

A SMOG-P-nek, a világ legkisebb műholdjának sikertörténete

Géczy Gábor okl. villamosmérnök, HA7GG, geczygabor@gnd.bme.hu

2014-ben egy, a BME fiatal mérnökeiből és tapasztalt oktatóiból álló maroknyi csapat elhatározta, hogy megépíti a világ legkisebb tudományos kutató műholdját 50×50×50 mm-es befogadó méret és 250 g teljes tömeg mellett. Kategóriája alapján „pikoműhold”, melynek SMOG elnevezése a küldetését szimbolizálja: a világon elsőként kimutatni az emberi tevékenységből eredő, a világűrbe kijutó elektromágneses szennyezettséget. A műholdstruktúra első repülő példánya, a SMOG-P 2019 végén kezdte meg küldetését a világűrben. Ez az írás a küldetés előkészületeit és eredményeit mutatja be.

Általános ismertetés

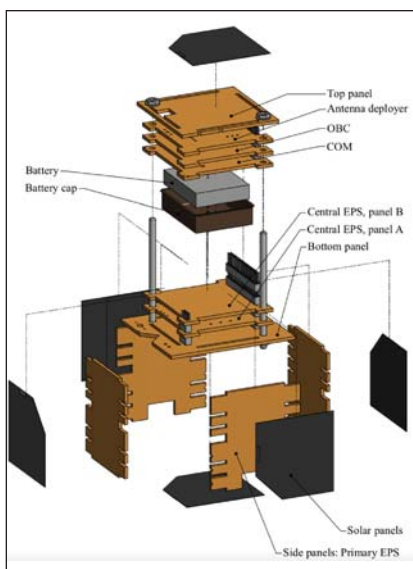
A parányi spektrumanalizátor, mint elsődleges mérőműszer mellett a műholdon helyet kapott egy kísérleti sugárzásmérő berendezés, mint második küldetés és egyéb technológiai kísérletek.

Az elsődleges mérőműszereken kívül a műhold tartalmaz 20 hőmérő szenzort a struktúra termikus vizsgálatához, valamint 2 magnetométert, 2 giroszkópot és 6 fényérzékelő szenzort.

Számos feszültség- és áramerősség-érték szintén monitorozható. Az így gyűjtött adatokból következtetéseket lehet levonni a műhold működésével kapcsolatban.

Fiatal mérnökként a hardver megtervezése tűnt a legnagyobb kihívásnak. Ebben a kis méretben a felhasználható napelemek mindössze 0,3 W elektromos teljesítményt képesek előállítani. A Naptól nyert energia eltárolható a fedélzeti akkumulátorban, és felhasználható a kommunikációhoz, az adatok feldolgozásához és a mérőműszerek működtetéséhez.

Az elektronikai rendszerek tervezése során a lehető legnagyobb hatásfok elérése volt a cél, hogy a műhold energiamérlege pozitív lehessen, azaz a napelemek által megtermelt energia elegendő legyen a műhold működtetéséhez. Az akkumulátort a pálya napfénnel megvilágított szakaszán tudják



1. ábra

tölteni a napelemek, míg a Föld árnyékában az eltárolt energiával „táplálkozik” a műhold. Csatunk a tervezés során úgy döntött, hogy a nagy megbízhatóságú rendszereknél (űreszközök, repülőgépek, erőművek, ipari alkalmazások) gyakran alkalmazott *redundanciával* építjük meg a műholdat, hogy a küldetés sikerének esélye minél nagyobb legyen. Ez azt jelentette, hogy minden alrendszerből legalább 2 példányt kellett elhelyezni ebben a kis méretben, egy fő és egy vele teljesen egyenértékű tartalék egységet. A fő egység meghibásodása esetén a tartalék egység automatikusan át tudja venni annak feladatait, így a küldetés tovább folytatható, nem zárul kudarccal.

Ebben az írásban a műhold általános ismertetésén kívül az energiaellátó rendszert és a tápegységeket mutatom be részletesebben.

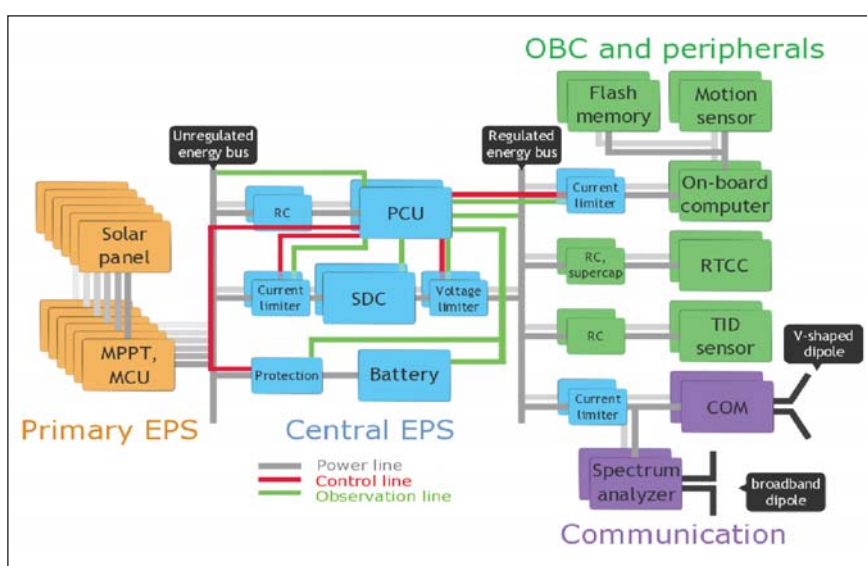
A műholdat alkotó rendszerek és feladataik

A tömeg- és méretkorlát miatt csupán a nyomtatott áramkörti lapok alkotják a műhold vázát, amelyekre ráterveztük az elektronikai alrendszereket is. A műhold hardvere 2256 elektronikai, és néhány mechanikai alkatrészből épül fel. A holdacska struktúrális felépítését, robbantott rajz formájában az **1. ábra** mutatja. Megemlítem, hogy a PCB-ket természetesen gyártattuk, az alkatrészek beültetése az egyetemen történt mikroszkóp alatt, hagyományos kézi forrasztással.

- A napelemcellák generálják az elektromos energiát, amelyek működtetik SMOG rendszereit. Az elsődleges energiaellátó rendszer részeként maximális munkapontkövető (MPPT) áramköröket helyeztünk el a műhold külső paneljeinek belső oldalaira, amelyek átalakítják a napelemek által előállított teljesítményt és továbbítják a központi energiaellátó rendszerbe további felhasználásra.
- A központi energiaellátó rendszer összegyűjti a napelemek által megtermelt energiát és eltárolja azt a fedélzeti Lítium-Ion akkumulátorban, vagy

nagy hatásfokú tápegységen és védelmi áramkörökön keresztül továbbítja a további rendszerek és mérőműszerek működtetéséhez. Ennek a rendszernek a megtervezése volt a szerző feladata, amit a továbbiakban részletesen tárgyalunk.

- A Power Control Unit (PCU) vezérli az energiaellátást, gyűjti a fogyasztással és töltöttséggel kapcsolatos adatokat, és továbbítja azokat a fedélzeti számítógép, avagy On-Board Computer (OBC) számára. A PCU rendszer két, meleg redundanciával működő 16 bites PIC24 architektúrájú mikrovezérlőn alapul. A programmemória 128 KiB-os, a RAM 16 KiB-os. Mindkét kontrollert saját órajel ütemezi. Kommunikálnak egymással, és ha az elsődleges problémára van, akkor a tartalék átveszi a vezérlést.
- Az OBC feladata az adatok összegyűjtése és az összes többi rendszer vezérlése. A kommunikációs rendszer (COM) felelős a megbízható rádiókapcsolat biztosításáért a földi állomásokkal, hogy képesek legyenek letölteni a keletkező adatokat és vezérelni a műholdat. Az adóteljesítmény 100 mW (+20 dBm), a vevőérzékenység kb. -110 dBm, a frekvencia 437,15 MHz, a moduláció 2-GMSK. A COM tartalmazza az elsődleges mérőműszert, az elektromágneses szennyezettség mérésére használt *spektrumanalízátort* is. Ez egy Silicon Labs rádióvevő IC-n alapul. A pártázott frekvenciasáv 460...840 MHz, a vevőérzékenység -110 dBm, az alak szélessége 1,5 - 850 kHz, szoftverből vezérelhető.
- A Total Ionizing Dosimeter (TID) egy új kísérleti mérőműszer, amelynek feladata a küldetés során az elektronikai alkatrészek által elnyelt ionizációs sugárdózis mérése. Ezt a későbbiekben egy külön cikkben tervezem bemutatni.
- Egy további alrendszer tervezünk az antennanyitó elektronika számára, valamint a különböző panelek összekapcso-



2. ábra

lására. Az antennarendszer 4 rugalmas bowdenszálból áll, amelyeket felbocsátás közben egy erős műanyagszál a műhold házára tekercselve tart. Pályára állítás után a szál az említett antennanyitó két helyen átolvastja, miáltal az acélsodrátok felszabadulnak, és a rugalmasságuk folytán „kimerednek” a világűrben.

A rendszerterv és egyben vezérlési terv – a különböző „buszok” felépítésével – a **2. ábrán** látható. A műhold tervezésében részt vevő kollégák: *Dudás Levente, Herman Tibor, Hödl Emil Viktor, Kristóf Tímur, Petróczy Balázs, Szüllő Ádám.*

Mivel az én fő tevékenységem a projektben az energiaellátó rendszer kifejlesztése volt, az alábbiakban erről kissé részletesebben értekezem.

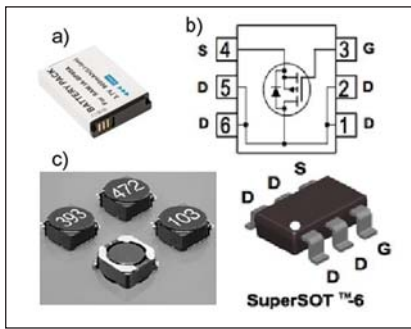
Az energiaellátó rendszer (EPS) feladatai

Az EPS (Electrical Power System) alapvető feladata, hogy az elektromos energia előállításáról, tárolásáról, szétosztásáról, szabályozásáról és monitorozásáról gondoskodjon. Az oldallapokról beérkező energia a szabályozatlan energiabuszra kerül, amelyre csatlakozik az első számú energiatároló egység, az akkumulátor. Az akkumulátor feszültsége tág határok (2,7...4,2 V között változhat töl-

töttségétől függően, ami nem használható fel közvetlenül a fedélzeti elektronikai eszközök táplálására, mert ezen eszközök jellemzően nem kapcsolhatók 3,6 V fölötti DC feszültségre. Szükség van egy átalakító eszközre, amely stabilizálja a fogyasztók számára szükséges tápfeszültséget a működés szempontjából biztonságos tartományba. Ezt a feladatot két redundánsan felépített SDC (Step Down Converter) tápegység látja el. Ezek a tápegységek tekinthetők a műhold „szívének”.

Az EPS további feladata, hogy biztosítsa az energiabuszok sértetlenségét bármelyik arra tápláló, vagy arról fogyasztó eszköz meghibásodása esetén. Ilyen feladat például az akkumulátor esetleges zárklata esetén a meghibásodott akkumulátor érzékelése és eltávolítása az energiabuszról, vagy az elsődleges tápegység meghibásodása esetén a hiba érzékelése, és a tartalék rendszerre való átállás zökkenőmentes megvalósítása.

A felsorolt feladatokon kívül az EPS vezérlő alrendszere, a PCU (Power Control Unit) monitorozza az energiarendszerre vonatkozó telemetria adatokat is, mint például az akkumulátor töltöttsége, az SDC áramkörök aktuális hatásfoka, vagy az energiabuszok leterheltsége. Ezeket az adatokat a PCU egységek dolgozzák fel, majd küldik tovább a központi fedélzeti számítógép számára.



3. ábra

A már bemutatott 2. ábra az említett szempontok alapján redundánsan megtervezett EPS rendszerszintű tömbvázlatát is magában foglalja.

A napelemek felől beérkező energia az első számú szabályozatlan energiabuszra kerül, ahol az akkumulátorban és a kerámia SM-kondenzátorokból álló kondenzátorbankban eltárolódik.

A 6 db redundáns MPPT (Maximum Power Point Tracking) áramkörrel ellátott napelem-oldal egységei gondoskodnak a napelemekből kivehető maximális teljesítményfelvételtől. Ezek az áramkörök az elsődleges energiabusznál összegződnek, kis veszteségű Schottky diódák segítségével. Így legrosszabb esetben, ha a napelem-oldalon valami meghibásodik és zárlatossá teszi a töltőkimenetet, a dióda megvédi az elsődleges energiabuszt és az ellátható marad az öt működőképes oldal segítségével.

Az EPS vezérlését és monitorozását a PCU egységek bonyolítják le, amelyek megfelelő védelemmel ellátva közvetlenül a szabályozatlan buszra csatlakoznak. Ezek az egységek adják ki az energiaellátó rendszer automatikus védelmi áramkörei számára a vezérlésére szolgáló jeleket, továbbá folyamatosan felügyelik az energiaellátás helyes működését.

Az első számú energiabusz feszültsége tág határok (2,7...4,2 V) között mozog az akkumulátor töltöttségétől függően. Az akkumulátort a beépített aktív kapcsolója védi a túltöltéstől, mélykisütéstől, zárlatoktól, és csatlakoztatja a szabályozatlan buszra. Egy kis méretű, egycellás, 900 mAh kapacitású Li-ion akkumulátor-

ról (3.a ábra) van szó, amelyet eredetileg a SAMSUNG BP85A típusú digitális kamerához szántak. Ezt az akkumulátort több lehetséges alternatíva közül a hőkamrás mérési eredmények alapján választotta ki csapatunk.

A „Current Limiter” kapcsolók a rendszer túláram- és zárlatvédelmét valósítják meg. Az áramkorlát elérése esetén az adott egység automatikusan szétkapcsol, ezzel megvédi a bemenetére kapcsolódó energiabuszt és izolálja a kimenetén jelentkező zárlatot. Ilyen kapcsolókon keresztül csatlakozik a szabályozatlan buszra a két függetlenül kialakított kapcsolóüzemű tápegység (SDC), amelyek kimenetei újabb védelmi kapcsolók bemenetére vannak kötve.

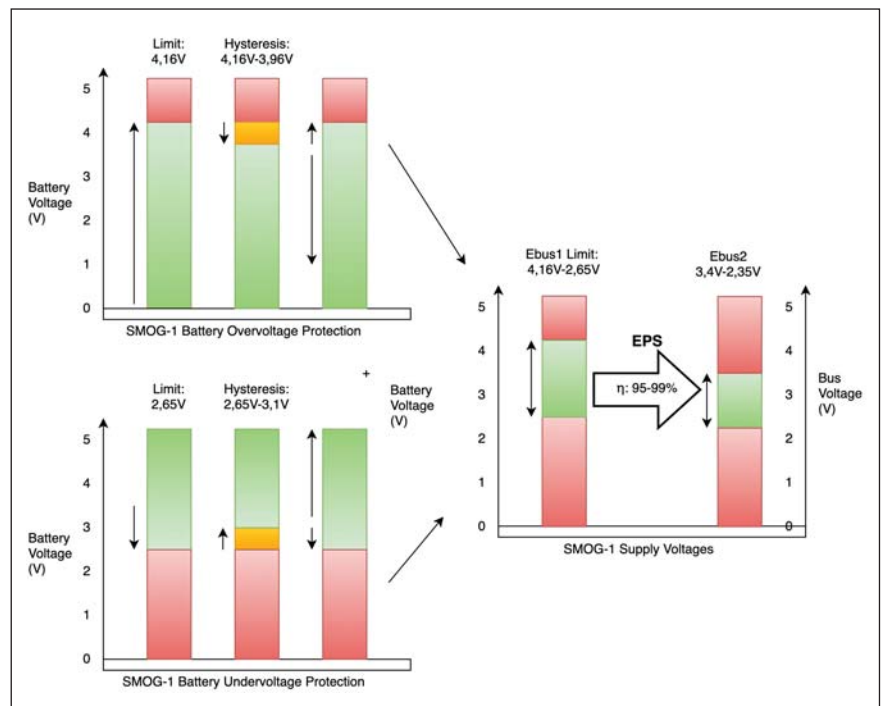
A „Voltage Limiter” kapcsolók túlfeszültségvédelmi funkciót valósítanak meg. Egy-egy adott egység csak akkor kapcsol össze, hogyha nincs a szabályozott buszra kapcsolódó eszközök veszélyeztető túlfeszültség a bemenetén. Ezek a kapcsolók folyamatosan ellenőrzik a tápegységek helyes működését.

Az ismertetett kapcsolók és az SDC áramkör segítségével egy láncot lehet felépíteni, amely a

szabályozatlan buszfeszültséget átalakítja a szabályozott buszfeszültség szintjére, valamint felügyeli az átalakítást és izolálja az esetleges hibákat. A lánc egy túláramvédelmi kapcsolóval kezdődik, amely monitorozza és szabályozza a szabályozatlan buszról felvett áramot, ennek a kimenetéről kapja a betáplálást az SDC tápegység és a túlfeszültségvédelmi kapcsoló. Az SDC áramkör a kimenetén üzemszerűen 3,47 V-os feszültséget állít elő. A túlfeszültségvédelmi kapcsoló is méri a lánc kimenetén az áramerősséget, így a buszfeszültségek és a védelmeken átfolyó áramerősség ismeretében monitorozható az átalakítás aktuális hatásfoka.

A megbízhatóság érdekében két teljesen független lánc biztosítja a SMOG műholdak fedélzetén a szabályozott buszfeszültséget. Ezek a láncok a szabályozott busz előtt összegződnek a kimenetükön elhelyezett Schottky diódák által. A szabályozott buszfeszültség a terheléstől függően 3,3 és 3,225 V közötti.

A szabályozott buszról kapja a tápfeszültséget a műholdban az összes további áramkör. A fedélzeti számítógép (OBC – On Board Computer), a rádiós integ-



4. ábra