



**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ,
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ και ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ**

**M802 Fundamentals of Satellite Systems &
Subsystems**

**Διάλεξη 10
Υποσυστήματα Ισχύος & Διαχείρισης
Δεδομένων
10.1.23**

Καθ. Β. Λάππας

Email: vlappas@upatras.gr



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ**
UNIVERSITY OF PATRAS



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

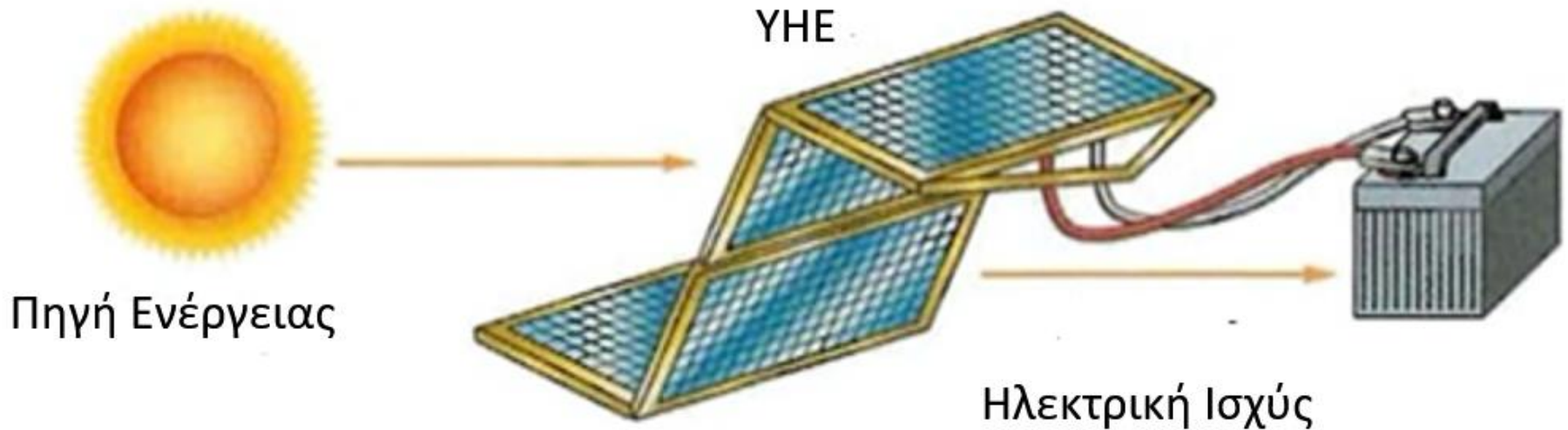
Περιεχόμενα Μαθήματος M802

- **Εβδομάδα 1:** Εισαγωγή στην Διαστημική. Ιστορία του Διαστήματος. Διαστημικές Αποστολές, οικονομία του Διαστήματος.
- **Εβδομάδα 2:** Διαστημικό Περιβάλλον, Ταχύτητα Διαφυγής
- **Εβδομάδα 3/4:** Διαστημικοί Φορείς, Εξίσωση Tsiolkovsky
- **Εβδομάδα 5-6:** Υποσυστήματα Δορυφόρων – Προσδιορισμός/Υπολογισμός Προσανατολισμού I, II
- **Εβδομάδα 7/8:** Τροχιακή Μηχανική
- **Εβδομάδα 9:** Υποσυστήματα Δορυφόρων – Δομές και Μηχανισμοί
- **Εβδομάδα 10:** Υποσυστήματα Δορυφόρων – Ισχύς και Αποθήκευσης/Διανομής Δεδομένων
- **Εβδομάδα 11:** Υποσυστήματα Δορυφόρων – Θερμικής Προστασίας, Τηλεπικοινωνιών/Ζεύξεων

Υποσυστήματα Ηλεκτρικής Ισχύος (ΥΗΙ)



Υποσύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΥΗΕ)



- Το ΥΗΕ παίρνει την ενέργεια από τον Ήλιο (πηγή) και την μετατρέπει σε ηλεκτρική ισχύ σε μορφή που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα όργανα και υποσυστήματα του δορυφόρου



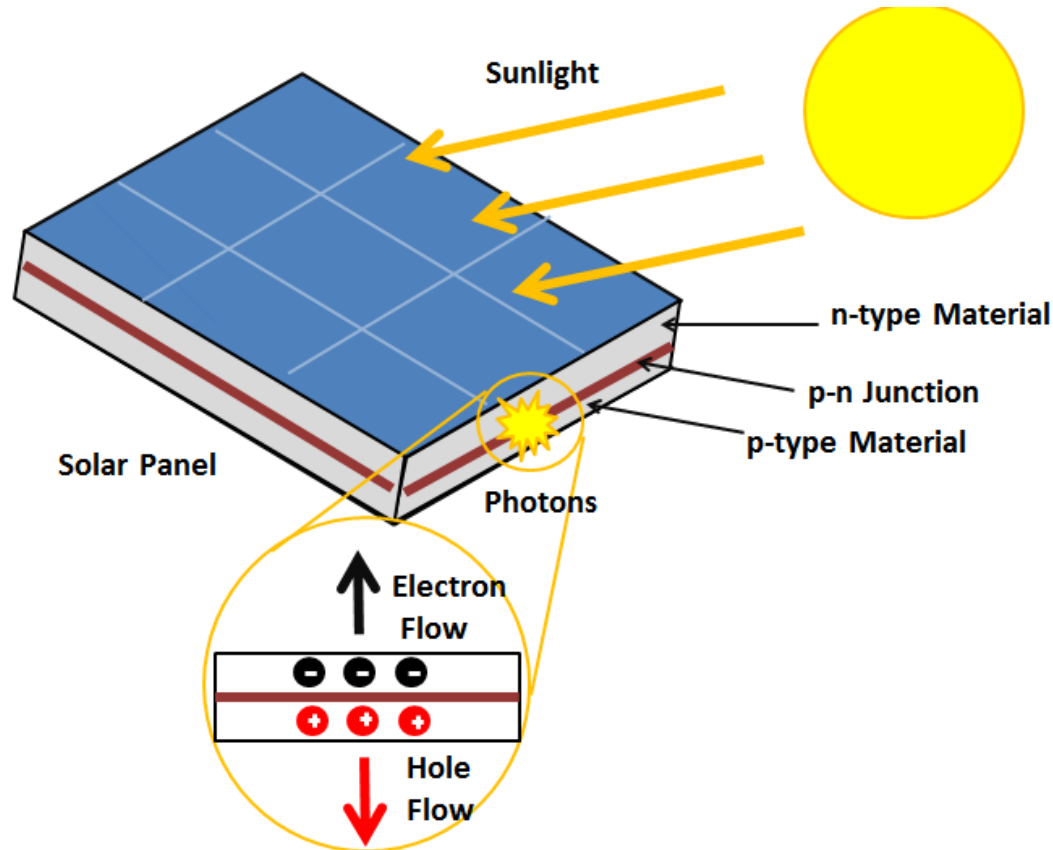
Υποσυστήματα Ηλεκτρικής Ισχύος (ΥΗΙ)

- Συστήματα ισχύος απαιτούνται για τη λειτουργία των δορυφορικών ηλεκτρονικών συστημάτων και των ωφέλιμων φορτίων, που περιλαμβάνουν:
 - Μετατροπή κύριας ενέργειας
 - Chemical - μπαταρίες (πύραυλος)
 - Nuclear - θερμοηλεκτρικό ραδιοϊσοτόπο
 - Solar - φωτοβολταϊκά «ηλιακά» κύτταρα/Ηλιακές συστοιχίες
- Αποθήκευση ισχύος/ενέργειας – Συσσωρευτές/μπαταρίες
 - Νικέλιο-Κάδμιο
 - Νικέλιο-υδρογόνο
 - ιόντων λιθίου
 - NiMH Υδριδίου Νικελίου-Μετάλλου
- Διατήρηση/κατανομή ισχύος
 - Έλεγχος φόρτισης /εκφόρτισης μπαταρίας
 - Ρύθμιση τάσης
 - Μεταγωγή φορτίου & προστασία
 - Παρακολούθηση τάσης/ρεύματος

Υποσυστήματα Ηλεκτρικής Ισχύος (ΥΗΙ)

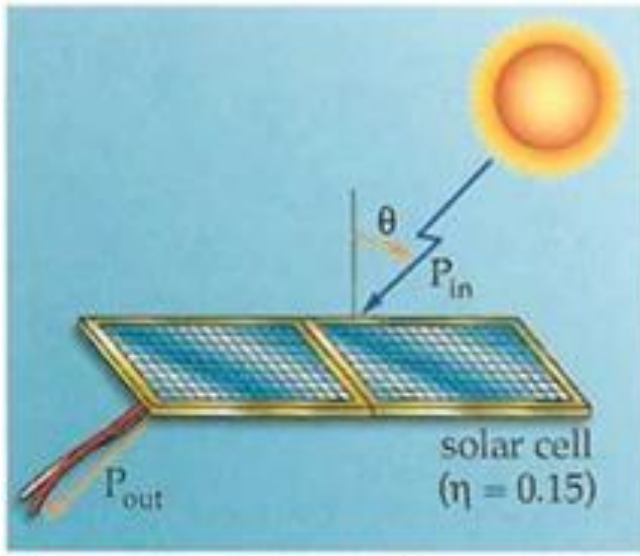
- ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ:
 - Ηλιακή σταθερά = 1353 Watt / τετρ.μέτρο
- Αποδοτικότητα φωτοβολταϊκής μετατροπής
 - Πυρίτιο = 12% έως 15.5%
 - Αρσενικό γάλλιο = 16% έως 20%
 - Φωσφίδιο ινδίου = 16% έως 20%
- Κόστος
 - Πυρίτιο = \$50 έως 75k/τετρ.μέτρο
 - Αρσενικό γάλλιο = \$200 έως 400k/τετρ.μέτρο
- Νέες κατασκευές
 - Παράλληλα κελιά
 - επαφές p-n πλάτη με πλάτη
 - GaAs στο Si
 - GaAs / Ge
 - για μείωση του βάρους και του κόστους
 - Κελιά τριπλής σύνδεσης, απόδοση 36%

Φωτοβολταικά – Αρχή Λειτουργίας



- Μια ηλιακή κυψέλη αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα από πυρίτιο, αρσενικό γάλλιο ή κάποιον άλλο ημιαγωγό.
- Καθώς τα φωτόνια προσκρούουν στην επιφάνεια του υλικού μεταδίδουν την ενέργειά τους στα άτομα της ηλιακής κυψέλης, απελευθερώνοντας κάποια ηλεκτρόνια των οποίων η κίνηση μειώνει την αντίσταση στην κυψέλη με αποτέλεσμα ελεύθερα ηλεκτρόνια να αρχίσουν να ρέουν.
- Έτσι έχουμε ρεύμα

Φωτοβολταικά – Αρχή Λειτουργίας



$$P_{out} = P_{in} \eta \cos \theta$$

P_{out} : πυκνότητα ισχύος εξόδου ηλιακής κυψέλης (W/m^2)

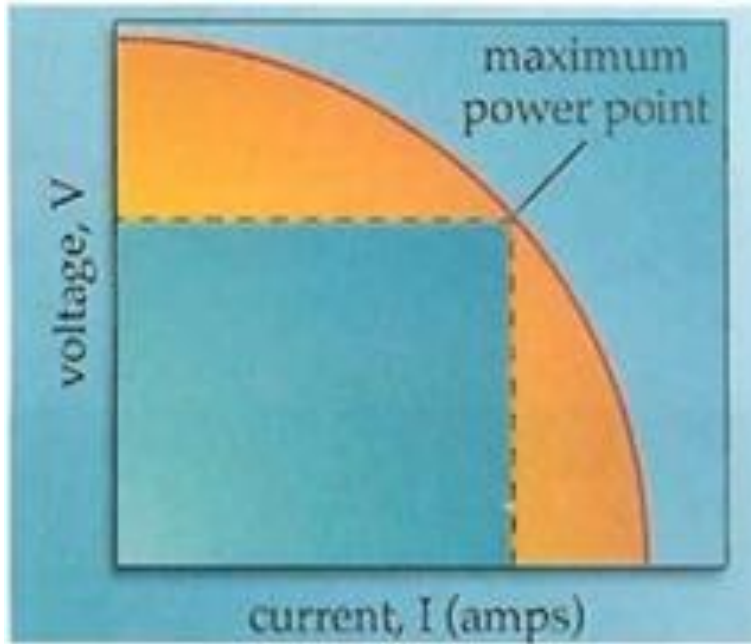
P_{in} : πυκνότητα ισχύος εισόδου ηλιακής κυψέλης (W/m^2)

η : απόδοση ηλιακής κυψέλης (τυπικά < 0.25)

θ : γωνία πρόσπτωσης (μοίρες ή ακτίνια)

- Το σχήμα δείχνει την ηλιακή ενέργεια καθώς «χτυπά» μια ηλιακή κυψέλη καθώς και τη γωνία πρόσπτωσης. Έτσι, η συνολική ισχύς εξόδου ενός ηλιακού στοιχείου εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ενέργειας (σε W/m), την απόδοση και τη γωνία πρόσπτωσης.

Καμπύλη Τάσης-Ρεύματος (I-V)



- Η ισχύς είναι συνάρτηση του ρεύματος και της τάσης. Όλα τα ηλιακά στοιχεία έχουν μια χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος / τάσης (καμπύλη I / V), όπως φαίνεται στο σχήμα
- Παρατηρήστε από αυτή την καμπύλη ότι υπάρχει περιορισμός μεταξύ του ρεύματος και της τάσης.
- Το σχήμα αυτής της καμπύλης για δεδομένη ηλιακή κυψέλη μπορεί να αλλάξει λόγω της θερμοκρασίας της, της ηλικίας και άλλων παραγόντων.
- Μπορούμε να φτάσουμε στη μέγιστη ισχύ εξόδου προσαρμόζοντας το ρεύμα και την τάση για να παραμείνουμε στην περιβάλλουσα της καμπύλης.

Ηλιακοί συλλέκτες/συστοιχίες (ΗΣ)

- Το 'καύσιμο' για φωτοβολταϊκή μετατροπή προέρχεται από τα φωτόνια που συλλαμβάνονται στα ηλιακά πάνελ του διαστημικού σκάφους / δορυφόρου.
- Οι ηλιακοί συλλέκτες που είναι σωστά προσανατολισμένοι προς τον Ήλιο μπορούν να παρέχουν ισχύ περίπου 130 W/m^2 και 50 W/kg .
- Επειδή τα ηλιακά κύτταρα που είναι τοποθετημένα στο σώμα του δορυφόρου, δεν θα είναι, γενικά, βέλτιστα προσανατολισμένα, μπορούν συνήθως να παρέχουν ισχύ από 30 έως 35 W/m^2 και 8 έως 12 W/kg .

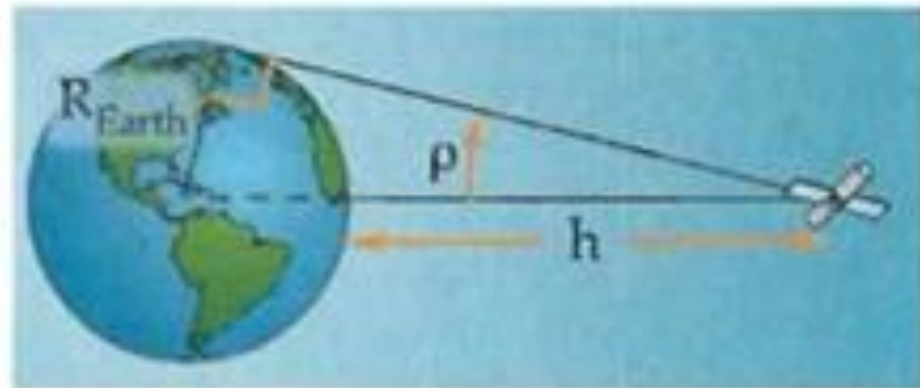




Ηλιακή Έκλειψη

- Ανάλογα με τη θέση και την τροχιά του δορυφόρου, θα υποβληθεί σε εκλείψεις στις οποίες τα ηλιακά πάνελ δεν θα μπορούν να λαμβάνουν επαρκή αριθμό φωτονίων για ηλεκτρική παραγωγή.
- Ειδικά για δορυφόρους σε LEO, θα υπάρχουν τακτικές εκλείψεις καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και μπορεί να χρειαστεί περίπου 40% ισχύς από τη μπαταρία για κάθε τροχιά. Κάθε έκλειψη μπορεί να διαρκέσει έως και 35 λεπτά.
- Σε τροχιές GEO, μια έκλειψη μπορεί να συμβεί σε ορισμένες εποχές και μπορεί να διαρκέσει για περίπου 72 λεπτά.

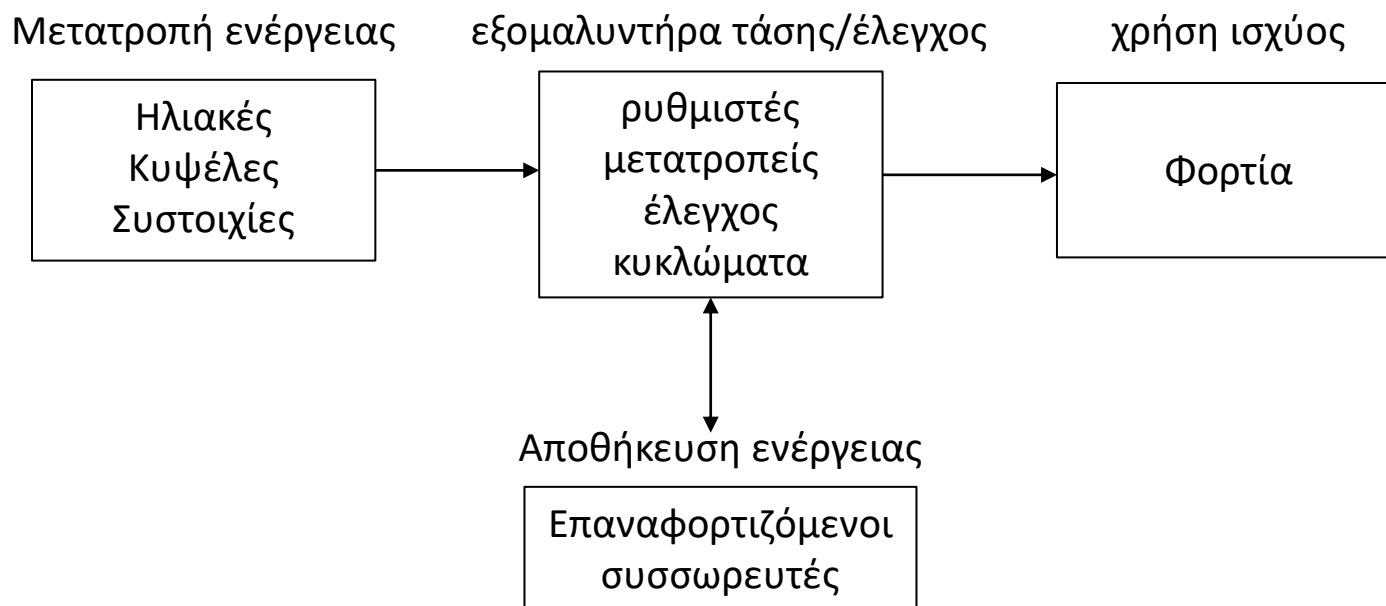
$$\rho = \sin^{-1} \left(\frac{R_{earth}}{h + R_{earth}} \right)$$



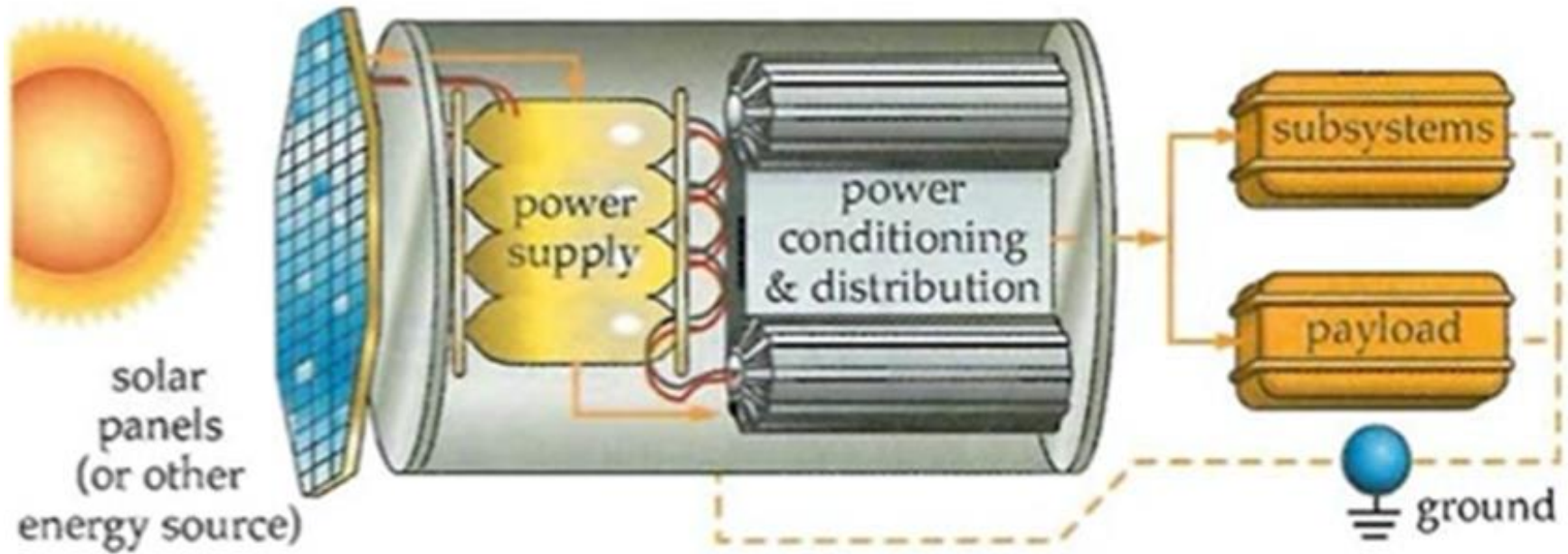
Παράμετροι απόδοσης για ηλιακές συστοιχίες / πάνελ

- Υπάρχουν δύο σχήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της απόδοσης μιας διαστημικής ηλιακής συστοιχίας.
 - Ισχύς ανά μονάδα μάζας (W/kg)
 - Ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας (W/m²)
- Οι τυπικές τιμές είναι – BOL (Beginning of Life) 30-40 W/kg και 90-110 W/m² - Το EOL (End of Life) μπορεί να διαφέρει στις συνθήκες του διαστήματος

Κύρια στοιχεία ΥΗΕ - ΒΑΣΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΙΣΧΥΟΣ



Αρχή λειτουργίας Υποσυστήματος ηλεκτρικής ισχύος



- Σε αυτό το παράδειγμα, το σύστημα μετατρέπει την πρωτογενή ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ισχύ (DC) εντός των ηλιακών κυψελών, όπως περιεγράφηκε προηγουμένως.
- Οι υπόλοιπες λειτουργίες ενός EPS σε δύο στάδια: 1) παροχή ενέργειας και 2) ρύθμιση και διανομή ενέργειας.

Στοιχεία συστήματος δορυφορικής ισχύος

- Τα δορυφορικά συστήματα ισχύος αποτελούνται από κύριες και δευτερεύουσες πηγές ενέργειας και ένα δίκτυο ελέγχου ισχύος που ρυθμίζει την κατανομή ισχύος.
- Η κύρια πηγή ενέργειας μετατρέπει τα καύσιμα σε ηλεκτρική ενέργεια. (ή φωτόνια στην ηλεκτρική ενέργεια)
- Απαιτείται δευτερεύουσα πηγή ενέργειας για την αποθήκευση ενέργειας και την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο δορυφορικό σύστημα και τα ωφέλιμα φορτία όταν το κύριο σύστημα δεν είναι διαθέσιμο.
- Απαιτείται δίκτυο ελέγχου ισχύος για την παροχή κατάλληλων επιπέδων τάσης-ρεύματος σε όλα τα φορτία του διαστημικού σκάφους όπως και όταν απαιτείται.



Κύρια συστήματα ισχύος

- Για την πλειονότητα των δορυφόρων, το κύριο σύστημα ισχύος αποτελείται από ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας (φωτοβολταϊκά-ηλιακές συστοιχίες)
- Μια ηλιακή συστοιχία είναι ένα συγκρότημα χιλιάδων ηλιακών κυψελίδων που συνδέονται έτσι ώστε να παρέχουν τα κατάλληλα επίπεδα ισχύος όπως απαιτείται για τη συγκεκριμένη λειτουργία του δορυφόρου.
- Τα ηλιακά συστήματα θα τροφοδοτήσουν το ωφέλιμο φορτίο και τα υποσυστήματα του δορυφόρου. Επίσης, πρέπει να παραχθεί επιπλέον ισχύς για φόρτιση.

Δευτερεύοντα συστήματα ισχύος

- Τα δευτερεύοντα συστήματα ισχύος είναι εκείνα τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παροχή ισχύος όταν η κύρια ισχύς δεν είναι διαθέσιμη.
- Ειδικά για δορυφόρους με ηλιακές συστοιχίες αυτό σημαίνει ότι οι μπαταρίες πρέπει να παρέχουν ισχύ κατά τη διάρκεια των εκλείψεων και ότι η συστοιχία πρέπει να επαναφορτίζει τις μπαταρίες στο φως του ήλιου. (πιο συχνά σε LEO)

Μπαταρίες σε δευτερεύοντα συστήματα ισχύος

- Η κύρια λειτουργία μιας λειτουργίας μπαταρίας σε δορυφόρους είναι ο τρόπος με τον οποίο η αξιοπιστία και η απόδοση φόρτισης σχετίζονται με τον έλεγχο της φόρτισης.
- Οι παράμετροι σπουδαιότητας για τις μπαταρίες περιλαμβάνουν:
 - Ρυθμός φόρτισης/αποφόρτισης
 - Βάθος αποφόρτισης μπαταρίας (ποσοστό της χωρητικότητας της μπαταρίας που αποφορτίστηκε κατά την έκλειψη)
 - Έκταση υπερφόρτισης
 - Θερμική ευαισθησία
 - Κλίσεις θερμοκρασίας

Τύποι Συσσωρευτών/μπαταριών σε δορυφόρους

- Στη δεκαετία του 1960, οι νικελίου καδμίου (NiCd) ήταν η κύρια τεχνολογία που χρησιμοποιούνταν για τους δορυφόρους και χρησιμοποιείται ακόμη σε κάποιο βαθμό και σήμερα για τους δορυφόρους LEO που απαιτούν χαμηλότερα επίπεδα ισχύος. Οι μπαταρίες NiCd είναι αξιόπιστες, απλές στη διαχείριση, έχουν χαμηλή αυτοεκφόρτιση και ισχυρή κληρονομιά στο χώρο του διαστήματος.
- Τη δεκαετία του 1990, οι μπαταρίες νικελίου-υδρογόνου (Ni-H₂) άρχισαν να αντικαθιστούν τις NiCd, ειδικά στους δορυφόρους GEO λόγω της υψηλής αναλογίας ενέργειας προς μάζα.
- Τώρα οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι το βασικό πρότυπο, σε συνδυασμό με υψηλότερη ενέργεια και καλύτερη απόδοση φόρτισης, αυτό επιτρέπει στον κατασκευαστή δορυφόρων να μειώσει το μέγεθος των ηλιακών συλλεκτών των δορυφόρων

Δορυφορικές τροχιές και μπαταρίες

- Η τροχιά του δορυφόρου έχει μεγάλη επίδραση στις μπαταρίες που θα πρέπει να υπάρχουν στον δορυφόρο.
- Οι δορυφόροι LEO χρειάζονται περίπου 90 λεπτά για να περιστραφούν γύρω από τη γη. Σε αυτήν τη θέση, ο δορυφόρος βρίσκεται σε έκλειψη για 30 έως 40 λεπτά την ημέρα, και οι μπαταρίες αντέχουν περίπου 5.000 κύκλους το χρόνο.
- Οι δορυφόροι GEO χρειάζονται 24 ώρες για να περισταφούν γύρω από τη γη. και όταν βρίσκονται σε έκλειψη (δύο φορές το χρόνο από 45 ημέρες), χρησιμοποιούν μπαταρίες για 0 έως 72 λεπτά την ημέρα. Οι μπαταρίες για τέτοιους δορυφόρους GEO - που χρησιμοποιούνται κυρίως για τηλεπικοινωνίες, στρατιωτικά και μετεωρολογικά συστήματα - πρέπει να διαρκούν 15 έως 18 χρόνια.

Σημασία του βάθους εκφόρτισης (DOD)

- Το βάθος εκφόρτισης (DOD) μπορεί να καθορίσει τη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας σε έναν δορυφόρο. 100% DOD σημαίνει πλήρη αποφόρτιση.
- Για να διατηρηθεί η λειτουργία της μπαταρίας, απαιτείται μικρότερο βάθος εκφόρτισης.
- Το 20% DOD χρησιμοποιείται συνήθως για μπαταρίες NiCd στο διάστημα με εγγύηση 5 ετών ζωής σε LEO.
- Δεδομένου ότι οι δορυφόροι GEO θα υποστούν λιγότερες εκλείψεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί υψηλότερο DOD.
- Το DOD καθορίζει επίσης τη μάζα λόγω του απαιτούμενου αριθμού μπαταριών. Εάν ένας δορυφόρος απαιτεί 2 kW ισχύος, τότε η μάζα της μπαταρίας θα κυμαίνεται από 50 kg έως 100 kg σε 100% DOD και από 250 kg έως 500 kg σε 20% DOD (επειδή χρειάζεστε περισσότερες μπαταρίες για την ίδια λειτουργία).

Σχεδιασμός Ηλιακής Συστοιχίας

- Η μάζα της ηλιακής συστοιχίας πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις απαιτήσεις φόρτισης της μπαταρίας μαζί με τις απαιτήσεις φορτίου.
- Εάν ο δορυφόρος απαιτεί 2kW για τη λειτουργία και η ενέργεια που καταναλώνεται από τις μπαταρίες από τα φορτία κατά τη διάρκεια της έκλειψης είναι 2kW-hr, τότε η συστοιχία πρέπει να είναι σε θέση να παράγει περίπου 3 kW ισχύος.
- Έτσι, η μάζα της ηλιακής συστοιχίας σε αυτό το παράδειγμα θα είναι περίπου 85 έως 120 kg
- Τα τωρινά άκαμπτα ηλιακά πάνελ στους δορυφόρους των ΗΠΑ έχουν συγκεκριμένη ισχύ από 15W / kg έως 30 W / kg.
- Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η έκθεση της ηλιακής συστοιχίας στη θερμοκρασία.

Διαχείριση και διανομή ισχύος

Power management and Distribution (PMAD)

- Το υποσύστημα Διαχείριση και διανομής ισχύος (PMAD) αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του σχεδιασμού συστήματος ισχύος για δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη.
- Τα ηλεκτρονικά φορτία εντός του δορυφόρου χρειάζονται διαφορετικές τάσεις για να λειτουργήσουν και πρέπει να ικανοποιηθούν ειδικές απαιτήσεις ισχύος για διάφορα εξαρτήματα κατά τη διάρκεια της αποστολής. Οι πρώτοι δορυφόροι χρησιμοποίησαν 28 V DC.
- Το PMAD θα χειριστεί όλα αυτά, όπως τον έλεγχο και την παρακολούθηση των μπαταριών, την παρακολούθηση της υποβάθμισης των ηλιακών συστοιχιών και την αλλαγή του συστήματος διανομής φορτίου.



Πώς να σχεδιάσετε το σύστημα ισχύος για δορυφόρους;

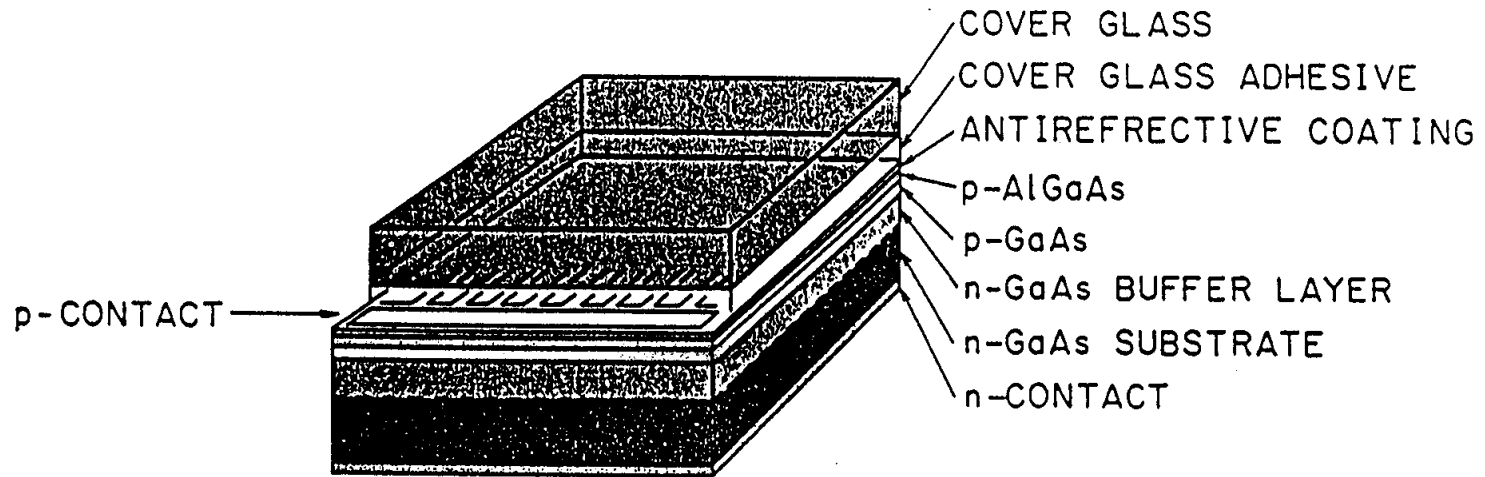
- Υπολογισμός της ακριβούς τροχιάς του δορυφόρου
- Εκ των προτέρων προσδιορισμός του προσανατολισμού του δορυφόρου
- Οι απαιτήσεις του σκοπού του δορυφόρου (επικοινωνίες, καιρός, GPS κ.λπ.)
- Τυχόν επιπλέον ωφέλιμα φορτία που υπάρχουν στο δορυφόρο
- Υπολογισμός της απαιτούμενης ηλιακής συστοιχίας
- Υπολογισμός των απαιτήσεων για μπαταρίες
- Σχεδιασμός του συνολικού συστήματος παροχής ισχύος σε κάθε στοιχείο

Υπολογισμοί σχεδιασμού υποσυστήματος ισχύος

- Θα είναι απαραίτητο να υπολογίσετε τις βασικές απαιτήσεις ισχύος για τον δορυφόρο λαμβάνοντας υπόψιν:
 - Τις προδιαγραφές της αποστολής και του ωφέλιμου φορτίου,
 - Τη μέθοδο σταθεροποίησης (καθώς επηρεάζει την ηλιακή συστοιχία), - ο τύπος των ηλιακών κυψελών που χρησιμοποιούνται,
 - Την ακαμψία ή την ευελιξία της ηλιακής συστοιχίας
 - Την τροχιά για τον προσδιορισμό των χρόνων έκλειψης, της μάζας της μπαταρίας και των απαιτήσεων της μπαταρίας.
 - Τις πιθανές απώλειες στο σύστημα

Υποσυστήματα ισχύος διαστημικού σκάφους

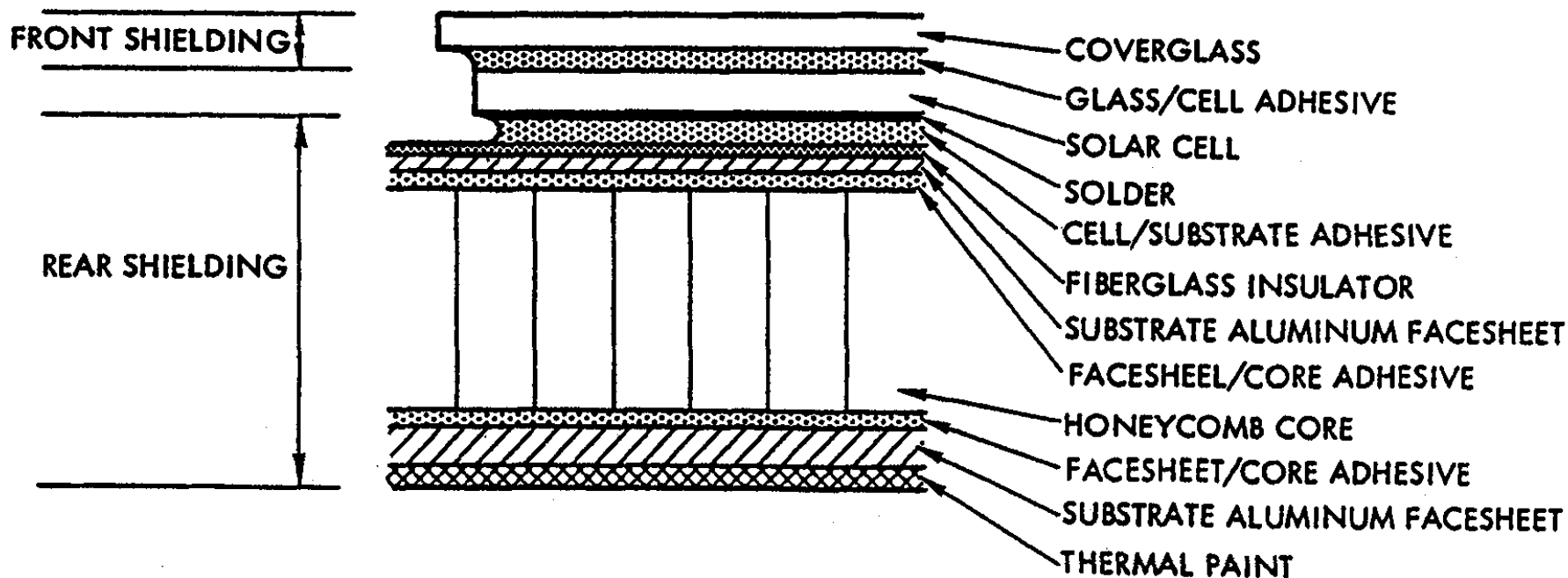
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ – ΗΛΙΑΚΟ ΚΕΛΙ



◦ AlGaAs/GaAs Heteroface Structure

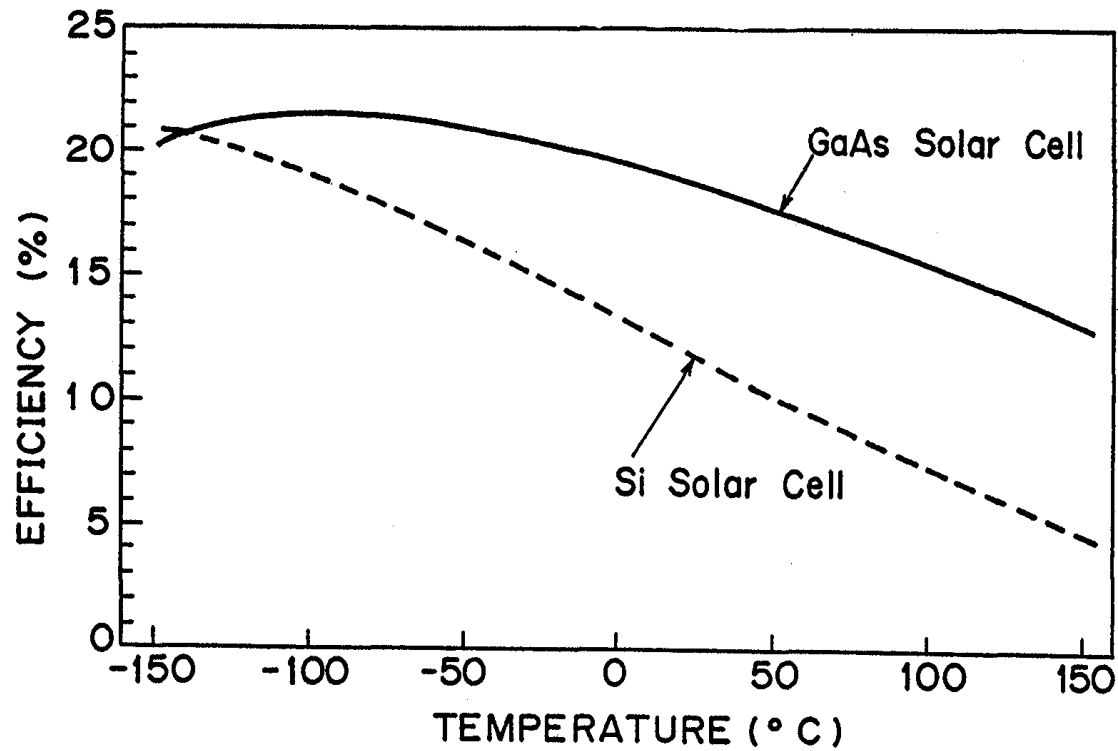
Υποσυστήματα ισχύος διαστημικού σκάφους

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ – ΗΛΙΑΚΟ ΚΕΛΙ



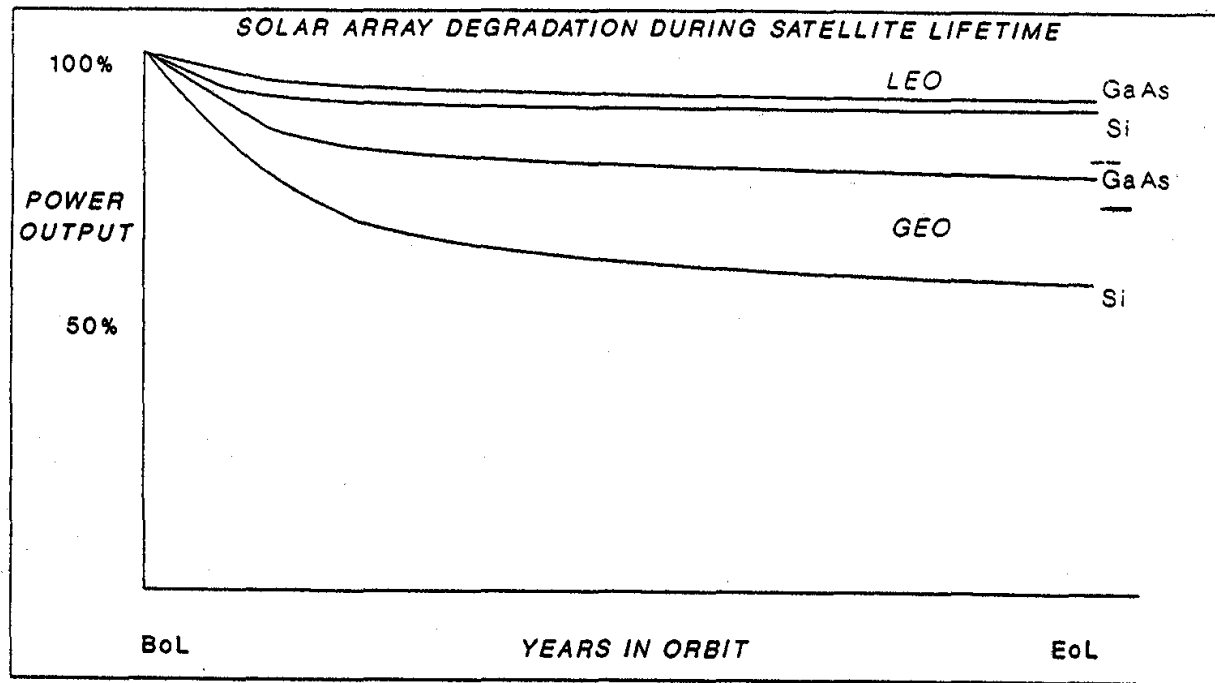
Υποσυστήματα ισχύος διαστημικού σκάφους

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ – ΗΛΙΑΚΟ ΚΕΛΙ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ



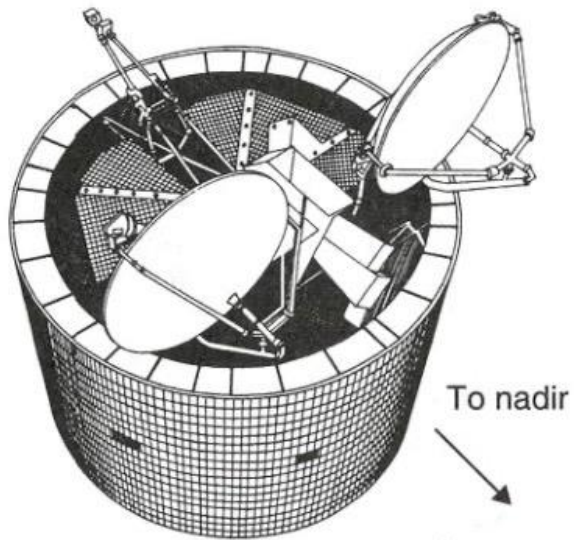
Υποσυστήματα ισχύος διαστημικού σκάφους

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ – ΗΛΙΑΚΟ ΚΕΛΙ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

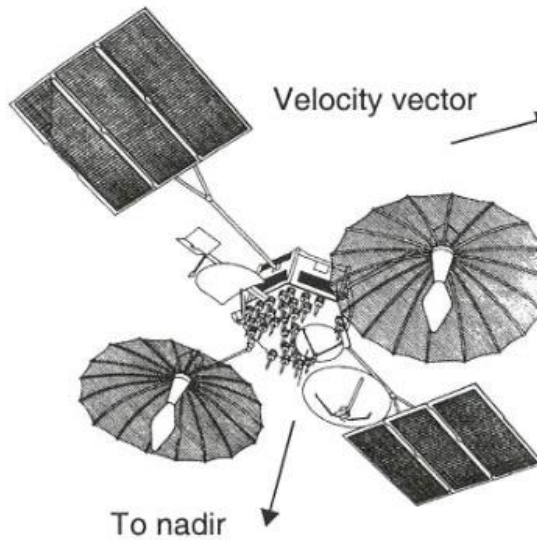


Διαμορφώσεις Ηλιακών Συστοιχιών

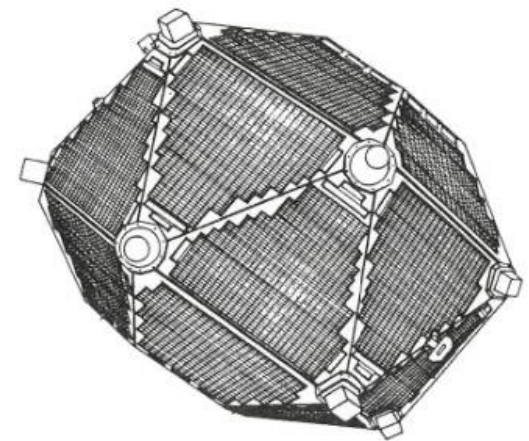
DSCS II



TDRS



VELA



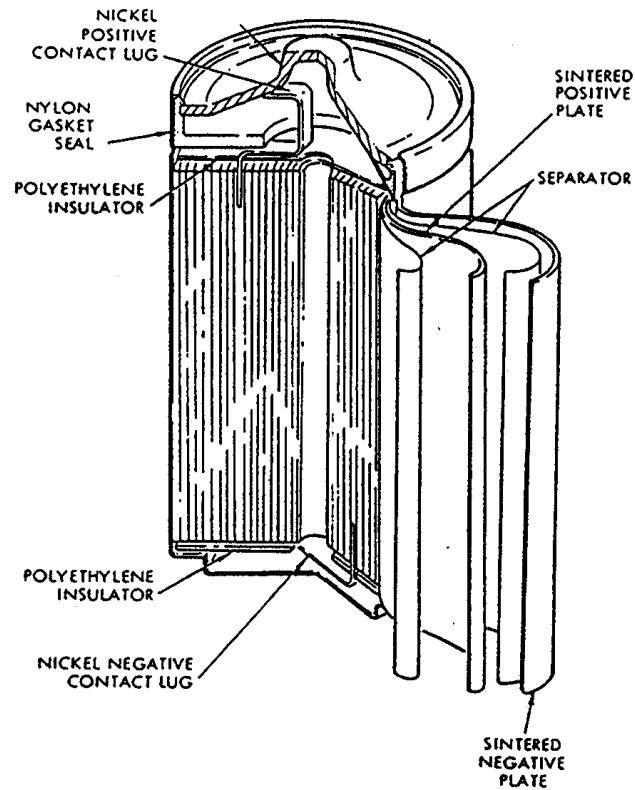
Υποσυστήματα ισχύος διαστημικού σκάφους

Αποθήκευση ισχύος

- Οι ενσωματωμένες δευτερεύουσες «επαναφορτιζόμενες» μπαταρίες παρέχουν ισχύ σε υποσυστήματα διαστημικών σκαφών κατά τις περιόδους έκλειψης και ως απόκριση στην αιχμή της ζήτησης που υπερβαίνει την ικανότητα ηλιακής συστοιχίας.
- Οι γεωστατικοί δορυφόροι βιώνουν δύο «εποχές» έκλειψης την Άνοιξη και το Φθινόπωρο - συνολικά 90 εκλείψεις ετησίως διάρκειας έως 72 λεπτών η καθεμία.
- Οι δορυφόροι LEO αντιμετωπίζουν πολλές περισσότερες εκλείψεις, ανάλογα με τη διαμόρφωση της τροχιάς, π.χ.
 - 550 χλμ πολική ηλιοσύγχρονη τροχιά 12 π.μ.-μ.μ.
 - 15 εκλείψεις κάθε μέρα
 - Διάρκειας 30 λεπτών
 - 5500 εκλείψεις κάθε χρόνο

Υποσυστήματα ισχύος διαστημικού σκάφους

Νικελίου καδμίου κατασκευή

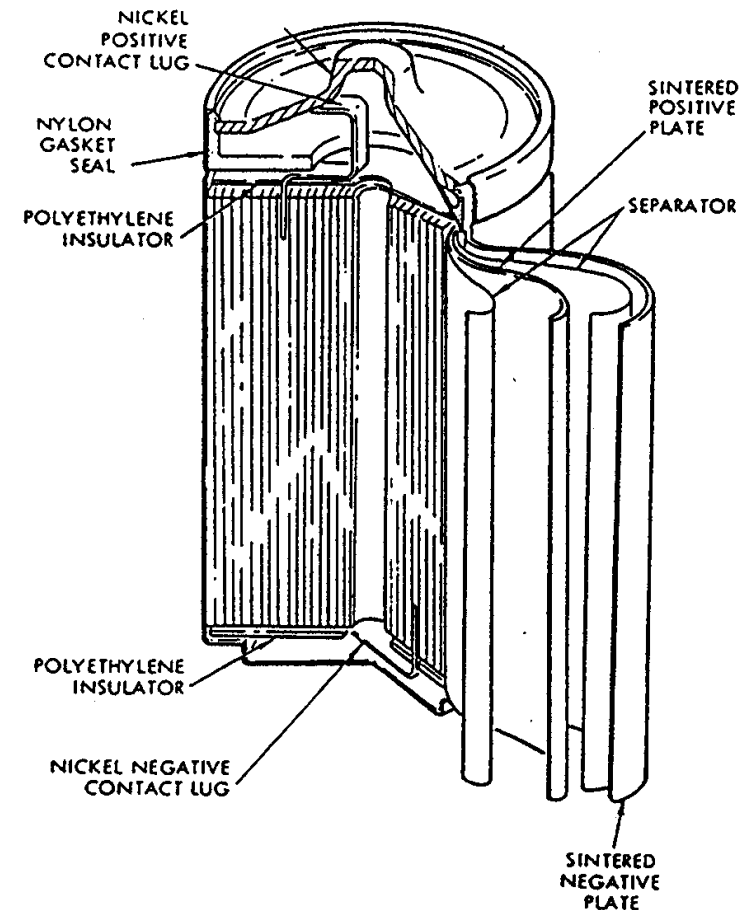


Υποσυστήματα ισχύος διαστημικού σκάφους

- Κριτήρια επιλογής μπαταρίας
 - Διάρκεια κύκλου ζωής
 - Βάθος αποφόρτισης (DOD)
 - Μάζα, ενεργειακή πυκνότητα (WHr / Kg)
 - Τάση
 - Εύρος θερμοκρασίας
 - Χωρητικότητα αποθήκευσης (Ampere-Hours, A.Hr)
 - Χρησιμοποιούμενη μέθοδος φόρτισης
 - Προστασία μπαταρίας

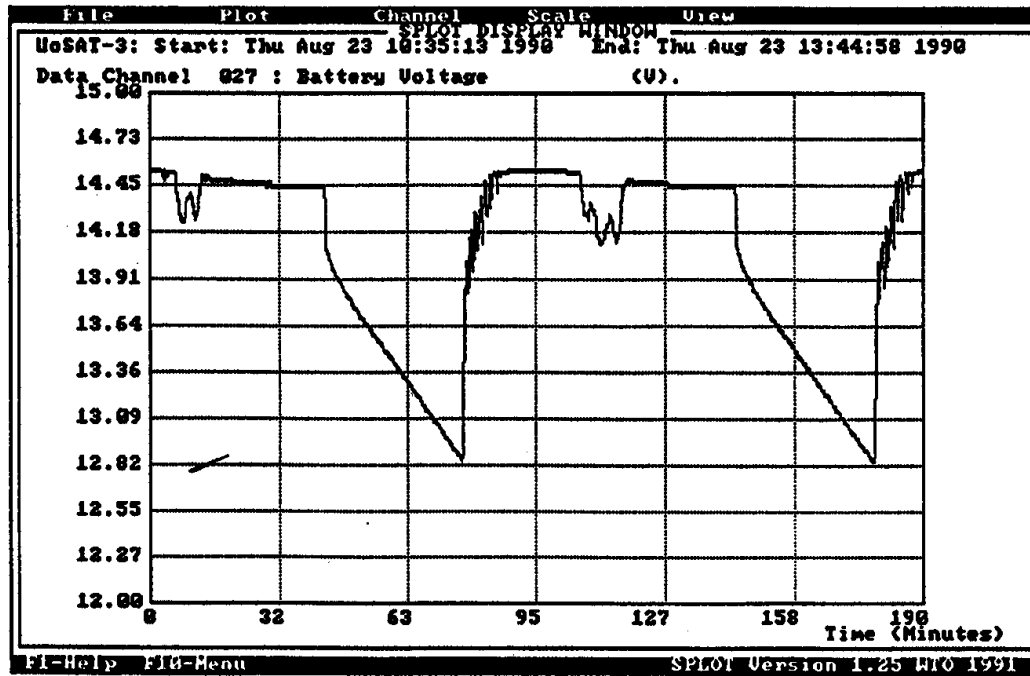
Υποσυστήματα ισχύος διαστημικού σκάφους

- Έλεγχος ισχύος, ρύθμιση και διανομή
- Γιατί τη χρειαζόμαστε;
 - Η ισχύς από την ηλιακή συστοιχία κυμαίνεται ανάλογα με τη γωνία φωτισμού και την έκλειψη
 - Η τάση της μπαταρίας κυμαίνεται ανάλογα με την κατάσταση φόρτισης
 - Τα υποσυστήματα του διαστημικού σκάφους και τα ωφέλιμα φορτία απαιτούν γενικά σταθερές τάσεις και απομόνωση από τα άλλα συστήματα
 - Είναι απαραίτητο να παρακολουθούνται και να ενεργοποιούνται / απενεργοποιούνται τα φορτία του διαστημικού σκάφους



Υποσυστήματα ισχύος διαστημικού σκάφους

Μη ρυθμιζόμενη τάση μπαταρίας (UoSAT-3)



Διαδικασία Σχεδιασμού Ηλιακής Συστοιχίας

(1 & 2) Υπολογίστε την ισχύ των ηλιακών συστοιχιών

$$\frac{P_d T_d}{X_d} + \frac{P_e T_e}{X_e} = P_{sa} T_d$$

P_{sa} : ισχύς που παράγεται από ηλιακή συστοιχία

P_e και P_d : φορτία ισχύος κατά την έκλειψη και το φως της ημέρας

T_e και T_d : χρόνος σε κάθε τροχιά που δαπανάται σε έκλειψη και στο φως της ημέρας

X_d : απόδοση ισχύος από ΗΣ απευθείας σε φορτία (συνήθως 0.85)

X_e : απόδοση ισχύος από ΗΣ για φόρτιση μπαταρίας και από μπαταρία σε φορτία (συνήθως 0.65)

Διαδικασία Σχεδιασμού Ηλιακής Συστοιχίας

(3/4) Προσδιορισμός μεγέθους συστοιχίας για συγκεκριμένη ισχύ

$$P_{BOL} = \underbrace{(Flux)(\zeta)}_{P_0} (I_d) \cos \theta \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

P_0 : πυκνότητα ισχύος εξόδου από τα κελιά

$Flux$ ή P_i : πυκνότητα ισχύος εισόδου ($watt/m^2$)

ζ ή η : απόδοση υλικού ηλιακού κελιού

P_{BOL} : πυκνότητα ισχύος που δημιουργεί η ΗΣ στο ξεκίνημα της ζωής του

P_{EOL} : πυκνότητα ισχύος που δημιουργεί η ΗΣ στο τέλος της ζωής του

I_d : εγγενής υποβάθμιση

θ : γωνία πρόσπτωσης ηλιακής ακτίνας

Διαδικασία Σχεδιασμού Ηλιακής Συστοιχίας

(5) Λαμβάνουμε υπόψιν την υποβάθμιση λόγω έκθεσης στο διαστημικό περιβάλλον

$$P_{EOL} = P_{BOL} L_d = P_{BOL} \left(1 - \frac{\text{degradation}}{\text{year}} \right)^{\text{lifetime in years}} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

P_{EOL} : πυκνότητα ισχύος που δημιουργεί το S/A στο τέλος της ζωής του
 L_d : υποβάθμιση διάρκειας ζωής

Τυπική υποβάθμιση / έτος:

- 0.0375 για πυρίτιο σε LEO
- 0.0275 για GaAs στο LEO

$$P_{BOL} = (Flux)(\zeta)(I_d) \cos \theta \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Διαδικασία Σχεδιασμού Ηλιακής Συστοιχίας

(6) Βρείτε το μέγεθος της ηλιακής συστοιχίας που απαιτείται στο τέλος της ζωής

$$A_{sa} = \frac{P_{sa}}{P_{EOL}} [m^2]$$

Αντικαθιστώντας στις προηγούμενες εξισώσεις

$$A_{sa} = \frac{\frac{P_d T_d + P_e T_e}{X_d + X_e}}{(Flux)(\zeta)(I_d) \cos \theta L_d} [m^2]$$

Διαδικασία σχεδιασμού μπαταρίας

Η εξίσωση για την χωρητικότητα της μπαταρίας:

$$C_r = \frac{P_e T_e}{(DOD) N n} \quad [W \cdot hr]$$

C_r : συνολική χωρητικότητα μπαταρίας

P_e : μέσο φορτίο έκλειψης (watts)

T_e : διάρκεια έκλειψης (hr)

DOD : βάθος αποφόρτισης ($0 \leq DOD \leq 1$)

N : αριθμός μπαταριών (τουλάχιστον δύο)

n : απόδοση μετάδοσης μεταξύ μπαταρίας και φορτίου (η τυπική τιμή είναι 0,9)

Διαδικασία σχεδιασμού μπαταρίας

Υπολογισμός DOD

$$\#Κύκλοι = (\#έτη \text{ ζωής}) \left(\frac{365.25 \text{ μέρες}}{\text{έτος}} \right) \left(\frac{24 \text{ ώρες}}{\text{ημέρα}} \right) \left(\frac{\#εκλίψεις}{\text{ώρα}} \right)$$

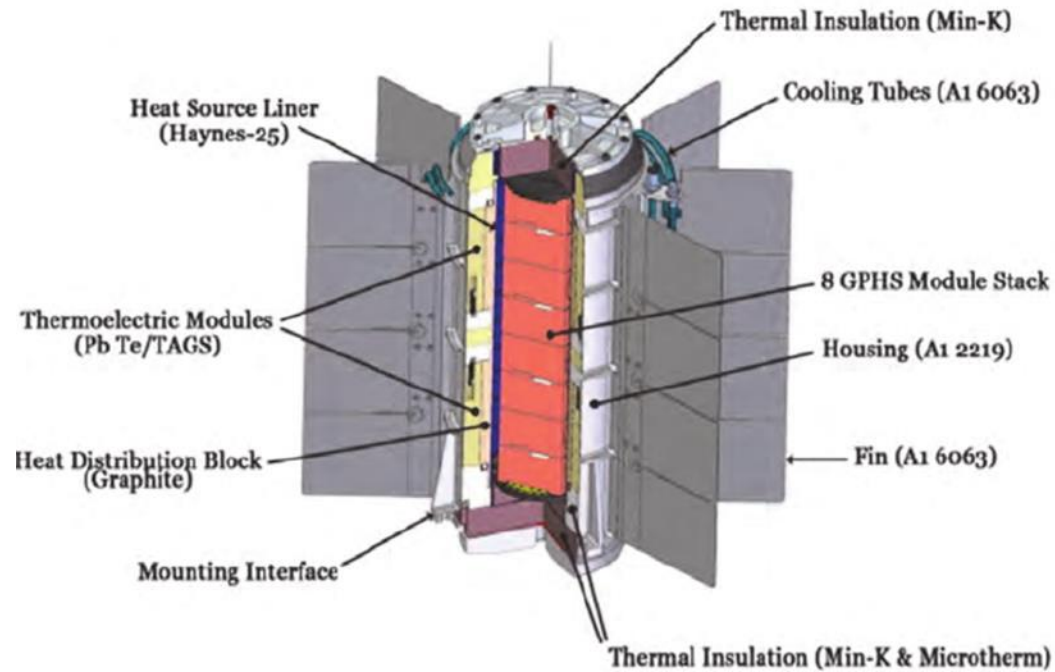
Χρήση δεδομένων πινάκων για να προσδιοριστεί το επιτρεπόμενο DoD

Υποσυστήματα ισχύος διαστημικού σκάφους

- Κυψέλες καυσίμου
 - Η χημική αντίδραση μεταξύ H_2 και O_2 δίνει ενέργεια και νερό.
- Πλεονεκτήματα:
 - Υψηλή αναλογία ισχύος / μάζας.
 - Παρα-προϊόν «Πόσιμο νερό».
- Μειονεκτήματα:
 - Περιορισμένη παροχή H_2 και O_2 .
 - Χρησιμοποιείται σε μικρής διάρκειας αποστολές (Διαστημικό λεωφορείο).

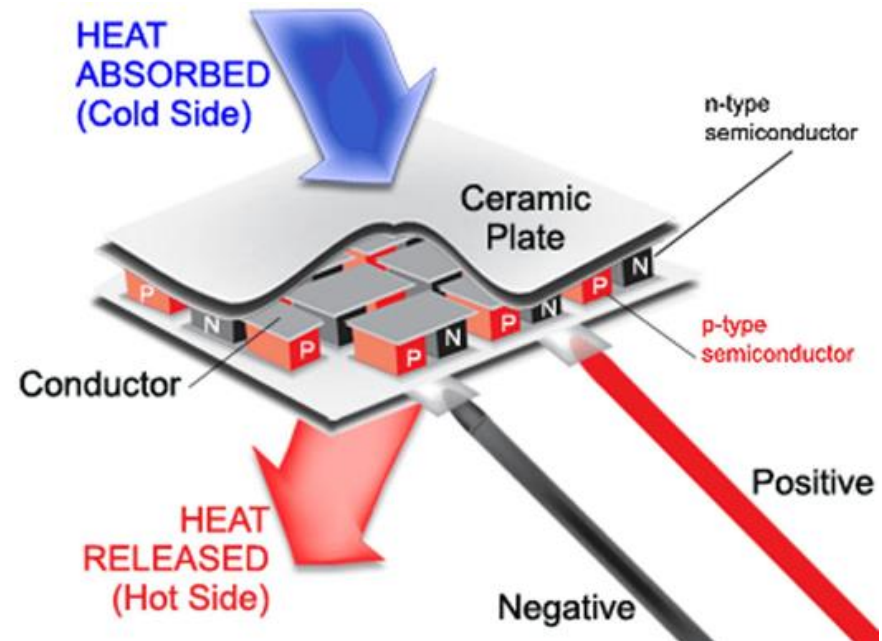
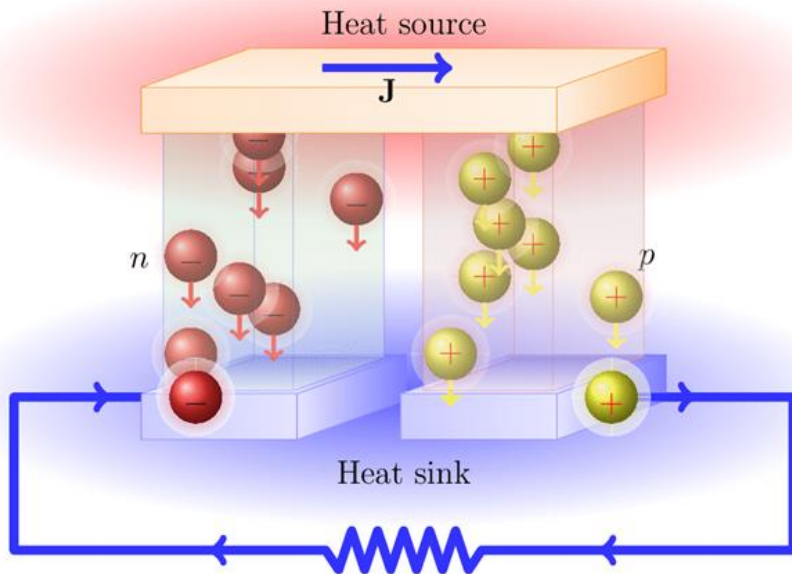
Υποσυστήματα ισχύος διαστημικού σκάφους

- Πυρηνική ενέργεια
 - Θερμοηλεκτρικές γεννήτριες ραδιοϊσοτόπων (RTGs).
 - Συστήματα θερμικής σχάσης.
- Πλεονεκτήματα:
 - Πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής
 - Πολύ υψηλή ισχύς
 - "Deep Space Missions"
- Μειονεκτήματα:
 - Επικίνδυνο, πολύπλοκο
 - Πολύ ακριβό



Υποσυστήματα ισχύος διαστημικού σκάφους

- Θερμοηλεκτρικές γεννήτριες ραδιοϊσοτόπων
 - Χρησιμοποιείται συχνά, βασίζεται στο φαινόμενο 'Seebeck'.
 - Χρησιμοποιείται σε διάφορες διαπλανητικές αποστολές.
 - Χρησιμοποιεί ενέργεια από φυσική αποσύνθεση ουρανίου ή πλουτωνίου.
 - Τα θερμοζεύγη μετατρέπουν τη θερμότητα σε ηλεκτρική ισχύ.

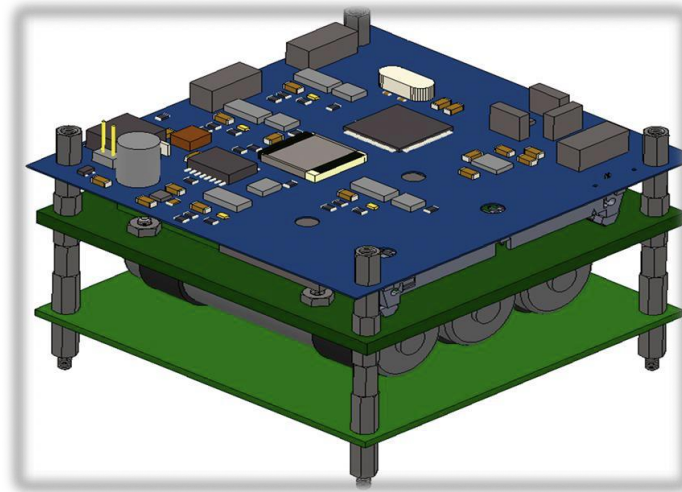




- Παράδειγμα 8.1 στο Κεφ 8, σελ 13
- ΚΕΦ 13 Understanding space



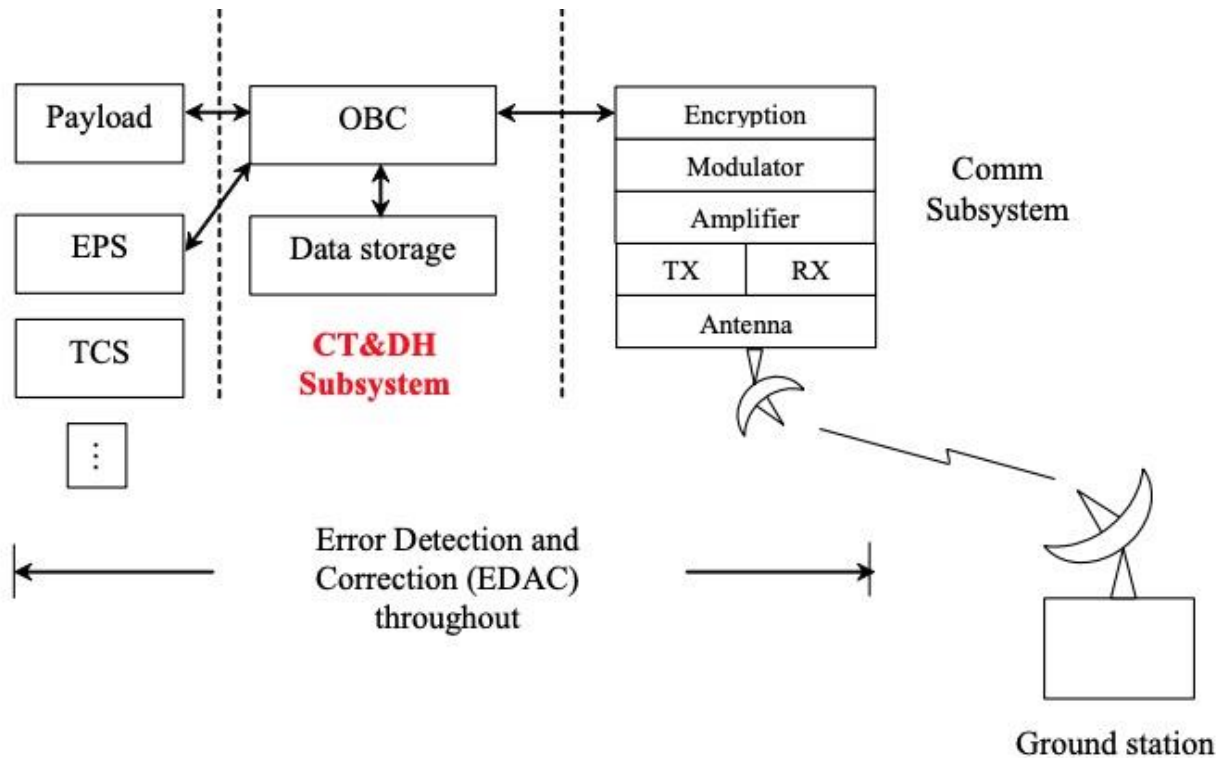
Υποσύστημα Διαχείρισης και Υπολογισμού Δεδομένων (ΥΔΥΔ)



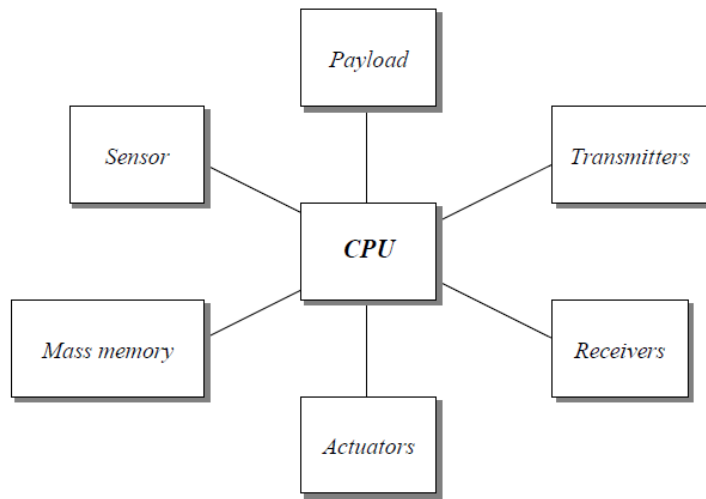
Υποσύστημα Διαχείρισης και Υπολογισμού Δεδομένων (ΥΔΥΔ)

- Στην καρδιά του OBDH βρίσκεται μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) και μια σχετική μνήμη αποθήκευσης, μαζί αποτελούν τον εγκέφαλο του δορυφόρου.
- Στη διαμόρφωση κατανεμημένου διαύλου, η CPU εξυπηρετείται από μια σειρά από απομακρυσμένες μονάδες τερματικού (RTU) - ένα σύνολο μίνι επεξεργαστών που εκτελούν τοπικές εργασίες ώστε ο διάλογος μεταξύ των λειτουργικών μονάδων και της CPU να λειτουργεί ομαλά.
- Με λειτουργικές μονάδες εννοούμε όργανα, αισθητήρες, ρελέ, ενεργοποιητές, συσκευές αποθήκευσης κ.λπ.

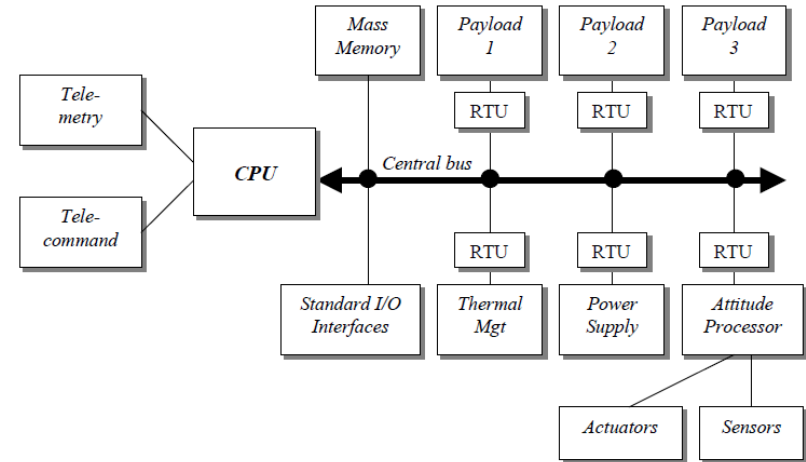
Διαχείριση δεδομένων – Εισαγωγή Λειτουργίες



ΥΔΥΔ - Αρχιτεκτονική



Κεντροποιημένο



Κατανεμημένο

On-board Υπολογιστές (OBCs)

- Μικροεπεξεργαστής
 - » Ισχυρός
 - » Επαναπρογραμματιζόμενος
 - » Μικρός
 - » Χαμηλής ενέργειας
 - Ελεγκτής
 - Επεξεργαστής δεδομένων
- Τυπικές χρήσεις στο διάστημα
 - » Μορφοποίηση τηλεμετρίας
 - » Προγραμματισμός εντολών
 - » Βρόχοι ελέγχου AOC
 - » Συλλογή δεδομένων
 - » Έλεγχος πειράματος
 - » Επεξεργασία επικοινωνιών
 - » Επεξεργασία εικόνας

Κίνδυνοι Υπολογισμών ΥΔΥΔ

- Λογισμικό
 - Δεν γίνονται αρκετές δοκιμές (πιστοποίηση/επιβεβαίωση)
 - Αρκετά περίπλοκο
- Υλικό
 - Υπόκειται σε αστοχία (π.χ. ακτινοβολία)
 - Επίσης πολύ περίπλοκο
- Αμφισβητήσιμη αξιοπιστία
- Υποστηρίζεται από τεράστια ισχύ και ταχύτητα.

Λειτουργίες Central Processing Unit (I)

- Προσανατολισμός κεραιών
- Ανάπτυξη κεραιών και ηλιακών συλλεκτών.
- Διατήρηση των ηλιακών πάνελ στραμμένα στον ήλιο. Ρύθμιση ισχύος με εναλλαγή σειρών ηλιακών συστοιχιών.
- Ενεργοποίηση τοπικών θερμαντήρων όπως απαιτείται στα υποσυστήματα ωφέλιμου φορτίου, μπαταρίας και πρόωσης.
- Εκτέλεση ελιγμών προσανατολισμού και τροχιάς σύμφωνα με οδηγίες που έχουν ήδη φορτωθεί από το έδαφος.
- Εναλλαγή μεταξύ περιττών μονάδων σε περίπτωση αποτυχίας μιας από αυτές.



Λειτουργίες Central Processing Unit (II)

- Διακοπή της αποστολής σε περίπτωση σοβαρών ανωμαλιών επί του σκάφους και τοποθέτηση του δορυφόρου σε ασφαλή προσανατολισμό και διαμόρφωση, εν αναμονή της διαγνωστικής ανάλυσης και της αποκατάστασης από το έδαφος.
- Λήψη, αποκωδικοποίηση και εκτέλεση τηλε-εντολών.
- Συλλογή, κωδικοποίηση και μετάδοση δεδομένων τηλεμετρίας στο τμήμα RF (τηλ/ων) του υποσυστήματος TT&C. (Τηλεπικοινωνίες, τηλεμετρίας και εντολών)



Εφεδρικοί Υπολογιστές (Πλεονασμός/Redundancy)

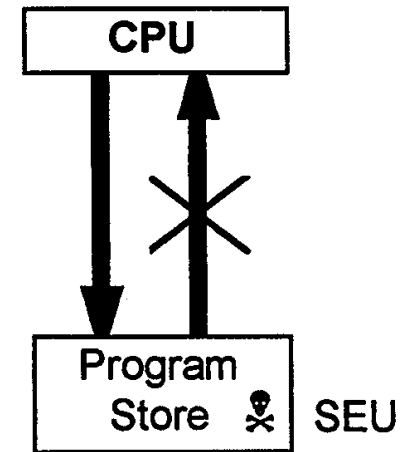
- Με τρεις εφεδρικούς υπολογιστές είναι δυνατόν να εισάγουμε ένα σύστημα ψηφοφορίας ώστε όταν οι δύο από αυτούς βρίσκονται σε συμφωνία να επικρατούν του τρίτου.
- Το διαστημικό λεωφορείο διαθέτει 4 ίδιους εφεδρικούς κύριους επεξεργαστές με ένα περίπλοκο σύστημα ψηφοφορίας.
- Οι τρεις από αυτούς μπορούν να «υπερισχύσουν» του τέταρτου και οι δύο μπορούν ακόμα και να παραβλέψουν τον τρίτο εάν ο τέταρτος είναι σίγουρο ότι δεν λειτουργεί σωστά και ο τρίτος δεν συμφωνεί με τους δύο πρώτους.
- Στην έσχατη περίπτωση το πλήρωμα χρησιμοποιεί και πέμπτο επεξεργαστή με διαφορετικό λογισμικό για να αναλύσει την κατάσταση ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους επεξεργαστές.

Υπολογιστής 'Πτήσης' (OBC) Προβλήματα Υλικού

- Αξιοπιστία συσκευής
- Ακτινοβολία
 - Συνολική δόση
 - Μεμονωμένες επιδράσεις/διαταραχές (SEU)
 - Παρακολούθηση μεμονωμένων εκδηλώσεων/βραχυκύκλωμα (SEL)
 - Τα μεμονωμένα γεγονότα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρία είδη επιδράσεων. 1. Μεμονωμένη Διαταραχή (Single Event Upset, SEU) 2. Μεμονωμένο Βραχυκύκλωμα (Single Event Latchup, SEL) 3. Μεμονωμένη Ολική Καταστροφή (Single Event Burnout, SEB)
- Λογισμικό
 - Συντηρητισμός
 - Φόβος
 - κανένα πρόβλημα σε LEO
 - ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων (EDAC)

Μεμονωμένες Επιδράσεις SEU – Προφύλαξη

- Μια μεμονωμένη επίδραση (SEU) είναι μια αλλαγή κατάστασης που προκαλείται από ένα μόνο σωματίδιο ιονισμού (ιόντα, ηλεκτρόνια, φωτόνια ...) που χτυπά έναν ευαίσθητο κόμβο σε μια μικρο-ηλεκτρονική συσκευή, όπως σε έναν μικροεπεξεργαστή, μνήμη ημιαγωγών ή τρανζίστορ ισχύος.
- Ποσοστό LEO 1×10^{-7} SEU / bit / ημέρα
- Η SEU μπορεί να καταστρέψει το αποθηκευμένο πρόγραμμα ή μια μεταβλητή
 - Απαιτείται διόρθωση
 - Δεν φαίνεται στη CPU
- Παρακολούθηση μεμονωμένων εκδηλώσεων (SEL) – Αποτέλεσμα από την μεμονωμένη επίδραση, βραχυκύκλωμα, μπορεί να οδηγήσει στην ολοκληρωτική καταστροφή κυκλώματος

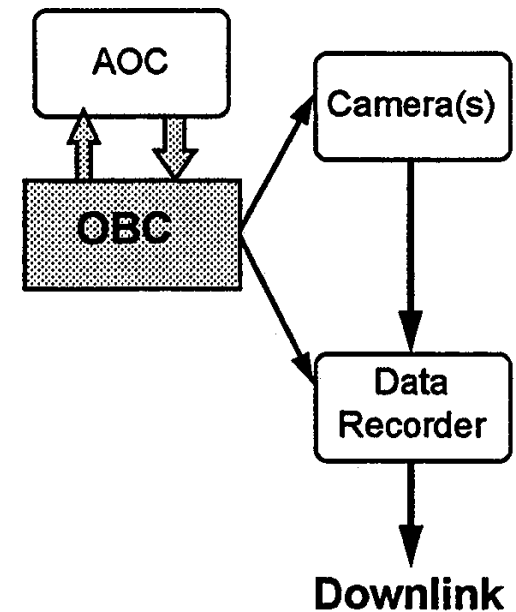


Χρήσεις ΥΔΥΔ (ΟΒΔΗ)

- Συλλογή «τηλεμετρίας»
 - Δεδομένα πειράματος
 - Δεδομένα επικοινωνιών
 - Δεδομένα παρακολούθησης συστήματος
- Διανομή «εντολών»
 - τυπικές εντολές παραγγελιών
 - παράμετροι λογισμικού
 - επαναφόρτωση λογισμικού
 - δεδομένα επικοινωνιών

Δορυφόροι Παρατήρησης της Γης

- Στόχος = χρηματικό κέρδος
 - πλατφόρμα ελέγχου
 - προγραμματισμός απεικόνισης
 - διαχείριση της αποθήκευσης δεδομένων

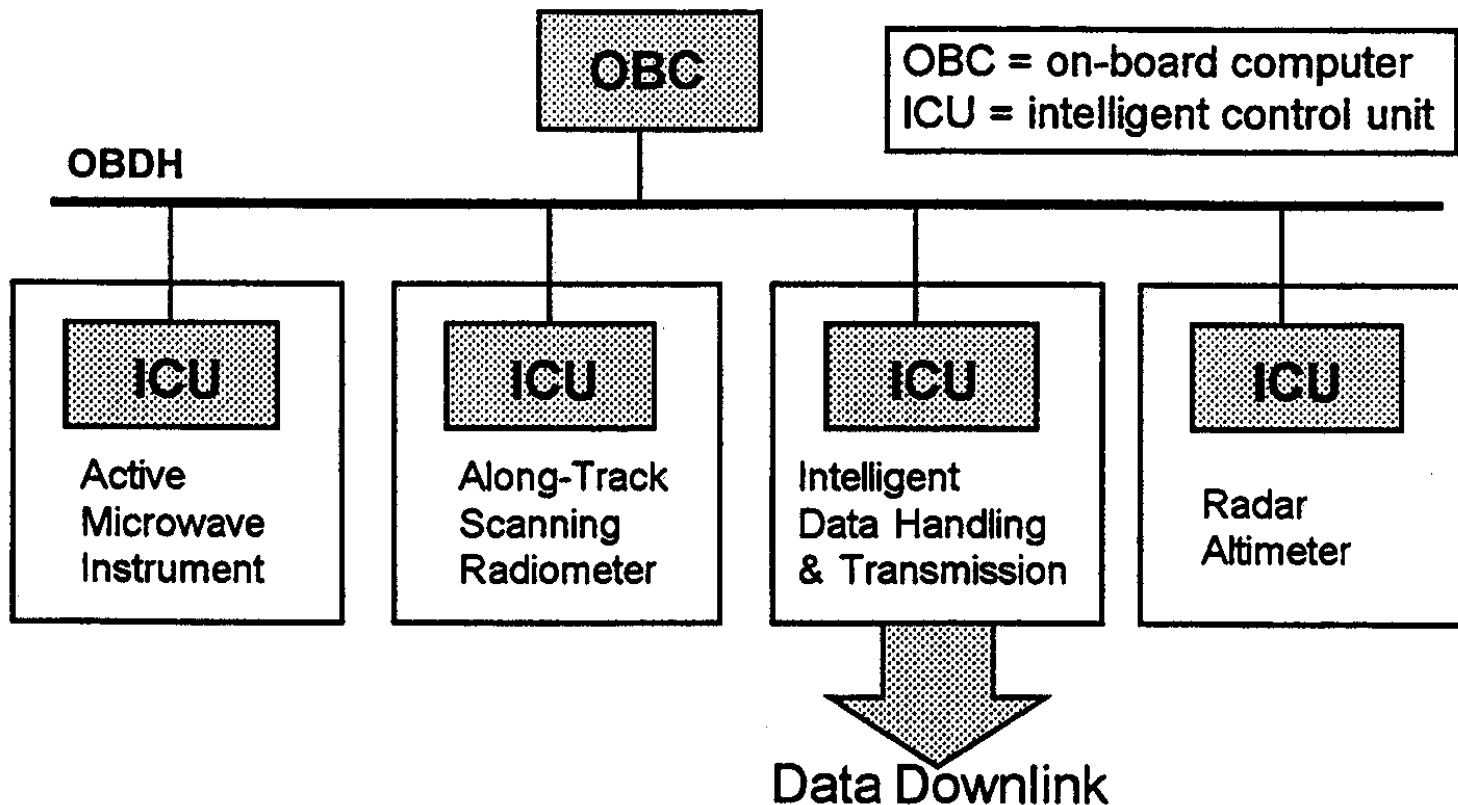


ERS-1

- Κεντρικός on-board υπολογιστής
- Πολλαπλά έξυπνα πειράματα
 - Ενεργά όργανα μικροκυμάτων
 - SAR
 - Μετρητής σάρωσης κατά μήκος διαδρομής
 - Θερμοκρασία επιφάνειας της θάλασσας
 - Ραντάρ υψομέτρου
 - μετρήσεις ύψους της επιφάνειας θάλασσας

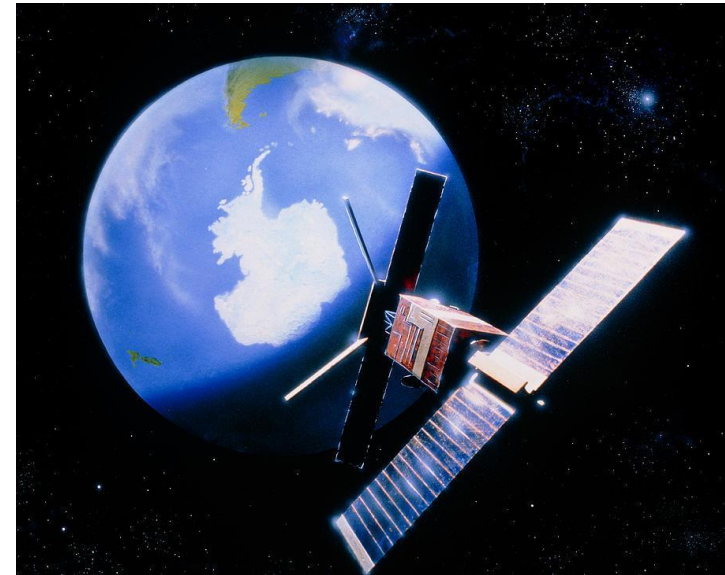


ERS-1 – ΥΔΥΔ (OBDH)



Λογισμικό ERS-1

- On board υπολογιστής – λογισμικό (44k λέξεις)
 - Ακολουθία εκτόξευσης / εισαγωγής
 - AOCS
 - Ρύθμιση ισχύος
 - Θερμικός έλεγχος
 - 1 Hz X 256 byte TLM
 - Πρόγραμμα 16 τροχιών
 - FDIR
 - εντοπισμός σφαλμάτων
 - εκτέλεση μακροεντολών
 - παρακολούθηση αισθητήρων και FDIR
 - αναφορά στο έδαφος
-
- FDIR – Fault Detection, Isolation and Recovery / Ανίχνευση σφαλμάτων, απομόνωση και ανάκτηση



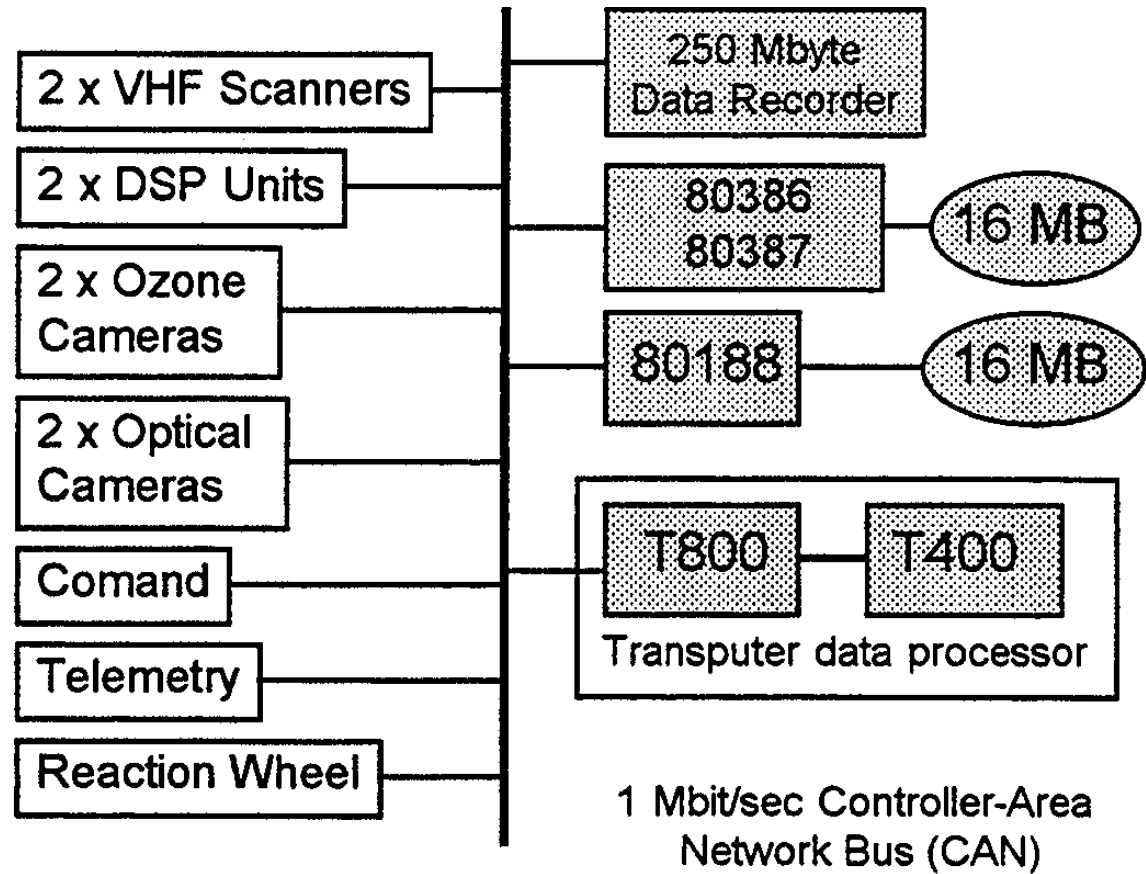
Στοιχεία λογισμικού ERS-1

- Ελέγχεται από κατανεμημένες CPU
 - Οι ICU απαλλάσσουν το OBC από το φόρτο του ωφέλιμου φορτίου
 - Αυτονομία για 24 ώρες
 - Επαναδιαμορφώσιμο
 - Επαναπρογραμματιζόμενο
 - 17 εναλλακτικές λειτουργίες μετά την εκτόξευση
- Δυνατότητα μακροεντολών
 - μία εντολή εδάφους = πολλές εντολές επί του σκάφους

Διόρθωση σφαλμάτων ERS-1

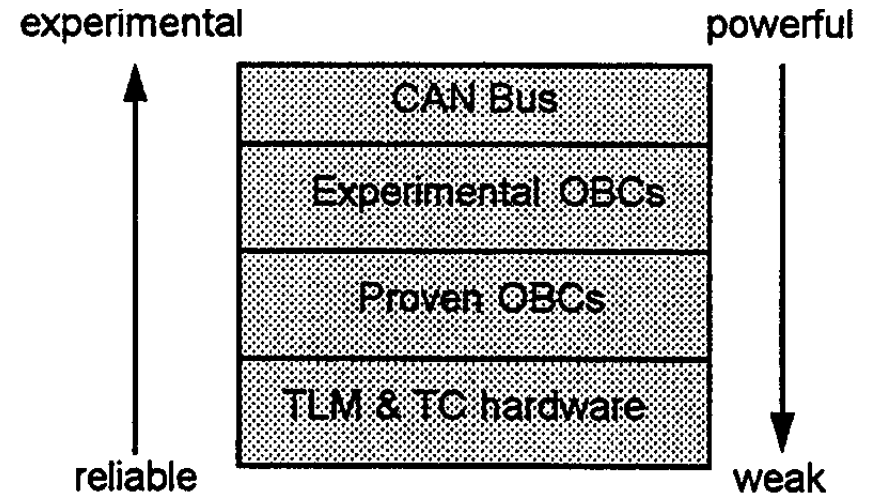
- Όταν εντοπίζεται σφάλμα
 - Προσπάθεια επαναδιαμόρφωσης
 - Εισαγωγή σε ασφαλή λειτουργία
 - απενεργοποίηση του ωφέλιμου φορτίου
 - ηλιακή συστοιχία σε «κανονική» θέση
 - AOCS με κατεύθυνση τον ήλιο
 - αναμονή για οδηγίες

Μικρο-δορυφόρος στη δεκαετία του 1990



Αρχιτεκτονική OBDH Μικροδορυφόρων σε στρώσεις/επίπεδα

- Σε περίπτωση βλάβης
 - τηλε-εντολή
 - τηλεμετρία
 - επαναφόρτωση
- Όλα υπό έλεγχο εδάφους μέσω υλικού TLM & TC



Συμπεράσματα

- Ο διαστημικός υπολογιστής υστερεί του υπολογιστή γραφείου
- Ο χειρισμός δεδομένων επί του σκάφους συνεπάγεται κίνδυνο, αλλά μπορεί να αυξήσει σημαντικά την απόδοση της αποστολής
- Υπάρχει μεγάλη ανάπτυξη αυτοματισμού/αυτονομίας στις διαστημικές αποστολές
- Αυξημένη χρήση εμπορικών τεχνολογιών/COTS
- Χρησιμοποιώντας όλο και περισσότερο νέες εξελίξεις σε ICT

Σημαντικά ακρώνυμα - ΥΔΥΔ

Υπολογιστές

OBC – On board Computer / Υπολογιστής επί του διαστημικού σκάφους

MIL1750 - Military standard instruction set for CPUs / Στρατιωτικό πρότυπο συνόλου εντολών για επεξεργαστές

Ακτινοβολία

SEU - Single event upset, destroying memory contents

SEL - Single event latchup, destroying a memory gate

EDAC - Error detection and correction, against SEU & MBU

Μηχανική λογισμικού

FDIR – Fault Detection, Isolation and Recovery / Ανίχνευση σφαλμάτων, απομόνωση και ανάκτηση

OBDH

OBDH - On-board data handling / Διαχείριση δεδομένων σε υπολογιστή επί του διαστημικού σκάφους

ESA OBDH - Standard for OBDH networks / Πρότυπο για δίκτυα OBDH

CTU - Central Terminal Unit, in ESA OBDH standard / Κεντρική τερματική μονάδα, στο πρότυπο ESA OBDH

RTU - Remote Terminal Unit, in ESA OBDH standard / Απομακρυσμένη τερματική μονάδα, στο πρότυπο ESA OBDH

- Ένας δορυφόρος cubesat τηλεανίχνευσης σε τροχιά 500 km (LEO) χρησιμοποιεί ένα οπτικό ωφέλιμο φορτίο με ανιχνευτή 1024 x 1024 pixel. Ας υποθέσουμε ότι απαιτούνται 8 bit για την ακριβή καταγραφή κάθε pixel δεδομένων. Ο στόχος της αποστολής είναι να απεικονίσει περιοχές εδάφους, πράγμα που σημαίνει ότι ο οπτικός αισθητήρας θα είναι ενεργός για το 30% κάθε τροχιάς. Η περίοδος τροχιάς του cubesat είναι 90 λεπτά και απαιτείται η συλλογή εικόνας κάθε 30 δευτερόλεπτα. Χρησιμοποιώντας τεχνικές επεξεργασίας επί του σκάφους και αλγόριθμους ανίχνευσης σφαλμάτων, το 95% των εικόνων εξαλείφεται για σκοπούς αποθήκευσης επί του σκάφους. Οι υπόλοιπες εικόνες αποθηκεύονται στην ενσωματωμένη μνήμη του cubesat και πρέπει να σταλούν στη Γη μέσω 15-λεπτου περάσματος πάνω από έναν σταθμό εδάφους που βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο της Πάτρας. Ας υποθέσουμε ότι δεδομένα 3ών τροχιών πρέπει να αποθηκευτούν και να ληφθούν με ένα πέρασμα. Υπολογίστε τη μέγιστη ποσότητα δεδομένων (byte) που πρέπει να αποθηκευτούν στον δορυφόρο και τον ελάχιστο ρυθμό δεδομένων (bits/s) που απαιτείται για τη λήψη των δεδομένων στο σταθμό εδάφους

ΥΔΥΔ (ΟΒΔΗ) Παράδειγμα–Understanding Space Παράδειγμα 13-1, Σελ. 479

1) Προσδιορισμός δεδομένων ανά εικόνα

Δεδομένα ανά εικόνα = $(1024)(1024)(8) = 8.389 \times 10^6$ bits

2) Προσδιορισμός εικόνων που συλλέγονται ανά τροχιά:

Εικόνες ανά τροχιά = $(90\text{min}) (2/\text{min}) (0.3) (0.05) = 2.7$

Με στρογγυλοποίηση → Εικόνες ανά τροχιά = 3

3) Προσδιορισμός μέγιστων δεδομένων που αποθηκεύονται

Μέγιστος αριθμός bits δεδομένων = $(3 \text{ τροχιές})(3 \text{ εικόνες ανά τροχιά})(8.389 \times 10^6 \text{ bits})$

Μέγιστος αριθμός bits δεδομένων = 7.55×10^7 bits

Μέγιστος αριθμός bytes δεδομένων = $7.55 \times 10^7 \text{ bits} / 8 = 9.437 \times 10^6$ bytes

4) Προσδιορισμός ελάχιστου ρυθμού μετάδοσης

Ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης = $7.55 \times 10^7 \text{ bits} / [(15\text{min}) (60\text{s}/\text{min})] = 8.389 \times 10^4 \text{ bits/s}$