

Az MRC-100 műholdon repülő kettes számú SZTE-s modul mérései

KISS ÁDÁM¹ – ANTAL LEVENTE² – SÜDI TAMÁS³ – KELEMEN ANDRÁS⁴

A kísérletek összefoglalása

Az elsődleges kísérletünkben az analóg-digitális átalakítók zaját vizsgáltuk. A kísérleti eredmények mérvadóak lehetnek, ugyanis az űr szélsőséges körülményei (sugárterhelés, folyamatos hőmérséklet-ingadozás széles hőfoktartományban) előidézhetnek akár egy öregedéshez hasonló, esetlegesen periodicitást mutató torzulást a mérési eredményekben. Összeállításunkban állandó értéket kellene mutatnia az átalakítónak, pontosabban annak állandó zaját kell kimérnünk. A kérdés, hogy ez állandó-e a műhold napszinkron pályájának minden pontján, illetve az űrben töltött küldetés elején és végén. A méréshez folyamatosan, a legtöbb mérésekhez képest alacsony mintavételi frekvenciával rögzítünk egy referenciafeszültséggel arányos potenciált. A legutóbb rögzített mérési eredményeket, illetve annak korábbi értékeiből készített hisztogramot sugározzuk vissza a Földre, ez alapján próbálunk majd következtetéseket levonni. Végül tudományos kérdésként az említett analóg-digitális átalakítók kalibrálásának űrben szükséges gyakoriságát szeretnénk meghatározni.

A másodlagos kísérletünkben a műholdon elhelyezett többi mérési kártya órajelének a bizonytalanságát mérjük. Ehhez a közös kommunikációs vonalon mérjük a beérkezett bitek hosszát, amiből egy hisztogramot készítünk. A mérés eredményeként láthatóvá válik, hogy mennyire kritikus precíziós időzítéseket alkalmazni egy zsebműhold fedélzetén. A kísérlet eredményeként arra számítunk, hogy vagy egyértelmű ajánlást tudunk tenni stabil órajelek számára, vagy felvethetjük egy tömeg- és térfogatcsökkentett – ezáltal jóval olcsóbb – megoldásként a belső órajelről működő mikrovezérlők használatát.

Harmadlagos kísérletként a kultúrát szólaltatjuk meg. Ebben az üzemmódban a műhold idézeteket és diákok üzeneteit fogja sugározni, ezzel is népszerűsítve befogadó intézmény (SZTE Móra Ferenc Szakkollégium) sokszínűségét.

Negyedleges kísérletként egy mágneses szenzort helyeztünk el az áramköri lapon, amivel reméljük, lehetőségünk lesz a pálya közben a mo-

1 SZTE SZAOK Élettani Intézet

2 SZTE Móra Ferenc Szakkollégium

3 SZTE Móra Ferenc Szakkollégium

4 SZTE JGYPK Informatika Alkalmazásai Tanszék, Szegedi Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium

dulunkat érő mágneses behatásokat – például a fedélzeten szintén elhelyezett helyzet szabályzó rendszer mágneses terét – vizsgálni.

Ötödleges kísérletként egy egyszerű hőmérőt helyeztünk el az áramkörben.

Hatodik kísérletként egy háromszor hármastáblán játszható amőba játék érhető el a műhold távvezérlésével.

Kísérletek áramköri megvalósítása

Az áramkör központi eleme egy ST Microelectronics gyártmányú STM32L010 típusú mikrovezérlő.

Meleg-tartalékolt helyi órajel-generátor

Mivel a használt szoftver – a mérési és kommunikációs értékek állandóságának biztosítása miatt – megköveteli a precíz órajelet, ezért nem használtuk a mikrovezérlő belső oszcillátorát, helyette egy tartalékolt külső órajelforrást terveztünk az áramkörre (1. ábra A1-B1-A2-B2). A tartalékolás során figyeltünk arra, hogy az elkészült nyomtatott áramkörtön mechanikai rezonancia alapján különböző helyekre kerüljenek kristályok, ugyanis ezeket tartjuk a legérzékenyebbnak a műholdat fellövés közben érő, rakétából származó mechanikai hatásoknak.

Állandó ADC érték előállítás

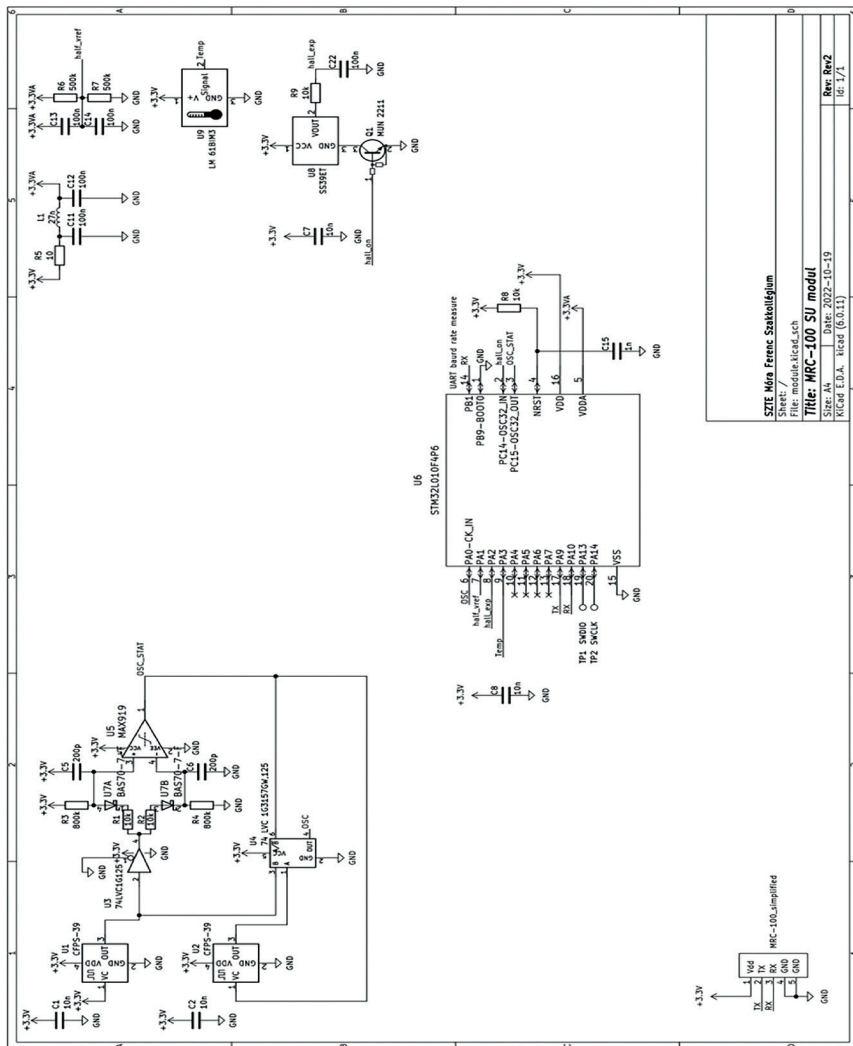
A használt mikrovezérlő referencias feszültségnek az AVCC címkéjű lábát használja. Erre a betáplálási pontra RLC szűrőt terveztünk, valamint egy kiegyenlített osztót. A kiegyenlített osztó a referencias feszültséggel arányos feszültséget állít elő, ami ideális esetben állandó ADC értéket eredményez.

Soros-vonali bitidő mérés

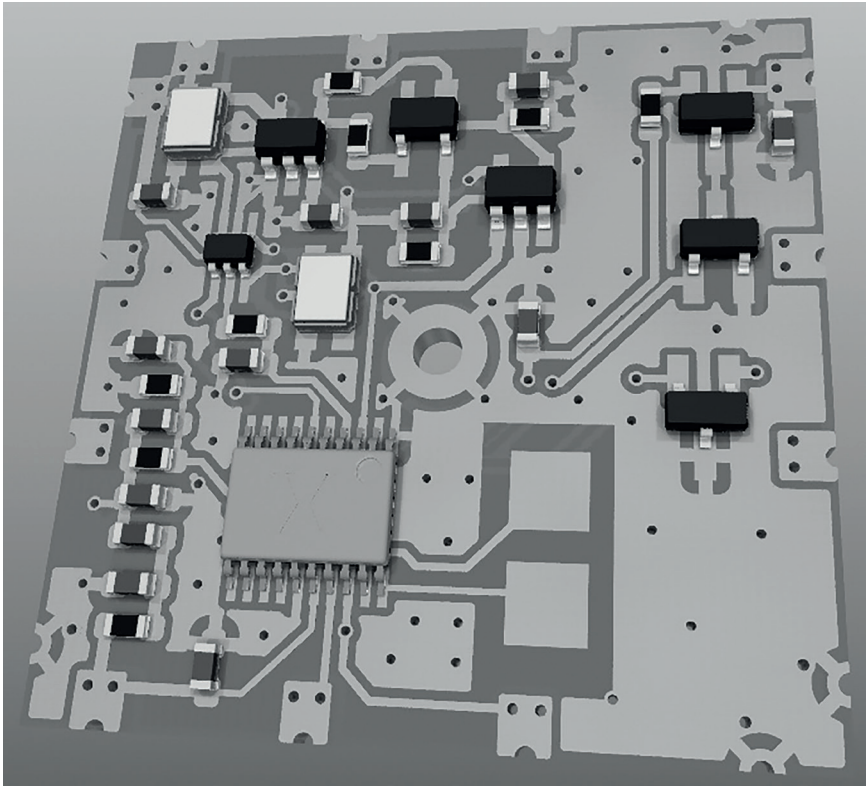
A bitidő méréséhez a mikrovezérlő számláló/időzítő egységét használtuk, a megfelelő eseménybemenetre kötöttük a soros-vonali jelet.

A számlálót úgy állítottuk be, hogy a kommunikációs vonal lefutó éleinél időpontját nézze. Ezen időpontok különbségéből könnyedén számolható a bitidő egy csomag végén, hiszen minden csomag lezáró-sorozata ismert.

$T_{bit} = \frac{t_1 + t_2}{7}$, ahol t_1 és t_2 az utolsó három lefutóél közötti időket jelöli. A lezáró karaktere – ami egy új-sor ASCII karakter – a start bittel együtt pont hét bitnyi időt ölel fel a lefutó éleivel.



1. ábra: A modul kapcsolási rajza



2. ábra: Az áramköri terv megvalósításának térbeli látképe

Idézetek leküldése

Az idézetek közvetlen leküldésére alkalmatlan volt az elérhető kommunikációs protokoll, mivel annak karakterkészlete erősen korlátolt, ezért egy Base64-szerű kódolást használtunk. A Base64 kódolás egy adott sextet kódolására a per karaktert használja, ami szintén tiltott karakter a rendelkezésre álló kommunikációs protokollban. Ennek elkerülésére ezt a sextetet egy mínusz karakterrel kódoltuk, ami megfelel a kapott előírásoknak.

Hőmérséklet és mágneses indukció mérés

A hőmérsékletet egy National Semiconductor által gyártott LM 61, míg a Honeywell által gyártott SS 39ET Hall-szenzorral a mágneses indukció nagyságát tudjuk mérni. A kapott feszültségértékeket a mikrovezérlő ADC-jével mérjük.

A modul szoftveres működése

A modul szoftvere a C++20 szabvány szerint íródott. A legtöbb mérés már áramköri szinten vagy a mikrovezérlő perifériáiban megtörténik. A vezérlő memóriájának egy részében strukturáltan tároljuk a működéssel kapcsolatos statisztikákat, mint a mikrovezérlő újraindításainak száma, kommunikációs hibák száma stb. A kommunikáció csomagjainak karaktereit egy UART periféria által indított megszakítás kezeli. Amikor egy csomag végére ért az algoritmus, akkor az időzítő perifériából kiolvassa a bitidőket, és ezeket eltárolja a csomagokkal együtt. A beérkezett és helyes csomagok egy körtárolóba kerülnek. Minden UART eseményről statisztika készül, amit a fent említett statisztikai célú struktúrában tárolunk. A program főciklusában figyeli, hogy a gyűrűs tárolóba érkezett-e új csomag. Amennyiben igen, úgy a protokollnak megfelelően válaszol rá. A hisztogramok egy adott memóriaterületen képződnek le, ezt a területet mérési területnek hívjuk.

A modulnak több szoftveres üzemmódja van, ezeket az éppen zajló mérés különbözteti meg egymástól. Más üzemmódokban más-más telemetria üzeneteket közöl. Ezen üzenetek első két karaktere ad egy képzetes címet az ezt követő adatoknak a fent említett módosított Base64 kódolással. Az első címek (AA-tól AD-ig) a korábban említett állapotinformációkat és statisztikákat tartalmazza, ezt követi a mérési memóriaterület leképezése. A telemetria üzeneteket az eszköz szekvenciálisan küldi le. A hardveres watchdog időzítőjének újraindításáért a főciklus felel. A modul programjának helyességét statikus kódelemzővel (Cppcheck) is ellenőriztük az egységteszteken és funkcionális teszteken túl, valamint fuzzi-tesztet is használtunk a megfelelőség ellenőrzéséhez.

Értékelés

Az elkészült áramkör a mérések alapján képes volt kommunikálni a műhold fedélzeti számítógépével. A felbocsátás várhatóan 2023 nyarán fog megtörténni. Az ezt követő hónapokban sikeres fellövést követően elérhetővé válnak az adatok, melyeket a megfelelő módszerekkel fogunk kiértékelni.

Az összeszerelt műholdról kapott fellövés előtti, földi adatok az alábbi szövegből olvashatók ki. Magát a lenti kimenetet egy saját fejlesztésű program gyártja a modulból kikerkező adatok alapján.

Bootnum: 1
Experiment: UART_RATES
Temperature: 25.9578 degree celsius
VCC: 3.3468 volts
Oscillator: PRIMARY
Voltage divider: 1.6162 volts
UART received chars: 2864
UART idles: 196
UART errors: 0
Measure errors: 0
Comm errors: 204 from which unknown command: 204
Unkown interrupts: 0

1. programkimenet: A modulról földi mérés közben lekérdezett állapotadatok szöveges ábrázolása

Köszönet

Köszönettel tartozunk a projekt ipari támogatóinak: RET Elektronika, Eurocircuits, FDH Kft., CSIHA Zrt. Köszönettel tartozunk továbbá a BME-nek, amiért biztosították számunkra ezt a lehetőséget.

Hivatkozások

A modul elkészítésének forrásanyagai: <https://github.com/moraszk/space-noise-o-meter>

Base64 kódolás: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Glossary/Base64>

C++20: ISO/IEC 14882:2020

Cppcheck: <https://cppcheck.sourceforge.io/>

Fuzz testing: <https://www.fuzzingbook.org/>

LM 61 adatlap: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm61.pdf>

SS 39ET adatlap: <https://www.ret.hu/media/product/31487/604357/ss39et-ss49e-ss59et.pdf>

STM32L010 adatlap: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32l010f4.pdf>

Experiments on the second payload of SZTE on the MRC-100 satellite

ÁDÁM KISS – LEVENTE ANTAL – TAMÁS SÜDI – ANDRÁS KELEMEN

In 2023 the Budapest University of Technology and Economics (for the anniversary of its Amateur Radio Club) launches its next satellite, the MRC-100. Generously they offered several Hungarian universities the opportunity to place their payloads on the satellite. Two modules of the University of Szeged were onboard. Other than a department-related one, a group of students also developed a circuit. This module contained several experiments described in this paper.