{MTBF} = \lambda_p^{-1} \text{ [10}^6\text{h]}$$

Megbízhatóság:

$$R(t) = e^{-t/\text{MTBF}} \text{ [%]} \quad \text{exponenciális eloszlás esetén}$$



# Központi irányelvek az alkatrészválasztásra

- **ESA ECSS**

European Cooperation for Space Standardization

## Space Product Assurance

- European preferred parts list (EPPL) and its management
- Derating EEE components
- European Preferred Part List  
(NASA-PSL, JPL-PPL, GSFC-PPL)

# Az alkatrészek kockázati besorolása

	Alacsony kockázat	Közepes kockázat	Magas kockázat	Ismeretlen
	NASA NPSL <b>Level 1</b> ESA ESCC <b>Class 1</b> JAXA QPL/QML <b>CLASS I</b>	NASA NPSL <b>Level 2</b> ESA ESCC <b>Class 2</b> JAXA QPL/QML <b>CLASS II</b>	NASA NPSL <b>Level 3</b> ESA ESCC <b>Class 3</b>	<b>COTS</b> Ipari és kommersz
Mikro- áramkör	MIL JAN CLASS S MIL QML CLASS V MIL QML CLASS K $\pi_Q=0,25$	MIL JAN CLASS B MIL QML CLASS Q MIL QML CLASS H $\pi_Q=1$	MIL 883 B MIL QML CLASS M MIL QML CLASS N $\pi_Q=2$	$\pi_Q=10$
Tranziszto- rok, diódák..	MIL JAN S	MIL JANTXV, JANJ $\pi_Q=0,5-0,7$	MIL JANTX, JAN $\pi_Q=1-5$	$\pi_Q=5,5-8$
Passzív alkatrészek	MIL "S" $\pi_Q=0,03$ <b>0,001% hiba/1000h</b>	MIL "P" $\pi_Q=0,3$ <b>0,1% hiba/1000h</b>	MIL "M" $\pi_Q=1,0$ <b>1% hiba/1000h</b>	$\pi_Q=10$
Ellenállások kondenzá- torok, ...	MIL "R" ha nincs S $\pi_Q=0,1$ <b>0,01% hiba/1000h</b>  MIL WEIBULL "C", "D" <b>0,001% hiba/1000h</b> <b>0,01% hiba/1000h</b>	MIL WEIBULL "B" <b>0,1% hiba/1000h</b>	MIL "L" $\pi_Q=1,5$	

# Az igénybevétel korlátozása (derating)

Az EPPL alapján 12/01 család/csoportkód besorolású tranzisztorokra vonatkozó szabályok:

Part type	Derating
Collector-emitter voltage ( $V_{CE0}$ )	75 %
Collector-base voltage ( $V_{CB0}$ )	75 %
Emitter-base voltage ( $V_{EB0}$ )	75 %
Collector current ( $I_C$ max)	75 %
Base current ( $I_B$ max), if specified	75 %
Power ( $P_D$ )	65 % of maximum power. <sup>a b</sup>
Maximum junction temperature ( $T_{j\max}$ )	110 °C or $T_{j\max} - 40$ °C (whichever is lower).
<sup>a</sup> The designer should refer to the SOA.	
<sup>b</sup> Where power cycling is critical this should be considered.	

# Nem PPL alkatrészek

- Egyedi gyártású alkatrészek (induktivitás, ellenállás, ...)
- Különleges, PPL-ben nem szereplő eszközök
- Konstruktív problémák
- Beszerzési nehézségek
- Költségcsökkentés

Csak minősítés, bevizsgálás után alkalmazhatók

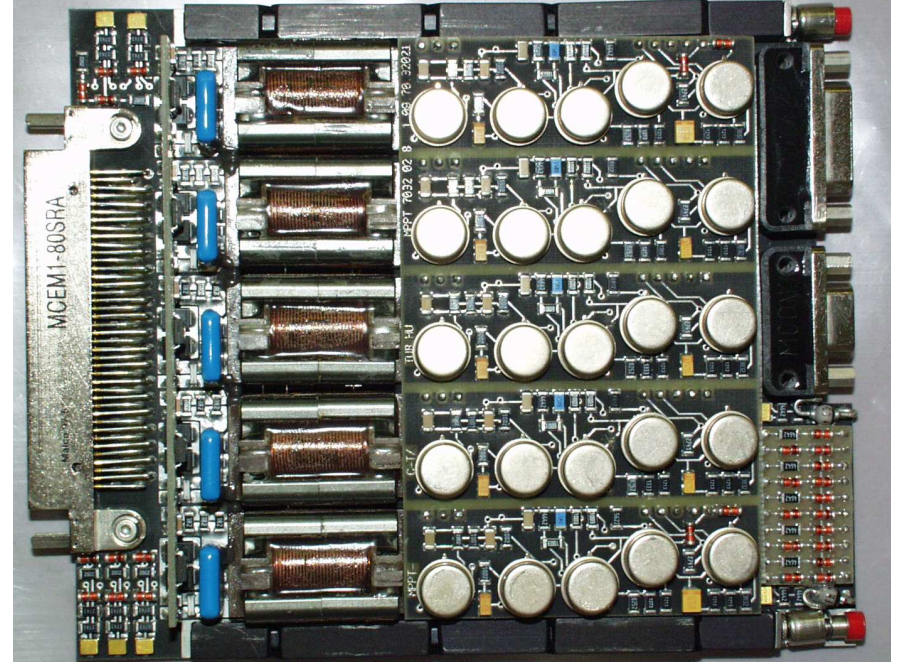
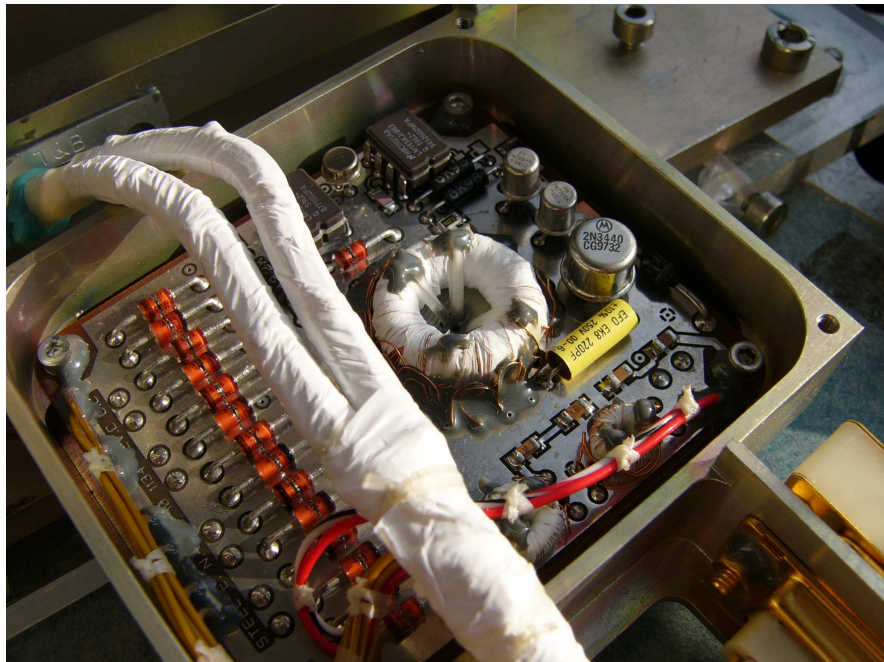
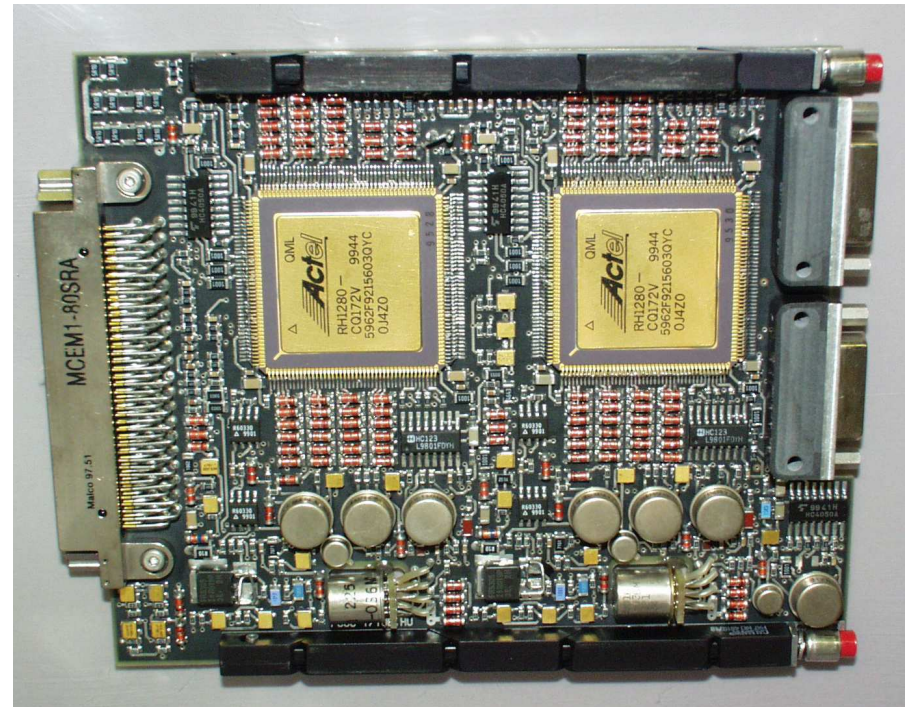
# Környezeti hatások

## Vákuum

- Szivárgási és mechanikai szempontból vákuumálló alkatrészek
- Hermetikus, kiöntött, impregnált alkatrészek
- Low outgassing, alacsony szublimációjú anyagok
- Vákuumban nincs konvekciós hűlés, kisebb az alkatrészek disszipációs határértéke

# Rázkódás, hőágulás

- Kerámia vagy fém tokozású alkatrészek
- Rázkódás szempontjából kedvezőbb tokozás és kivezetés
- Aranyozott lábú alkatrészek kerülése  
AuSn<sub>4</sub> üvegszerű, törékeny. Au forrasztása InPb-vel vagy "de-golding", napelemeknél ponthegeztés
- Ólommentes forrasztanyagok tiltottak (ESA)  
Forrasztásnál a hőterhelés nagyobb (T,t), átkristályosodás és ón-whisker képződés veszélye



2015.10.30.

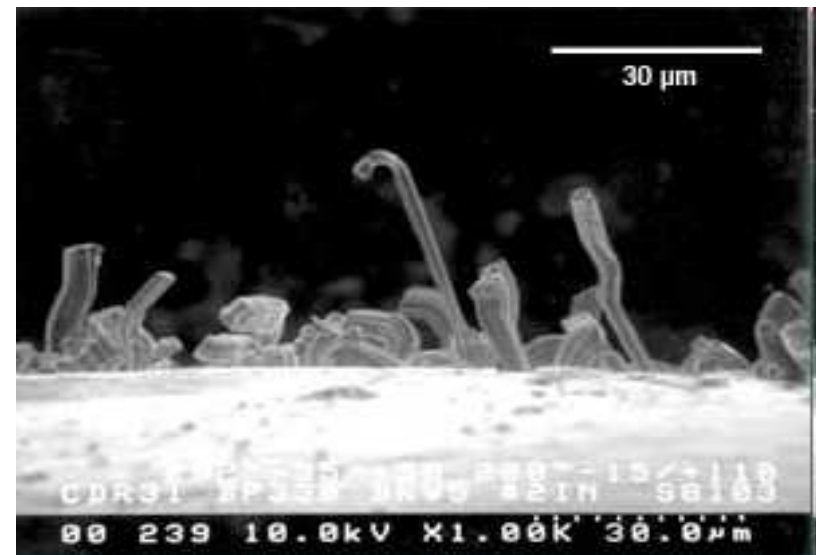
Alkatrészek kiválasztása

15/24

# Ón whisker képződés

Tiszta Sn bevonatú alkatrészek tiltottak

- $\Delta T$ , T és a hőciklusok számától függően whisker képződés (30 $\mu\text{m}$  – 9 mm/év  $\varnothing$ 0,006-10 $\mu\text{m}$ )
- átmeneti vagy tartós rövidzárlat, vákuumban plazma csatorna
- más fémek is hajlamosak rá, ólommentes forrasztás Sn
- lakkozás, conformal coating





# Beszerezés

- USA korlátozások
  - International Traffic in Arms Regulations (ITAR)
- ITAR alkatrészek kerülése
- Egyéb korlátozások (Qualified Pack Maker, ...)
- Alkatrészek beszerzése
  - egyéni
  - központi

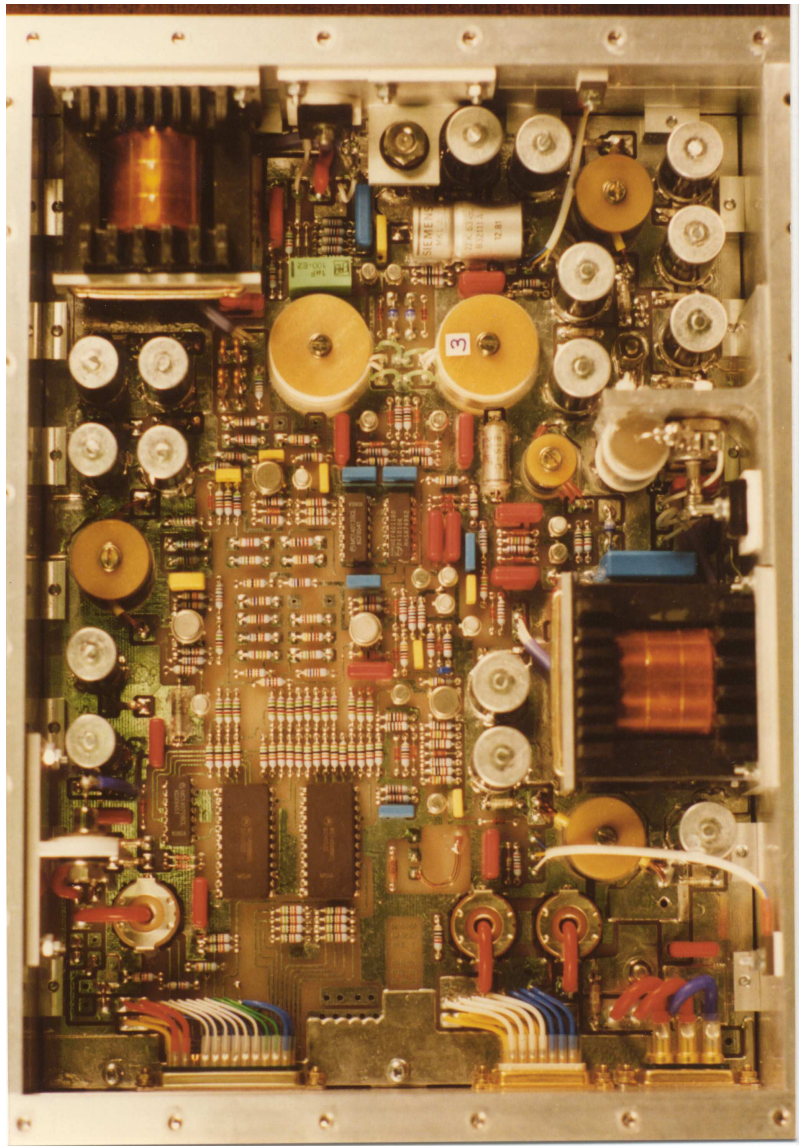
# Az alkatrészek ára

Alkatrész fajta	Típuszám	Minősítés	Minősített alk. ára	Ipari kivitel ára	Árarány
Feszültség referencia	LM185H-1,2	QML-V	281 €	5,26 €	53x
Műveleti erősítő	LM158AH	QML-V 100krad	263 €	14,52 €	18x
Komparátor	LM193AH	QML-V 100krad	274 €	6,39 €	43x
Időzítő IC	SE555	JANB	11 \$	1 \$	11x
Bipoláris tranzisztor	2N222A	JANTXV JANS	6,86 € 56,6 €	1,43 €	5x 40x
MOSFET 60V/30A	2N7424	JANS	1177 \$	4,8 \$ (IRF7749)	245x
Jeldióda 100V/300mA	1N6642	JANS	62 \$	0,2 \$ (1N4148)	310x
Teljesítmény dióda Schottky 100V/20A	1N6844	JANS	318 \$	1,44 € (VB20100S)	220x

# Egy másik irányzat

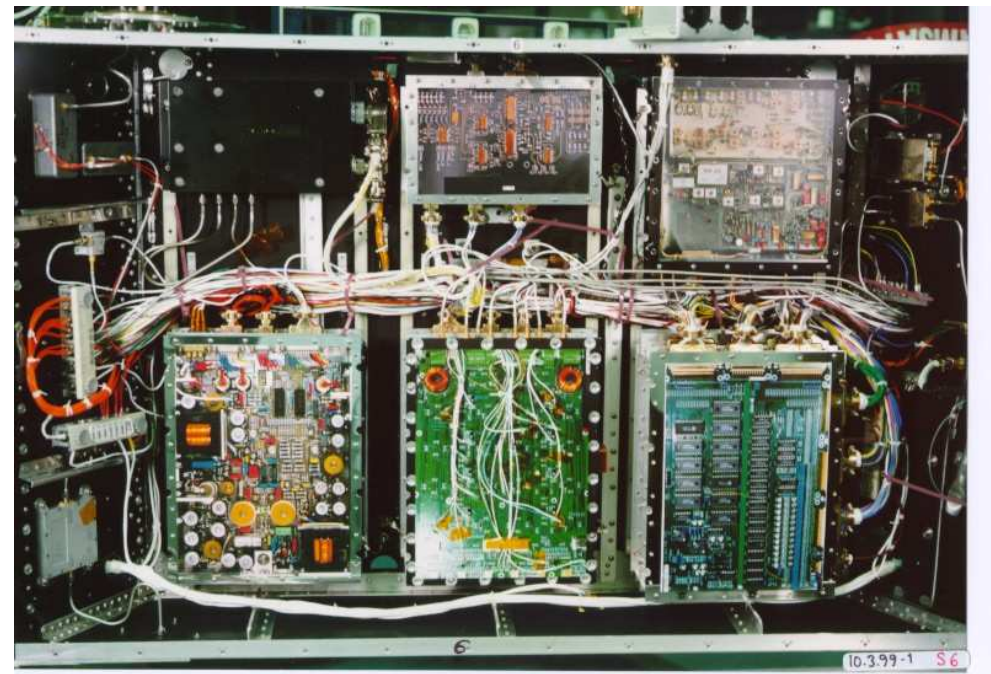
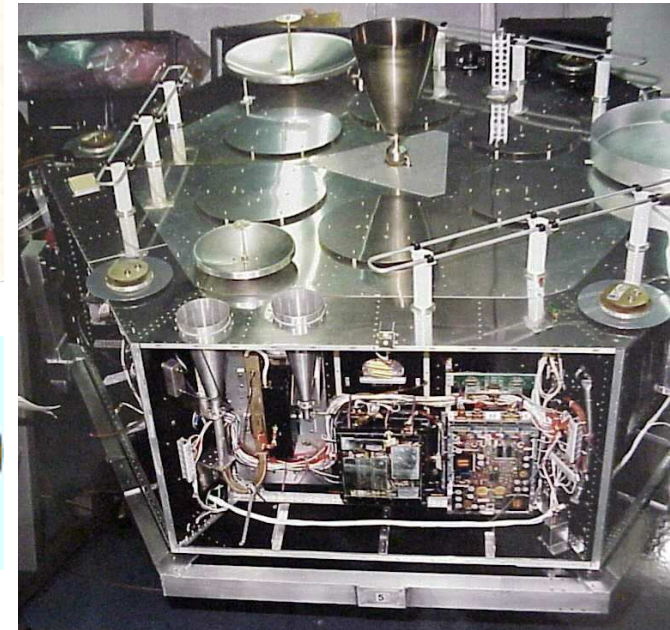
- Nem használ aránytalanul drága alkatrészeket
- Nagy szériában gyártott, ismert, ha lehet QM-től (Qualified Maker) származó, ipari, autóipari alkatrészek használata
- Korábban már használt, bevált, maradék eszközök, vagy azonos sorozat alkalmazása
- Megbízható helyről történő beszerzés
- Házilag végzett minősítés
- Szigorúbb házi szabályok az igénybevételre

# AMSAT OSCAR-40



BCR 250W és 10V-C 150W

2015.10.30.



Alkatrészek kiválasztása

20/24



# Segédanyagok

- Szigetelés, rögzítés
  - TEFLON®
  - KAPTON®
  - Szilikon termékek
    - Csövek, gumilemezek
    - Ragasztók (kétkomponensű RTV2)
  - Műgyanták, impregnáló lakkok, conformal coating
  - Rozsdamentes anyagból készült kötőelemek
- Forrasztás
  - Sn60Pb40, Sn62Pb36Ag2, Sn63Pb37, In50Pb50
  - Gyanta alapú folyasztószer
- Tisztítás
  - Izopropil alkohol

# Ellenőrző kérdések:

1. Milyen főbb szempontokat kell figyelembe venni az űrelektronikai alkatrészek választása során?
2. Hogy néz ki az elektromos alkatrészek megbízhatóságára jellemző hibaarány/idő diagram általános menete, és milyen jellemző szakaszai vannak?
3. Hogy számítható ki egy diszkrét alkatrész meghibásodási aránya általánosan a MIL-HDBK-217F alapján. Milyen konkrét korrekciós tényezőket ismer?
4. Milyen lehetőségek vannak egy alkatrész megbízhatóságának növelésére a MIL-HDBK-217F tükrében?
5. A sugárzáson kívül milyen környezeti hatásokat kell figyelembe venni, és milyen módon lehet kiküszöbölni illetve csökkenteni ezek hatását az űreszközök alkatrészeinek megfelelő választásával?
6. Miért veszélyes a tiszta ón bevonatú eszközök alkalmazása az űrben?
7. Milyen elveket és módszereket lehet alkalmazni egy műhold elektromos alkatrészeinek választása során, ha a költségvetés nem teszi lehetővé űrminősített eszközök vásárlását?

# Köszönöm a figyelmet!

