

Ενεργειακή Κρίση σε Σεληνιακή Τροχιά

ΟΜΑΔΑ Γ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ



LunarSAT DT/G

Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τμήμα Φυσικής

e-mail: lunarsat@cc.uoa.gr

web: <http://www.cc.uoa.gr/lunarsat>

Μέσα στο έτος 2001, ο μικροδορυφόρος LunarSAT (βάρους 100 kgr) θα βρεθεί σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τη Σελήνη για σχεδόν 6 μήνες. Ο δορυφόρος είναι εξοπλισμένος με διάφορα όργανα για την εκτέλεση μιας σειράς επιστημονικών παρατηρήσεων. Τα πειράματα που θα πραγματοποιηθούν καθώς και τα όργανα ελέγχου του LunarSAT, χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια, η οποία θα αποδίδεται μεσώ των ηλιακών συλλεκτών του δορυφόρου. Κατά την διάρκεια κάθε μίας από τις τετράωρες τροχιές του, ο δορυφόρος θα βρίσκεται για λίγα λεπτά στην σκιά της Σελήνης. Η διακοπή παροχής της ηλιακής ενέργειας, στην διάρκεια αυτή, θα καλύπτεται με τη χρήση επαναφορτιζόμενων μπαταριών.



Η πρόκληση...

Φανταστείτε πως είστε μέλος της ομάδας Σχεδιασμού της Αποστολής του LunarSAT. Εσείς πρέπει να αποφασίσετε ποια μπαταρία πρέπει να έχει τοποθετηθεί στο δορυφόρο, ώστε να αντέξει κατά τη διάρκεια μιας μερικής έκλειψης Σελήνης, η οποία θα διαρκέσει αρκετές ώρες. Στη διάρκεια της έκλειψης τα ηλιακά κύτταρα δεν δέχονται ενέργεια από τον Ήλιο, επομένως οι μπαταρίες πρέπει να συντηρήσουν το δορυφόρο τροφοδοτώντας τον με απαιτούμενη ενέργεια. Η εργασία σας είναι πολύ σημαντική γιατί μια λάθος επιλογή μπαταρίας μπορεί να προκαλέσει το χαμό του δορυφόρου...



Επιβίωση του LunarSAT κατά τη διάρκεια της έκλειψης

Το LunarSAT αποτελείται από μια σειρά διαφορετικών υποσυστημάτων, τα οποία λειτουργούν (λίγο έως πολύ) ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Κάποια από αυτά τα συστήματα δεν είναι σχεδιασμένα για την επιβίωση του δορυφόρου και ειδικότερα κατά την διάρκεια των εκλείψεων.

Τα Δεδομένα

Ο πίνακας που ακολουθεί (**Πίνακας 1**) περιλαμβάνει μια μικρή λίστα των συστημάτων του δορυφόρου, καθώς και δεδομένα για την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν. Στην συνέχεια θα αναφερθούμε με περισσότερες λεπτομέρειες για τα υποσυστήματα αυτά.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Τα συστήματα ή τα επιμέρους όργανα του δορυφόρου που θεωρούνται άκρως απαραίτητα για την λειτουργία του, δεν θα πρέπει, κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες, να μείνουν χωρίς παροχή ρεύματος. Εκείνα όμως που χαρακτηρίζονται ως σημαντικά συστήματα θα πρέπει να κλείσουν μόνο σε πολύ κρίσιμες περιπτώσεις, στις οποίες όλα τα εναπομείναντα υποσυστήματα δεν παρουσιάζουν παρόμοιους περιορισμούς.

- **OBDH (On Board Data Handling System)**

Ο στόχος του υποσυστήματος **OBDH** του LunarSAT συνίσταται στην αυτόνομη πλοήγηση του σκάφους στην ελλειπτική του τροχιά γύρω από την Σελήνη (αλλά και γενικότερα σε όλη την τροχιά που θα ακολουθήσει το LunarSAT μετά την εκτοξευσή του), στην περισυλλογή, μορφοποίηση, έλεγχο και αποθήκευση δεδομένων και στη συνέχεια αναμετάδοση της σχετικής τηλεμετρίας προς τη Γη (telemetry downlink), καθώς και στην πρόσληψη, αποκωδικοποίηση και διανομή εντολών προς τα επιστημονικά όργανα του δορυφόρου.

- **ADCS (Attitude Determination and Control System)**

Το σύστημα **ADCS** διαχειρίζεται τον προσανατολισμό του σκάφους στο διάστημα, έτσι ώστε να τον κρατά σταθερό, ανεξάρτητα από τις όποιες διαταραχές (εσωτερικές ή εξωτερικές) επενεργούν σε αυτό. Όλα τα υποσυστήματα του σκάφους κρίνονται ως σημαντικά για το **ADCS** και του παρέχουν προϋποθέσεις λειτουργίας και σημαντικές πληροφορίες.

Συγκεκριμένα:

Τα όργανα του δορυφόρου χρειάζεται να είναι στραμμένα προς την κατάλληλη διεύθυνση για τη σωστή λήψη των πληροφοριών που είναι

σχεδιασμένα να καταγράψουν. Για παράδειγμα το **ADCS** φροντίζει ώστε το διαστημόπλοιο, όταν αυτό βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τη Σελήνη, να είναι στραμμένο με τέτοιο τρόπο ώστε οι φωτογραφικές κάμερες να είναι στραμμένες προς την επιφάνεια για τη φωτογράφιση διαφόρων στόχων. Επίσης φροντίζει ώστε το διαστημόπλοιο να είναι σταθερό ώστε οι φωτογραφίες να μη βγουν θολές.

Το υποσύστημα της παροχής ενέργειας συνεργάζεται με το **ADCS** ώστε το διαστημόπλοιο να έχει στραμμένους τους ηλιακούς συλλέκτες του προς τον Ήλιο, με σκοπό τη μέγιστη παροχή ηλιακής ενέργειας προς αυτούς.

Το υποσύστημα τηλεπικοινωνιών απαιτεί από το **ADCS** να στρέφει το διαστημόπλοιο προς συγκεκριμένο τηλεπικοινωνιακό σταθμό πάνω στη Γη (που διαθέτει κεραία λήψης μεγάλης εμβέλειας), με σκοπό την αποστολή και λήψη δεδομένων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (Πίνακας 1)

Υποσύστημα (Subsystem)	Δομικές μονάδες υποσυστήματος (Components)	Μέγιστη κατανάλωση (Watt)	Μέση κατανάλωση (Watt)	Κατανάλωση σε λειτουργία «stand by» (Watt)	Προτεραιότητα
OBDH	Memory & CPU	---	7,50	3,00	Σημαντικό
	TM/TC Electronics	---	3,00	3,00	Απαραίτητο
ACDS	Reaction Wheels, Ring Gyros, Star Sensor, Sun Sensor	65,10	16,30	14,20	Σημαντικό
	1N Thruster	---	21,60	0,00	Σημαντικό
POWER	Power Diodes Main	---	1,90	0,00	Απαραίτητο
	Power Diodes Contingency	---	0,95	0,00	Απαραίτητο
	BCRs, BDRs, Shunt Modules, BMM, Power Distribution Unit	---	3,02	3,02	Απαραίτητο
COMMS	Transmitter	---	15,00	0,00	Αν χρειάζεται
	Receiver	---	3,00	3,00	Απαραίτητο
THERMAL	Heater	15,00	10,00	0,00	Σημαντικό
PROPULSION	Cat Bed Heaters	---	20,00	20,00	Αν χρειάζεται
	Main Thrusters	---	19,60	0,00	Αν χρειάζεται
	Pressure Sensors	---	1,62	1,62	Σημαντικό
PAYLOADS	LENA	3,30	2,80	0,50	Αν χρειάζεται
	MAG	0,70	0,50	0,20	Αν χρειάζεται
	SLP	---	2,00	0,00	Αν χρειάζεται
	REX Electronics	8,77	5,77	0,00	Αν χρειάζεται
	LPP System	---	5,00	0,00	Σημαντικό
	REX TX	---	20,00	0,00	Αν χρειάζεται
	WAC	20,50	4,70	0,00	Αν χρειάζεται
	CHRIS	8,00	6,00	0,00	Αν χρειάζεται
	Data Compressing	---	5,90	0,00	Αν χρειάζεται
	Filter Wheel	---	4,60	0,00	Αν χρειάζεται
	Cooler	---	7,30	0,00	Αν χρειάζεται
	CHRIS Imager	---	2,00	0,00	Σημαντικό

Υπόμνημα:**TM** ... Telemetry**TC** ... Telecommand**S/A** ... Solar Array**BCR** ... Battery charge regulator**BDR** ... Battery discharge regulator**BMM** ... Battery management modules**LPP** ... Lunar physics package (Υποστηρίζει κάποια πειράματα όπως τα SLP ή

MAG με κοινά ηλεκτρονικά συστήματα)

Ο δορυφόρος LunarSAT θα σταθεροποιείται με την τριαξονική μέθοδο (three-axis stabilization), καθ' όλη την διάρκεια της αποστολής, όχι μόνο στην τροχιά του γύρω από την Σελήνη αλλά και στις περιπτώσεις ελιγμών στην τροχιά. Ο ανιχνευτής χρησιμοποιεί αισθητήρες ("αυτιά" και "μάτια") καθώς και μηχανισμούς κίνησης ("μύες") για να διατηρεί τον προσανατολισμό του δορυφόρου στο διάστημα, αντιδρώντας σε εξωτερικές διαταραχές (πχ. πίεση ηλιακής ακτινοβολίας), ή εσωτερικές διαταραχές (πχ. δονήσεις της κεραίας, κίνηση καυσίμων...) που επενεργούν σε αυτόν.

Οι αισθητήρες είναι:

- Ηλιακός αισθητήρας (sun sensor)
- Αστρικός αισθητήρας (star sensor)
- Τρία γυροσκόπια laser (laser gyros)

Οι μηχανισμοί κίνησης είναι:

- Τέσσερις κύριες μηχανές (main engines)
- Τέσσερις προωθητές προσανατολισμού και καθορισμού συμπεριφοράς (attitude thrusters)
- Τρεις τροχοί ανάδρασης 0.2 Nm (reaction Wheels)

Επιπλέον Πληροφορίες

ΕΝΕΡΓΕΙΑ: Το υποσύστημα ενέργειας

Το σύστημα ενέργειας του LunarSAT πρέπει να παράγει και να διανέμει ηλεκτρική ενέργεια για το διαστημόπλοιο. Ακόμα, η διανομή της παραγόμενης ενέργειας πρέπει να ελέγχεται και να ρυθμίζεται. Ένα «πακέτο» ισχύος 100 W θα πρέπει να παρέχεται σε μια κατανεμημένη ποσότητα μάζας των 5 Kg. Το ενεργειακό σύστημα του LunarSat θα χρησιμοποιεί ένα ρυθμισμένο δίκτυο αρτηρίας των 28 V \pm 1% , εφεδρείες BCRs και BDRs, εσωτερικά παράλληλα κυκλώματα, GaAs - ηλιακές κυψελίδες προσαρμοσμένες στο σώμα του δορυφόρου και φυσικά μπαταρίες με χωρητικότητα της τάξης των 130 Wh για προληπτικούς λόγους (αργότερα θα ασχοληθούμε με μεγαλύτερη ακρίβεια με το θέμα αυτό). Για να κρατηθεί το κόστος όσο το δυνατό σε χαμηλότερα επίπεδα, έχει προβλεφθεί η χρήση τυποποιημένου εξοπλισμού (που διατίθεται στην αγορά) (Cut off the shelf electronics - COTS electronics) με τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι απαραίτητη η τόποθέτηση των πολύ ακριβών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, τα οποία παρουσιάζουν σημαντική αντοχή σε ακτινοβολία περιβάλλον.

Η προσεκτική σχεδίαση της αποστολής και η ρύθμιση των συνιστωσών (εξαρτημάτων, οργάνων κτλ.) εντός του δορυφόρου, θα περιορίσουν την ποσότητα της ακτινοβολίας στα επιθυμητά επίπεδα για τα COTS electronics.

COMMS: Επικοινωνία

Το σύστημα επικοινωνίας του Lunarsat βασίζεται σε ένα συνδυασμό σχετικών συστημάτων. Περιλαμβάνει δύο κατευθυνόμενες κεραίες (omni directional) για λήψη εντολών από τη Γη (command uplink - 250 kb/s) καθώς και ένα ειδικά διαμορφωμένο σύστημα κεραιών για μετάδοση τηλεμετρίας προς αυτή (telemetry downlink). Για μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων (high data rate - 224 Kb/s) πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μια συστοιχία 4 κεραιών που λειτουργούν στη συχνότητα της "μπάντας" S (S-band antennas). Για την περίπτωση που θα χρειαστεί οικονομία στην κατανάλωση του ενεργειακού αποθέματος του διαστημοπλοίου, προβλέπεται η χρήση μιας κατευθυνόμενης κεραίας, η οποία θα μεταδίδει δεδομένα με αργό ρυθμό (low data rate).

THERM: Τα στοιχεία θερμότητας

Στο διάστημα, υπάρχουν τεράστιες διαφορές στην θερμοκρασία. Η θερμοκρασία μπορεί να βρίσκεται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα όταν το φως του ήλιου δεν φτάνει στον δορυφόρο και το αντίθετο. Κάποια από τα όργανα του δορυφόρου, π.χ. οι αισθητήρες, δεν μπορούν να λειτουργήσουν κάτω από αυτές τις συνθήκες. Αν δεν υπάρχει ένα σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας, τα προωθητικά αέρια μπορούν (για παράδειγμα) να παγώσουν κατά την διάρκεια της έκλειψης.

PROPULSION: Το σύστημα προώθησης

Το υποσύστημα αυτό είναι υπεύθυνο κυρίως για την εισαγωγή του δορυφόρου σε τροχιά γύρω από τη Σελήνη, και γενικότερα για μεταβολές στην ταχύτητα που θα χρειαστούν κατά τη μετάβαση προς αυτή. Επίσης είναι απαραίτητο και για τον έλεγχο της συμπεριφοράς του LunarSat στους τροχιακούς ελιγμούς καθ' όλη την διάρκεια της αποστολής. Αποτελείται από τέσσερις βασικές μηχανές προωστικής δύναμης 22N και ειδικής ανάπλασης (specific impulse) 289 sec. η κάθε μία. Επίσης, περιλαμβάνει δύο απλούς προωθητήρες ισχύος 1N. Τα παραπάνω εξασφαλίζουν δυνατότητα μεταβολών της ταχύτητας κατά 1300 m/sec συνολικά, αρκετά περισσότερο απ' όσο απαιτεί η τροχιά που έχει επιλεγεί να ακολουθήσει το Lunarsat. Το καύσιμο που θα χρησιμοποιεί το προωθητικό σύστημα θα είναι η υδραζίνη και το οξειδωτικό το τετροξείδιο του αζώτου. Οι προωθητήρες χρησιμοποιούν μόνο υδραζίνη.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ**CHRIS (Color High Resolution Imaging System)**

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει μια επιπλέον κάμερα με ευρυγώνιο φακό (WAC- Wide Angle Camera) η οποία χρησιμοποιεί το ίδιο ηλεκτρονικό σύστημα με το CHRIS, αλλά με διαφορετικά οπτικά συστήματα. Η τεχνολογία αυτή είναι ουσιαστικά «κληρονομιά» του προγράμματος ROLIS για την ευρωπαϊκή

αποστολή Rosseta, και θα κατασκευαστεί από τη Γερμανική Εταιρεία Αεροδιαστημικής (DLR) που εδρεύει στο Βερολίνο.

Οι κάμερες του LunarSAT θα αποδίδουν υψηλή διακριτική ικανότητα (3 μέτρα/εικονοστοιχείο από απόσταση 100 χιλιομέτρων), πολυφασματική και στερεογραφική απεικόνιση του νότιου πόλου της Σεληνιακής επιφάνειας καθώς επίσης και για άλλες επιλεγμένες περιοχές, ενώ ταυτόχρονα παρέχεται η δυνατότητα της παρακολούθησης των εποχιακών εναλλαγών από τη φωτεινότητα των πολικών περιοχών όπως θα παρατηρούνται από την κάμερα φασματικής εμβέλειας μεταξύ 400 nm (ορατό) έως 1000 nm (υπέρυθρο) .

MAG (μαγνητόμετρο)

Το όργανο αυτό θα το παρέχει το Danish Technical University (DTU). Σχετικά με το μαγνητικό πεδίο της Σελήνης υπάρχουν πολλά ερωτήματα όπως το αν η Σελήνη έχει ή είχε μαγνητικό δυναμό, το πρόβλημα της προέλευσης της μαγνήτισης των πετρωμάτων της σεληνιακής επιφάνειας και η φύση της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στην Σελήνη και το διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο στην περιοχή της μαγνητοουράς της Γης. Το MAG θα επιτρέψει τη λεπτομερή χαρτογράφηση των μαγνητικών ιδιοτήτων της σεληνιακής επιφάνειας καθώς και τη μελέτη της γήινης μαγνητοουράς, του κρουστικού κύματος και της μαγνητόπαυσης.

LENA (φωτομετρία Na και OH στην Σεληνιακή εξώσφαιρα)

Την ανάπτυξη και τον έλεγχο του οργάνου έχει αναλάβει το Κέντρο Διαστημικών Ερευνών της Πολωνικής Ακαδημίας Επιστημών. Το LENA είναι ένα φωτόμετρο για τις γραμμές D1 και D2 του νατρίου, που εκτελεί μετρήσεις μετατόπισης Doppler και 2d. Με συνολική μάζα 1,5 kg και με μέγιστη κατανάλωση ενέργειας 3 W θα χαρτογραφήσει τη διανομή του νατρίου στη σεληνιακή εξώσφαιρα. Κοιτάζοντας προσεκτικά τον ορίζοντα κατά τη διάρκεια της τροχιάς, θα είναι σε θέση να δημιουργήσει μια τρισδιάστατη εικόνα της εξώσφαιρας περιλαμβάνοντας χωρικές και χρονικές μεταβολές. Αποτελεί το δεύτερο όργανο για την μέτρηση μαγνητικών πεδίων.

REX (πείραμα Radar και πλάσματος)

Την εκτέλεση του συγκεκριμένου πειράματος έχει αναλάβει το Σουηδικό Ινστιτούτο Διαστημικών Ερευνών. Το REX θα συνεισφέρει στην μελέτη της σεληνιακής πλάσμοσφαιρας και πιθανόν να δώσει πληροφορίες για τα υλικά και την δομή της σεληνιακής επιφάνειας και του σεληνιακού υπεδάφους στην περιοχή του Νότιου πόλου του φεγγαριού. Η δυναμική, η δομή και η εκπομπή του πλάσματος μπορούν να παρακολουθηθούν άμεσα από το REX, και σε αυτόματη (παθητική) και σε τηλεχειριζόμενη (ενεργή) κατάσταση. Συγκεκριμένα μπορούμε να εξακριβώσουμε την έκταση και τη δομή της σεληνιακής ιονόσφαιρας.

Κάποια επιπλέον δεδομένα για τα σχέδια της αποστολής:

Διάρκεια μεγαλύτερης έκλειψης: $t_{\text{eclipse}} = ? \text{ h}$ (αποτέλεσμα της ομάδας Α)

Περίοδος τροχιάς: $t_{\text{orbit}} = 240 \text{ min}$

Κανονική έκλειψη: $t_{\text{dark}} = 66 \text{ min}$

Μέγιστη παροχή ενέργειας από ηλιακές κυψελίδες: $P_{\text{max}} = ? \text{ W}$ (αποτέλεσμα Β ομάδας)

Εκφόρτιση των μπαταριών στην διάρκεια της Έκλειψης

Άσκηση Γ - 1: Αποφασίστε με βάση τις προηγούμενες πληροφορίες για το ποια από τα υποσυστήματα ή τα όργανα πρέπει να είναι ενεργοποιημένα κατά την διάρκεια της έκλειψης. Πόση ισχύ P_{consume} (σε W) και ενέργεια E_{consume} (σε Wh) χρειάζονται όλα μαζί;

Στην διάρκεια της έκλειψης η απαιτούμενη ενέργεια μπορεί να προέλθει από τις μπαταρίες. Μεταξύ μπαταριών και ηλεκτρικών καταναλωτών βρίσκουμε τους BDR's (Battery Discharge Regulators - Εξομαλυντές εκφόρτισης μπαταριών: εξομαλύνουν τον τρόπο διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη σε μια μπαταρία προς τους καταναλωτές). Η αποδοτικότητά τους ϵ_d είναι της τάξης του 91% (Χρησιμοποιούμενη ενέργεια από τον καταναλωτή / Παραγόμενη ενέργεια από την μπαταρία). Επομένως, για την ενέργεια που πρέπει να παραχθεί από τις μπαταρίες ισχύει:

$$E_{\text{battery}} = E_{\text{consume}} / \epsilon_d = ? \text{ Wh}$$

Η ενέργεια αυτή δεν πρέπει να ξεπερνά τις 100 Wh κατά πολύ.

Φόρτιση μπαταριών όταν προσπίπτει φώς στον δορυφόρο

Οι μπαταρίες θα φορτιστούν στην φάση που ο δορυφόρος θα βρίσκεται υπο την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Επομένως ελέγχουμε το ποσό της ενέργειας που μπορούν να παρέχουν οι ηλιακές διατάξεις κυψελίδων στα υπόλοιπα υποσυστήματα στον χρόνο αυτό.

Πρώτα πρέπει να γνωρίζουμε πόσο χρόνο διαρκεί η έκθεση του δορυφόρου στο ηλιακό φως.

$$t_{\text{lighted}} = t_{\text{orbit}} - t_{\text{dark}} = ? \text{ h}$$

Χρειαζόμαστε ένα ανώτατο όριο ενέργειας φόρτισης:

$$P_{\text{charge}} = E_{\text{battery}} / t_{\text{lighted}} = ? \text{ W},$$

έτσι ώστε να φορτιστούν οι μπαταρίες στον χρόνο αυτό.

Υπάρχουν **BCR's** (Battery Charge Regulators - Εξομαλυντές Φόρτισης Μπαταριών: εξομαλύνουν τον τρόπο διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στις ηλιακές κυψελίδες, προς τις μπαταρίες, με σκοπό τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για φόρτιση των μπαταριών) μεταξύ των διατάξεων των ηλιακών κυψελίδων και των μπαταριών. Τα **BCR's** έχουν αποδοτικότητα ϵ_c της τάξης του 90% (Ενέργεια ηλιακών κυψελίδων / Ενέργεια μπαταριών). Για το λόγο αυτό χρειαζόμαστε:

$$P_{load} = P_{charge} / \epsilon_c = ? W$$

για τη φόρτιση των μπαταριών

Η μέγιστη ισχύς που παρέχεται από τις διατάξεις Ηλιακών Κυψελίδων είναι P_{max} . Η ενέργεια που απομένει:

$$P_{rest} = P_{max} - P_{load} = ? W$$

μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα διαφορετικά υποσυστήματα

Τι θα ήταν χρήσιμο να γίνει στη φάση φόρτισης των μπαταριών;

Δώστε κάποιες ιδέες και ελέγξτε την επιτευξιμότητά τους.

Η επιλογή της σωστής αποθήκευσης ενέργειας

Ο χρόνος ζωής ενός συσσωρευτή περιορίζεται από τον αριθμό των κύκλων φόρτισης - εκφόρτισης.

Άσκηση Γ - 2: Είναι προγραμματισμένο ο δορυφόρος να παραμείνει σε τροχιά γύρω από την σελήνη για μισό χρόνο. Υπολογίστε τον αριθμό των περιφορών του δορυφόρου στη διάρκεια αυτή. Ο αριθμός αυτός ανταποκρίνεται στον αριθμό των κύκλων φόρτισης.

Επομένως, χρειαζόμαστε μπαταρίες με αυτόν τον αριθμό κύκλων φόρτισης. Ψάξτε για μπαταρίες, οι οποίες να έχουν αυτές τις προδιαγραφές ή ρωτήστε τον καθηγητή σας να σας παράσχει καποιον πίνακα με πλήρη κατάλογο μπαταριών.

Άσκηση Γ- 3: Οι μπαταρίες πρέπει να ικανοποιούν τις ακόλουθες απαιτήσεις: $P_{required} = 64 W$, $U_{required} = 28 V$ σε χρόνο φόρτισης $t_{charge} = 1 \text{ ώρα}$. Τα δεδομένα για τις μπαταρίες συνήθως περιλαμβάνουν μόνο την τάση $U_{batt} (V)$ και την χωρητικότητά τους $C_{batt} (Ah)$.

Υπολογίστε την απαιτούμενη χωρητικότητα:

$$C_{required} = P_{required} \cdot t_{charge} / U_{required}$$

Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τους νόμους του **Kirchhoff**. Όσες κυψελίδες συνδέονται σε σειρά αποδίδουν την απαιτούμενη τάση, ενώ αυτές που βρίσκονται παράλληλα συνδεδεμένες παράσχουν την απαιτούμενη χωρητικότητα.

Άσκηση Γ- 4: Υπολογίστε για κάθε μπαταρία τον αριθμό των παράλληλων N_{par} και σε σειρά N_{ser} συνδεδεμένων κυψελίδων.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η χωρητικότητα των κυψελίδων πρέπει να πολλαπλασιαστεί με τον παράγοντα **DOD/100**.

DOD = βάθος εκφόρτισης, ή με άλλα λόγια είναι το ποσοστό που καθορίζει σε ποιο βάθος μπορεί να εκφορτιστεί μια μπαταρία.

Άσκηση Γ- 5: Υπολογίστε τον αριθμό των κυψελίδων που χρειάζονται N_{tot} . Ο αριθμός προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των N_{ser} και N_{par} και στην συνέχεια προσθέτοντας τον αριθμό **1** (εφεδρική κυψελίδα).

Άσκηση Γ- 6: Για να υπολογίσετε το τελικό βάρος της μπαταρίας, προσθέστε **15%** για κάθε δέμα από το συνολικό βάρος των κυψελίδων σε αυτό.

Άσκηση Γ- 7: Σκεφτείτε ποια μπαταρία θα αποτελέσει την καλύτερη επιλογή. Συνυπολογίστε γεγονός ότι το βάρος της θα πρέπει να είναι πολύ μικρό. Επιπροσθέτως, ο συνολικός αριθμός των κυψελίδων πρέπει να είναι μικρός έτσι ώστε το σύστημα να καταλαμβάνει μικρό χώρο. Δικαιολογήστε τις απαντήσεις σας.