

A MAYFLY ONE REPÜLŐGÉP FEDÉLZETI IRÁNYÍTÓ RENDSZER FELÉPÍTÉSE: KÖZPONTI EGYSÉG (2. RÉSZ)

RESÜMÉ

Korunk egyik sikertémája a pilótánélküli repülőgépek fejlesztése és alkalmazása, melynek hazai katonai és polgári kutatásában a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskolája és az Elektronikai Hadviselés tanszéke vezető szerepet játszik. A tanszék oktatói, a HM EI RT és az Aero-Target BT közt példás együttműködés alakult ki, mely tükröződik az elkészült repülőgépekben és fedélzeti elektronikákban.

E cikksorozatban a szerző saját fejlesztésű robotpilóta rendszerét mutatja be, amelyet a Meteor-3 Mistral célrepülőgép modernizálására az Aero-Target BT megbízásából fejleszt. A cikksorozatban bemutatásra kerül a rendszer egyes részegységeinek működése, a megvalósított szabályzási algoritmusok és alapvető működési módok, valamint a fejlesztés fő iránya, célkitűzései.

A cikksorozat első részében a robotpilóta rendszer rövid általános ismertetése után, egy igen fontos részegység, a szervo vezérlő, került részletezésre.

Jelen cikkben a központi egység kerül bemutatásra, melynek fő feladata a repülőgép programozott pályán való végig vezetéséhez szükséges szabályzási és vezérlési algoritmusok végrehajtása, valamint a kormányfelületek kitérítéséhez megfelelő parancsjelek előállítása a szervo-vezérlő egység részére. A beépített szenzorok és GPS modul alapján elvégzi a repülőgép navigációját, magasság, sebesség és irány mérését. Ezen kívül felügyeli a repülőgép és elektronika üzemi paramétereit, és azokat a földi kiszolgáló egységhez továbbítja. Elsősorban a hardver tervezési szempontjai kerülnek kiemelésre.

A cikksorozat következő részében a repülőgép stabilitásáért felelős alrendszer áttekintése következik.

BEVEZETÉS

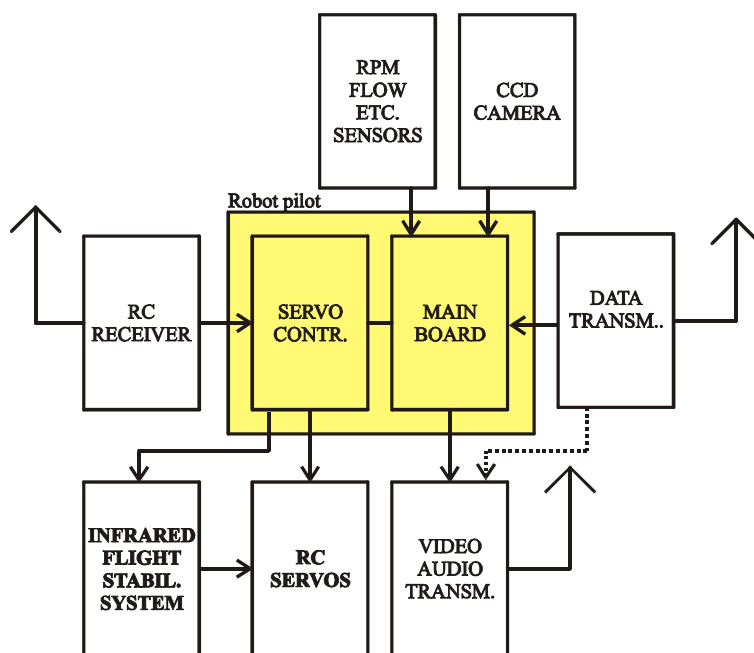
A cikk első részének megjelenése óta megszűnt a Nagyoroszi Légvédelmi Ezred és a Magyarországon egyetlen rakétás éleslövészetre alkalmas drégelypalánki lőtér. A Mistral-t kiszolgáló csapatokat Győrbe telepítették át, ahol bizonyos fokú gyakorlásra lehetővé tesz a helyi lőtér. A csapatok meghonosodása után, múlt évtől kezdve újra előtérbe került a modell repülőgépes célmegfogás gyakorlása. A gyakorlatok egy része Győrben, komplexebb része Kecskeméten zajlik. Az éleslövészeteket Lengyelországban, az Északi- tenger felett fogják tartani. Ha azt megelőző gyakorlatokon az Aero-Target BT szolgáltatásai megfelelnek a kívánalmaknak, akkor a lengyelországi éleslövészeten is a BT által gyártott repülőkre fognak a Mistral légvédelmi rakétával tüzelni. Sokéves, az Aero-Target BT saját elképzelése szerinti fejlesztés és önerőből történt finanszírozása után, a megrendelő először ismerte fel az automatikus irányítási elektronikával rendelkező céltárgy előnyeit. Múlt évi - a fejlesztő rendszerrel történt - sikeres robotpilótás tesztrepülések után, a cikk írásakor történik a prototípus fejlesztése, valamint rendszerintegrálása. A fedélzeti elektronikával szemben támasztott célkitűzések kialakításánál figyelembe kellett venni, hogy automatika ne csak a bizonytalan honvédségi megrendeléseknek tudjon eleget tenni, hanem kiegészítésekkel bármilyen civil és készenléti szolgálatok által támasztott alapvető igényeket ki tudjon szolgálni. Ezért moduláris kialakításra és a lehető legtöbb külső és belső interfész elérésére kellett törekedni. Alapvetően a feladatból következően, alacsony költségű és néhányszor felhasználható kivitelű eszköz kellett előállítani, azonban a megbízhatóság rovására semmilyen engedményt sem szabad tenni. A költségeket egy univerzális panel megtervezésével tudtuk csökkenteni, amelyet a felhasználási feladat

szerint ültettünk be és konfigurálunk. A cikk első részének megjelenése óta, a gyakorlati tapasztalatok és megfontolások alapján jelentősen megváltozott az automatika felépítése, koncepciója, ezért az áttevett rendszer blokkvázlata alapján ismételt bemutatásra kerül.

A MODERNIZÁLT METEOR-3 CÉLREPÜLŐGÉP FEDÉLZETI ELEKTRONIKÁJÁNAK FELÉPÍTÉSE

A Meteor-3 célrepülőgép modernizálása során célként tűztük ki, hogy a irányító rendszer és annak földi kiszolgálása egyszerű, megbízható és terepi körülmények közt is könnyen kezelhető legyen. A kezelőszemélyzet egyszerűen tudja beállítani és ellenőrizni az elektronika működését, akár a terepen nehézkes, megbízhatatlan PC-s támogatás nélkül is. A földi kiszolgáló rendszer egy egyszerű videó bemenettel rendelkező TV monitorból és opcionálisan választható 2,4GHz-es vevőből áll. Az előző fejlesztések során (HummingBird One) bevált, PC billentyűzetes adatbevitel annak előnyeivel megmaradt. Ez a megoldás egy olcsó és könnyen kezelhető ember gép interfész kialakítást tette lehetővé.

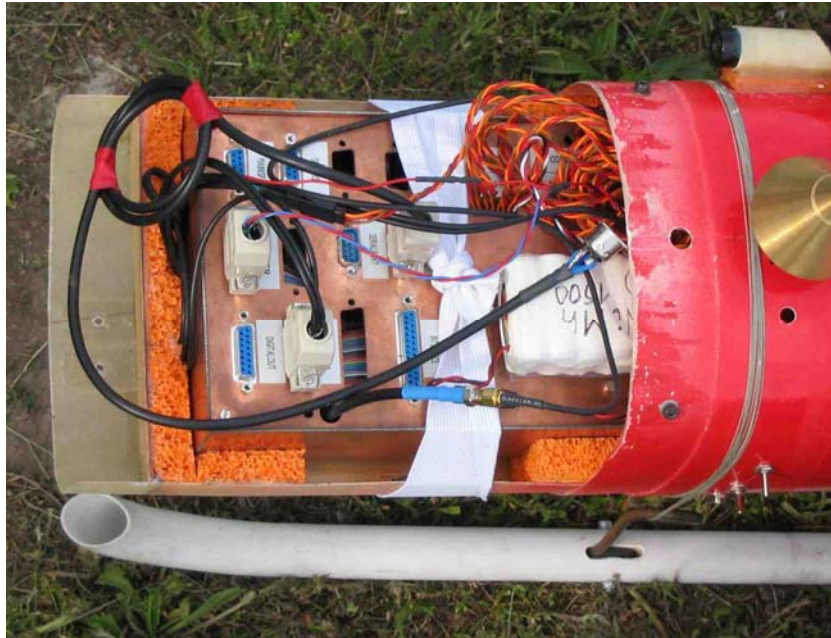
A rendszer képes videó kamera jelét fogadni, és arra telemetria információkat ültetni. A telemetria információkat is tartalmazó videojelet, egy a 2,4GHz-es szabad sávban működő, kisteljesítményű adóberendezés továbbítja a földi kezelőszemélyzethez. Az adó hangcsatornája alkalmas hangriasztások átvitelére vagy lassú adatátviteli csatorna kialakítására. Így a telemetria adatok, alkalmas földi feldolgozóegység kialakításával, digitális formában is az irányító központba juthatnak. Ha kétirányú adat adó-vevőpárt alkalmazunk, akkor a levegőben lévő gépet akár új útvonal berepülésére is programozhatjuk.



1. ábra. Pilóta nélküli repülőgép fedélzeti elektronikájának blokkvázlata

A repülőgép motorjának üzemi paramétereit és a meteorológiai adatok egy részét külső érzékelők dolgozzák fel, ilyenek például a motor fordulatszám, fogyasztás, hőmérséklet. Meteorológiai adatok közül fontos a külső hőmérséklet pontos mérése, fagypontérzékelés Pitot-cső fűtés szabályzására, az esetleges lefagyás megakadályozására. Ezen érzékelőket digitális interfészen kell illeszteni a központi vezérlőhöz. Jelenlegi kiépítésben ezen adatok nem kerülnek feldolgozásra, és az érzékelőket sem tartalmazza a rendszer.

A repülőgép fel és leszállaskori irányítása hagyományos RC távirányítóval történik, ezért a fedélzeti elektronika tartalmaz egy RC PCM vevőt, melynek jeleit a szervo vezérlő modul dolgozza fel és kapcsol kézi és automatikus üzemmód közt. A szervo vezérlő a cikksorozat első részében került ismertetésre.



2. ábra. A MAYFLY ONE fedélzeti automatika első példánya a Meteor-3 célrepülőgépbe beépítve

A repülőgép kormányfelületeit hagyományos a modellező által alkalmazott servók térítik ki, irányítástechnikailag végrehajtó szerv szerepét töltve be. Későbbiekben, a szakzsargonban elfogadott megnevezést alkalmazom. Ezek megfelelő üzembiztonsággal biztosítják a kitéréshez szükséges nyomatókat, és szabványos elektromos csatlakozófelülettel rendelkeznek. A különböző feladatokhoz megoldására, servók széles választéka áll rendelkezésre a kereskedelmi forgalomban, különféle méret, sebesség valamint teljesítmény tartományban.

A repülőgép helyzetstabilizálásáért egy az FMA Direct gyártmányú infravörös tartományban működő CPD4-es szabályzó a felelős. Ez az eszköz a föld-ég hőmérséklet különbségét használja ki a repülőgép vízszintesen tartására. Megfelelő működéshez, a csűrőhöz és a magassági kormány servóinak jelútjába kell beiktatni és az a kormánylapok kitérésével, akadályozza meg a repülőgép kereszt és hosszirányú túlzott bedöntését, lecsúszását és átesését. E rendszer működése és szabályozástechnikai analízise egy későbbi cikkben kerül bemutatásra.

A szabályzó elektronika moduláris felépítésű, így megkönnyítve az esetleges további fejlesztéseket, módosításokat valamint javításnál az egységenkénti cserét, hibakeresést. A központi egység felelős a navigációs és útvonal repülési feladatokért, ez hangolja össze a szervo vezérlőt a központi processzorral, gyakorlatilag a feladatok zömét látva el. A következő részben a központi egység feladatai és hardver elemei kerülnek részletezésre.

KÖZPONTI EGYSÉG

E szakaszban a központi vezérlő hardver felépítése és tervezési szempontjait ismerheti meg az olvasó. Minden robotpilóta rendszer fő feladata a repülőgép adott előre beprogramozott vagy útközben módosított pályán való végigvezetése. Ennek végrehajtásához elsősorban a repülőgép pillanatnyi földrajzi koordinátájának ismerete szükséges, amelynek meghatározása GPS-szel történik. A repülőgép magassága és levegőhöz viszonyított sebessége analóg nyomásmérők segítségével is mért, a

repülőgép relatív sebesség szabályzásához és a GPS kiesése esetén, redundáns adatszolgáltatás végett. Ezen adatok nélkülözhetetlenek egy jól működő robotpilóta rendszerben. A hardvert az azt alkotó blokkok segítségével ismerhetjük meg legegyszerűbben.

Az elektronika a következő főbb, jól elkülöníthető részáramkörökből épül fel:

- Tápegység és tápellátásért felelős blokkok, tápfeszültség szétosztás, belső háttérelem, referencia feszültség előállítás,
- RESET és tápfeszültség figyelőáramkörök,
- Mikrokontroller és azt kiszolgáló áramkörök, órajel előállítás,
- Videojel feldolgozó és feliratozó áramkör,
- GPS modul, soros adatátviteli illesztő áramkör, GPS antenna kiszolgálás, felügyelet,
- Abszolút nyomás jeladó és hozzá tartozó analóg-digitális átalakító,
- Differenciális nyomás jeladó és hozzá tartozó analóg-digitális átalakító,
- Belső hőmérsékletmérés, szenzorfűtés előkészítés,
- 2D digitális iránytű,
- Fordulatszám és fogyasztásmérő bemenetek,
- Soros RS232C, párhuzamos belső és rendszerbővítő interfész, külső bővítő interfész, billentyűzet csatlakozó,
- EEPROM memória,
- Programozó interfészek (ISP, JTAG, RS232C)
- LED kijelző.

Az e részegységek rövid felépítése és funkcionális leírása a következők: A robot pilóta rendszer névleges 12V-os telepfeszültségről működik, a tápegység ebből állítja elő a szükséges tápfeszültségeket. A kapcsolóüzemű tápegység 8-14,5V-os feszültségtartományban üzemképes, opcionálisan bővített bemeneti feszültségtartománnyal is kiépíthető, ekkor 8-30V-ról működhet (ekkor a névleges 12V-os külső áramköröket (adó) külön tápfeszültségről kell üzemeltetni). A tápbemenet fordított polaritás, túlfeszültség és túláram védett. Két automatikus szelektáló telepfeszültség bemenet van, ahol az egyik akkumulátor zárata esetén a másik veszi át annak szerepét. A tápegység biztosítja az egyes áramkörök (CMOS) stabilizált +5V-tal és 3,3V-tal (GPS modul), valamint a külső berendezések tápellátását. A külső egységek a +5V-os és az akkumulátor feszültséget zavaraszűrőn és öngyógyuló biztosítékon keresztül kapják. Az nagy érzékenységgű analóg áramkörök (nyomásmérők, kompasz, hőmérő, OSD, processzor belső analóg része), tápfeszültsége zavaraszűrővel leválasztott a digitális egységektől, földrendszere független. Az összes tápfeszültség (háttérelem, akkumulátor 1, akkumulátor 2, összegzett akkumulátor, +5V, +3,3V, szervo tápfeszültség, opcionálisan az adó tápfeszültsége) a mikrokontroller belső 10 bites analóg-digitális konverterével mérhető. Ennek a 4,096V-os referencia feszültséget egy nagy precizitású, kis hőmérsékletfüggésű sönt referencia áramkör szolgáltatja. Ha a tápfeszültségek közül a +5V 4,65V alá vagy a +3,3V 3V alá csökken, akkor egy reszet áramkör tiltja a processzor és a GPS modul alacsony tápfeszültségnél bekövetkező esetleges hibás működését. Ugyanez az áramkör felelős a külső és bekapcsolási reszet megfelelő időzítésű előállítására. A központi egység tartalmaz egy háttérelemet a GPS beállítások és annak gyors startjához szükséges adatok RAM-ban történő megőrzéséhez, valamint a belső valós idejű óra tápellátásához (konfigurációs és *ephemeris* (műhold pozíció), idő, belső óra, koordináta adatok). Természetesen ezt a feszültséget külső elem is szolgáltathatja választhatóan, de ez a bemenet csak fordított polaritás ellen védett a szivárgási áram minimalizálása végett.

Az útvonalrepüléshez szükséges algoritmusok és egyéb kiszolgáló rutinok egy 8 bites ATMEL gyártmányú ATMEGA128-as [1] mikrokontrolleren futnak. A szerény számítási teljesítménnyel rendelkező processzor mellett a következő érvek szólnak: kis fogyasztás, olcsóság, egyszerű fejlesztés, olcsó és kipróbált fejlesztő eszközök. A processzor egy 14,7456MHz-es külső kristályból kapja az órajelét, azért éppen ekkora az órajel frekvenciája, mert így biztosítható a szabványos soros átviteli sebesség. Még egy 32768Hz-es órajel is található, a processzor 1Hz-es vagy annak 2 hatványainak szorzott belső időzítéseihez (fordulatszám és fogyasztásmérés). A processzor áramkörbe beépítve három következő módon programozható: ISP, JTAG, soros interfészen keresztül. Az ISP interfész

minden körülmények közt rendelkezésre áll, a legmegbízhatóbb módja a firmware letöltésének. A processzor bizonyos kivezetései osztott szerepűek, ezért analóg kapcsolókkal kell váltani a programozó interfész és a másodlagos funkciók között. A JTAG interfész bizonyos áramkörben történő hibakeresést („debuggolást”) is lehetővé tesz a programozás mellett. Az első kettő interfész használata fejlesztés alatt javasolt. A terepi programozás soros interfészen keresztül „bootloader” programmal lehetséges, ekkor semmilyen kiegészítő programozó hardverre nincs szükség, a rendszer „upgradeje” egyszerűen elvégezhető.

A rendszer kijelzőként egy standard videó monitort használ beállításnál és repülés közben is. Repülés közben a fedélzeti videó kamera jelére ülteti a telemetria adatokat, így lehetővé téve az egyszerű megfigyelést. Ugyanezen a kijelzőn állíthatóak a rendszer és szabályzó paraméterek, fordulópont koordináták. A videojel feliratozását egy OSD IC végzi, amely bejövő videojel hiányában belső saját jelet képes előállítani. A képjel mellett lehetőség van különböző célú jelző és riasztó hangok előállítására. Az adó csatlakozóján az audió és videó jelek mellett, telepfeszültség és +5V áll rendelkezésre túláram védelemmel.

A fedélzeti elektronika „szíve” a u-blox gyártmányú 16 csatornás 4Hz-es adatszolgáltatási sebességű integrált GPS modul [2]. A hagyományos 12 csatornás vevőkhöz képest, nagy előnye ennek a modulnak, hogy a maximum 12 darab egyszerre rendelkezésre álló alacsonypályás GPS műhold mellett, képes venni a különféle geostacionárius pályán keringő SBAS¹ műholdakat (WAAS Észak-Amerika, EGNOS Európa, MSAS Ázsia).



3. ábra. Aktív QFHA és Patch antenna

Másik nagy előnye a ANTARIS[®] chip készletű GPS moduloknak a rövid feléledési idő és a másodpercenként négyszeri koordináta szolgáltatás [3]. A beépített modul aktív külső antennát igényel, így tápfeszültséget kell szolgáltatni a külső antenna számára. Különböző aktív antennák felhasználhatósága érdekében, választhatóan +5V vagy +3,3V-ot tud a rendszer kiadni az antenna táplálásához. A modul beépített antenna oldali rövidzár védelemmel rendelkezik, de külön áramkör gondoskodik a leszakadt vagy tönkrément antenna (nincs áramfelvétel) érzékeléséről. A repülőgépekben két fajta antennát kerülhet elhelyezésre: szokványos olcsó, egyszerű és könnyen szerelhető patch antenna és a nagy térbeli látószöggel rendelkező és ellensúlyként szolgáló földfelületet nem igénylő QFHA² antenna [4]. A GPS modul táplálása +3,3V-ról történik, a soros ki és bemenet 3,3V-os CMOS jelszintekkel dolgozik, ezért jelszint illesztést kell végrehajtani az 5V-os CMOS szintekhez. A GPS 1Hz-es kimeneti jele rendelkezésre áll rendszerszinkronizálási céllal.

A magasságmérés egyik lehetséges alternatív módja barometrikus nyomásméréseken alapul, a rendszer ezt egy 15-115kPa nyomástartományú, -40°C és +125°C [5] közti hőmérséklet tartományban hőkompenzált integrált érzékelővel méri. A szenzor kimeneti feszültsége szűrés után kerül egy 16 bites analóg-digitális konverterre. A szenzor kimeneti jele lineáris arányban változik nyomással, valamint a tápfeszültséggel arányos. Ezért a jó zavarsszűrés és zajelnyomás, valamint pontosság növelése érdekében szorzó típusú AD [6] konvertert került alkalmazásra melynek referencia bemenete

¹ SBAS (Satellite Based Augmentation System, Műholdas pontosító rendszer)

² Quadrifilar Helix Antenna

a szenzor tápfeszültsége. Így a szenzor kimenetének tápfeszültség változásra való érzékenysége a jelfeldolgozás során eliminálódik.

A levegőhöz viszonyított sebesség mérése Pitot-csővel történik, a jeladó kimenete differenciális nyomás, ennek elektromos jellé alakítását egy 0-10kPa méréstartományú differenciális nyomásmérő végzi. Kimeneti feszültségét egy hasonló, de teljesen független áramkör dolgozza fel, mint a magasság jeladóét.

Az elektronika belső hőmérséklete mért, annak érdekében, hogy szükség esetén az analóg szenzorok hőmérséklet függését kompenzálni tudjuk [7]. A nyomásmérők 0-85 C° tartományban 1,5% [8] hibára specifikáltak ezért nagyobb pontossági igény, vagy ezen a hőmérséklet tartományon kívüli működés esetén a hőmérséklet függvényében kompenzálnunk kell a mért értéket, vagy alacsony hőmérséklet esetén fűtenünk kell az elektronikát. A beépített érzékelő képes önállóan hőmérséklet szabályzóként működni, állandó beállított értéken tartva a belső hőmérsékletet, fűtő egység beépítése esetén alkalmassá teszi az elektronikát negatív hőmérséklet tartományú működésre is. A fűtés megakadályozza a nyomásmérők nagy hidegben történő lemeredését, befagyását. A külső hőmérő hasonló a belsőhöz, soros digitális adatátvitellel, Pitot-cső fűtési lehetőséggel.

Repülőgép orrirány meghatározásához tartalmaz egy digitális 2D-s iránytű modult [9], ennek segítségével induláskor a földön, statikus helyzetben is kijelölhető az útirány és csak a távolságot kell betáplálni a fedélzeti számítógépbe, annak érdekében, hogy az adott célpontot elérje. A 2D-s iránytű csak vízszintes helyzetben mér megfelelően, de repülés közben feltételezzük, az infravörös helyzet stabilizátor helyes működését, akkor egyenes vonalú mozgás és stabil magasság esetén a gép nincs bedöntve, az iránytű jól működik. Az iránytűvel mért orrirányból és a GPS által mért mozgási irányból következtethetünk a repülőgépre ható szél irányára.

A rendszerben motor fordulatszám és fogyasztásmérő számára két impulzusszámláló bemenet van előkészítve.

A rendszer moduláris bővítésére belső, külső interfészek tápfeszültség ellátással és egy ESD³ védett soros port áll rendelkezésre. Az interfészeken találhatóak I2C, SPI, ESD védett billentyűzet csatlakozó, párhuzamos szelektáló lábak, párhuzamos adatbusz a szervo vezérlőhöz, valamint a GPS soros ki és bemenetei a GPS szimulációhoz, külső reszet csatlakozás. A belső rendszerbővítő csatlakozó mechanikus kivitele lehetővé teszi több modul szendvicsszerű párhuzamos felfűzését, valamint logikai analízátor egyszerű csatlakoztatását a fejlesztés megkönnyítéséhez. A csatlakozók kiosztását a dokumentáció tartalmazza. A külső soros porthoz rádiós modem csatlakoztatható, a telemetria adatok és beállítási parancsok átviteléhez.

A panel tartalmaz egy 64kbyte-os beépített EEPROM memóriát belső konfigurációs és fordulópont koordináták elmentésére. A külső interfészen keresztül SD⁴ kártya közvetlenül csatlakoztatható az egységhez, és bináris módban könnyen és nagy adatátviteli sebességgel kezelhető. Így lehetséges a repülési adatok kártyára mentése és utólagos elemzése.

A tápfeszültségek meglétét (+5V, +3,3V), a GPS 1Hz-es szinkronjelét és a központi processzor működését világító diódák jelzik.

A fentebb ismertetett hardver önmagában „élettelen” elektronika a „lelkét” a rajta futó szabályzó és vezérlő szoftver adja, melyről egy későbbi cikkben lesz szó.

ÖSSZEGZÉS

A cikksorozat első részében digitális szervo vezérlő, a most közölt második részben a központi egység hardver felépítése és tervezési szempontjai kerültek bemutatásra. A központi egység áramköri felépítése viszonylag bonyolult, azonban az összetett feladat megköveteli a kifinomult elektronikát. A hardver részletes specifikációja után, a helyzet stabilizációs alrendszer működése, irányítástechnikai elemzése és gyakorlati felhasználásának eredményei a cikksorozat következő részében lesznek olvashatóak.

³ Electrostatic Discharge, Elektrosztatikus kisülés

⁴ Secure Digital Card, Biztonságos digitális kártya (digitális fényképezőkben használatos)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ATMEL, 8-Bit Microcontroller With 128k Bytes In-System Programmable Flash, ATMEGA128, ATMEGA128L Datasheet
- [2] U-BLOX, Antaris® TIM-LX GPS Modules, System Integration Manual/ Reference Design, Rev B, 21/07/2004
- [3] U-BLOX, TIM-LC GPS Receiver Module, Data Sheet, Rev C, 15. Sep 04
- [4] SARANTEL, Application Note, Geohelix™ Versus Patch Antennas, A Comparison Of Performance Characteristics, May 2003
- [5] MOTOROLA SEMICONDUCTOR Technical Data, Freescale Semiconductor, Inc., High Temperature Accuracy Integrated Silicon Pressure Sensor For Measuring Absolute Pressure, On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated And Calibrated MPXA6115A, MPXH6115A Series Datasheet
- [6] ANALOG-DEVICES, AD7790 - 16-Bit, Single-Channel, Ultra Low Power, Sigma Delta A/D Converter Datasheet
- [7] ANALOG-DEVICES, AD7414 - Smbus/I2C Digital Temperature Sensor In 6-Pin Sot With Smbus Alert And Over Temperature Pin, Datasheet
- [8] MOTOROLA SEMICONDUCTOR, Technical Data, FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC., MPX5010, MPXV5010G Series Datasheet
- [9] HONEYWELL, Digital Compass Solution, HMC6352 Sensor Products Datasheet