

MIKRO MÉRETŰ PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐK REPÜLÉSBIZTONSÁGI KÉRDÉSEI – ELEKTROMOS TÁPELLÁTÁS BIZTONSÁGA

Bevezetés

A pilóta nélküli repülő (UAV-k) alkalmazásának és elterjedésének feltétele a hibatűrő működés. Jelenleg számos nyitott kérdés is gátolja a bevezethetőséget, melyek közül talán az egyik legjelentősebb a jogszabályi hiányosság, vagyis jelen terület jogi szabályozatlansága.

A jogi szabályozás –feltehetően lesz ilyen- mindenképpen műszaki elvárásokat is magába fog foglalni, melyek a repülés biztonságát garantálják. A repülés biztonságát több műszaki tényező is befolyásolja. Ezek meghatározása mindenképpen az UAV méretével összefüggő csoportosításban tárgyalható. Cikkemben a kis méretű (mikro) UAV-k automatizálását biztosító **robot, repülésbiztonsági kérdéseit** tárgyalom. Ez a kategória nem ismeretes az ember irányította repülő eszközök kategóriájában, mert ezen UAV-k maximálisan szállítható hasznos terhe néhányszor tíz kilogramm, vagyis az ultrakönnyű repülő eszközök kategóriája alatti besorolás szükséges. Az ember (hajózó) vezette repülő eszközök műszaki repülésbiztonsági előírásai pontosan definiáltak, tehát méret szerint ugyanebbe a kategóriába kerülő pilóta nélküli repülőknél minimum ugyanezen előírásoknak kell megfelelniük. Természetesen a fedélzetre felkerülő eszköz – robotpilóta – műszaki definícióinak megjelenése szükségszerű.

A robotika működéséhez elengedhetetlen a biztonságos áramellátás. A felhasználható elektromos energia ugyanakkor véges, tehát annak felhasználása nem történhet pazarlóan.

Műszaki biztonsági kérdések

A műszaki biztonsági kérdések felsorolása előtt mindenképpen meg kell határozni az adott repülő eszköz **működtetési, üzemeltetési feltételeit**. Üzemeltetési feltételeknél kiemelt jelentőséggel bír annak meghatározása, hogy az adott pilóta nélküli repülő eszköz milyen időjárási viszonyok mellett alkalmazható és milyen magasságban. Fontos meghatározni azokat az időjárási körülményeket, melyek előfordulása esetén a UAV-nek meg kell szakítania a küldetését, azaz meg kell kezdenie a visszatérést, vagy egy arra alkalmas helyen kényszerleszállást kell végrehajtania.

A pilóta nélküli repülő „hajózoja” a robotpilóta, melyet az esetek túlnyomó részében egy digitális szinkron szekvenciális hálózat realizál. Ez a digitális szekvenciális áramkör működési szekvenciáját egy működtető program definiálja, azaz digitális számítógépről beszélünk. A központi számítógép, mint centralizált vezérlő meghibásodása az UAV zuhanásához vezetne, ezért a vezérlő egységet úgy kell kialakítani, hogy az hibatűrő legyen [1]. A hibatűrés redundáns elemek beépítésével valósítható meg. A központi vezérlő redundáns kialakítására jól ismert vezérlő struktúrák állnak rendelkezésre:

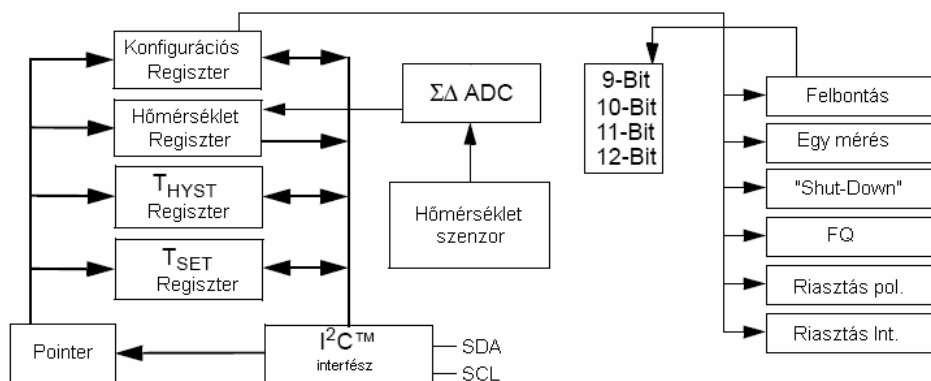
- melegtartalékolt struktúra (hot standby);
- terhelés megosztásos struktúra (load sharing)
- és a többség döntés elvén működő vezérlők.

A helyes működés szoftvertámogatást is igényel, vagyis az operációs rendszer kialakításának olyannak kell lennie, mely képes felismerni az egyes egységek, részegységek hibáját, majd képes az „átváltást” úgy elvégezni, hogy az ne legyen számottevő kihatással a funkcionális működésre.

Az áramköri egységek, valamint a mechanikai alkatrészek hibátlan működésének elengedhetetlen feltétele az egyes áramkörök hőmérsékletének, valamint a környezet hőmérsékletének ismerete. Jelentős környezeti hőmérséklet süllyedés elsősorban a mechanikus alkatrészek hibátlan működését

veszélyezteteti, azoknál fokozott figyelmet érdemel a lefagyás veszély. Alacsony hőmérséklet kihatással van a tápáramot szolgáltató akkumulátorok töltés tároló képességére is. Megemelkedett hőmérséklet szintén károsíthatja a mechanikai elemeket, de az elektronika túlmelegedését is eredményezheti. Magas hőmérsékleten károsodhatnak a rendszerbe épített elektrolit kondenzátorok (kiszáradás), valamint az akkumulátor egység tönkremenetelét is okozhatja.

A fent meghatározott okok miatt tehát elengedhetetlen legalább kettő hőmérséklet érzékelő eszköz elhelyezése az UAV fedélzetén. Az egyik hőmérséklet érzékelő a környezeti hőmérsékletet, míg a másik az elektronika, de elsősorban az akkumulátor hőmérsékletét méri. Az akkumulátor hőmérséklet mérése elengedhetetlen (kiemelten Li-ion és Li-polymer akkumulátorok tekintetében), ha az akkumulátor töltéséről a fedélzeten gondoskodunk. A töltés során lezajló kémiai jelenségek hőtermeléssel járnak. A hőtermelés gázképződést és mechanikai változásokat okoz. A túlmelegedés csökkenti az akkumulátor élettartamát, töltés tároló képességét, szélsőséges esetben akár azonnali meghibásodáshoz vezethet (például robbanás). Hőmérséklet érzékelésre korunkban modern, kis méretű eszközök (CHIP-ek) állnak rendelkezésre [3].



1. ábra. Hőmérsékletmérő CHIP funkcionális kialakítása

A fenti ábrán látható hőmérő CHIP I2C kommunikációs interfészen [4.] keresztül konfigurálható, valamint ugyanezen a kommunikációs csatornán érhető el a mért hőmérséklet digitális formában. Az A/D konverter felbontása a konfigurációs regiszterben megadható (9, 10, 11 vagy 12 bit). A konfigurációs regiszterben található továbbá az „egy mérés” (one-shot), valamint a „shut-down” bit, melyek segítségével a hőmérséklet mérő alacsony teljesítményigényű „alvó” állapotba kapcsolható. Alvó állapotban a CHIP teljesítményfelvétele legalább egy nagyságrenddel csökken a normál működési mód teljesítményfelvételéhez viszonyítottn. Ezt az adottságot teljesítmény takarékosági okokból ki is kell használni, hiszen az UAV fedélzetén szállított akkumulátor kapacitása véges, a fedélzetre telepíthető akkumulátor tömege pedig további hasznos terhek rovására megy.

Tápáram hatékony felhasználása - Csökkentett teljesítmény igényű üzemmóddal rendelkező mikrovezérlők és processzorok

A mikrovezérlő áramkörök és processzorok napjainkban kifinomult teljesítmény takarékos üzemmódokkal rendelkeznek [2]. Általában lehetőség nyílik a nem használt belső perifériák, részáramkörök leállítására, lekapcsolására. Ezzel a módszerrel az univerzális, programozható vezérlőt jobban az adott feladathoz igazíthatjuk, testre szabhatjuk.

Ébresztési stratégiák

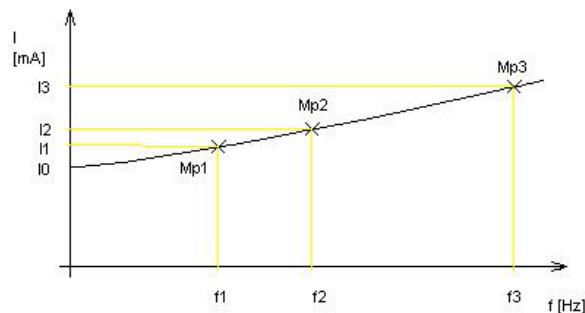
A mikrovezérlők egyes lekapcsolt, vagy teljesítménytakarékos módba állított belső perifériáit a megfelelő státusz bitek átváltásával ébreszthetjük fel, de egyes periféria ébresztéseket akár külső események is triggerelhetnek. A belső processzor mag elaltatása, vagy esetleges lekapcsolása esetén

szintén a működtető programnak kell a lekapcsolásról gondoskodni, a megfelelő konfigurációs bit állításával. A processzor-mag ébresztés viszont már nem történhet szoftveres úton, hiszen a leállított, vagy kikapcsolt processzor magon nincs utasítás végrehajtás. Az ébresztést kizárólag valamilyen hardver esemény indíthatja el. A hardver esemény általában processzor indítást (újraindítást) kezdeményezhet a RESET vonalon.

Kifinomultabb egységek esetén lehetőség van olyan konfigurációs beállításra is, melynél az újraindítás ébresztő impulzus valamely portlábon, vagy megszakítás vonalon érkezik. [2.]

Mikrovezérlő optimális órajelének megválasztása

A mikrovezérlők áramfelvételét a CHIP gyártói táblázatos formában, vagy grafikusan adják meg. Általános érvényű megállapítást tehetünk, miszerint, ha egy mikrovezérlő órajelét emeljük, úgy növekszik annak az áramfelvétele. Egy ilyen jellegű karakterisztikát a következő ábrán láthatunk:



2. ábra. Vezérlő egység áramfelvétele a szinkronizáló órajel függvényében

Tervezéskor a szinkron szekvenciális digitális hálózat ütemező órajelének megválasztásánál az tűnik célszerűnek, hogy az adott feladathoz illeszkedően a legalacsonyabb értékűnek választjuk, ekkor adódik a legkisebb áramfelvétel.

A 2. ábrán a választott frekvenciához tartozó tápáram felvétel pontját MP1-nek jelöltük, melyhez I1 áramfelvétel tartozik.

Az ilyen órajel választásnak több hátránya is van:

- A szoftver tervezés, fejlesztés lehetőségeit jelentősen korlátozza;
- A későbbi funkció bővítésének gátat szab, illetve megakadályozza azt, továbbá nehezen jósolhatóak előre azon események egybeesése, melyek a legmagasabb processzor terhelést idézik elő.

A fenti okból az MP1 „munkapont” csak elméletinek tekinthető.

Abban az esetben, ha az ábrán jelölt MP2 ponthoz tartozó órajelet választjuk, akkor az előzőekben megfogalmazott korlátok feloldódnak, de láthatjuk, hogy ez jelentős (és fölösleges) többletfogyasztást eredményez.

Szakaszos üzem mód stratégiája

Látszólag hibás döntésnek bizonyul az, hogyha az órajel frekvenciáját a szükségesnél jóval magasabbra választjuk, mivel a rendelkezésre álló időtartam néhány százaléka alatt az adott feladatot a vezérlő ellátja. A fennmaradó időben (sok esetben az időszak 90-95%) a mikrovezérlő, vagy a processzoros egység „feleslegesen” üzemel.

Jelentős teljesítmény disszipáció takarítható meg, ha ezen szabad időszakokra a processzort teljesítménytakarékos üzemmódra váltjuk. Ebben az esetben az átlag áramfelvétel a következőképpen alakul:

$$I_{\text{átlag}}(f_3) = t_a * I_3 + (1 - t_a) * I_{PD} \quad (1.)$$

A fenti összefüggésben (1.) **ta** -val azt az időtartamot jelöljük, amikor a processzor egység aktív, a működést periodikusnak tekintjük, a periódusidőt pedig egységnyiinek választjuk. Az **f3** áram az MP3 munkaponthoz, vagyis az ütemező frekvenciához tartozó áramfelvétel. A fenti függvény minimumát keressük, vagyis **f3** értékét úgy kell megválasztani, hogy az **I_{átlag} (f3)** minimum legyen. Ez az optimum-pont függvény szélsőérték kereséssel általában egzakt módon meghatározható, de a helyzet korántsem ilyen egyszerű, mivel a tervezés kezdeti szakaszában előre nehéz megjósolni, hogy egy adott működtető program pontosan mennyi gépi utasításból fog állni. A helyzetet tovább bonyolítja az, hogy a tervezés során (elsősorban a gyors és látványos eredmények elérése okán) egyre távolodunk a vezérlő egység gépi kódjától és manapság a mikrovezérlők mikroprogramját is magasabb szintű (például C) programnyelven írjuk. A fenti összefüggés látszólag többváltozós, de egy adott mikrovezérlő esetén a **ta** idő is a működtető **f3** frekvencia függvénye.

A feladat megfogalmazásánál további egyszerűsítéssel élünk, mely azt feltételezte, hogy összesen egy fix hosszúságú feladatot lát el a mikrovezérlő, vagyis a szakaszos működés periodikus. Ez a gyakorlatban általában nem így van, de ezt az egyszerűsítő feltételt jó közelítéssel alkalmazhatjuk, ha egy olyan tipikus periódust választunk megfigyelésnek (és a hozzá tartozó periódusidőt választjuk egységnyiinek), mely jó közelítéssel modellezi a működést, vagyis a megfigyelési idő minden „ébresztő eseményt” lekezelő task-ot tartalmaz. Ebben az esetben a gyakrabban lefutó task-ok futásidejének többszörösét kell alapul venni a **ta** idő számításánál.

Tápellátás biztonsági kérdések

Az előzőekben áttekintettük azt, hogy miként lehet az UAV fedélzetén rendelkezésre álló elektromos energiával takarékoskodni, azt hatékonyan felhasználni. A tápáram hatékony felhasználása ugyanakkor nem mehet a biztonság rovására. Elektronikus perifériát, valamint processzort csakis akkor szabad takarékos üzemmódra kapcsolni, ha annak pillanatnyi működésére nincs szükség. Az „elaltatott” (power-down, sleep stb.) eszközök éledési idejével is számolni kell. Bizonyos időnek minden esetben el kell telnie ahhoz, hogy a csökkentett teljesítmény igényű állapotból átváltunk normál működési állapotba (például oszcillátor frekvencia stabilizálódási idő).

A hatékony és takarékos energiatárolás kihatással van az UAV fedélzetén elhelyezett akkumulátor tömegére. Az akkumulátor méretét úgy kell meghatározni, hogy az a teljes küldetés időtartamára képes legyen ellátni tápárammal az UAV fedélzeti elektronikát. Az akkumulátor esetleges meghibásodása (például megszakadás, vagy cellazárlat stb.) azonnali működési zavart jelentene, ami az UAV zuhanásához vezet. Ezen okból az akkumulátoros egységet úgy kell kialakítani, hogy a fő akkumulátortól szeparált (akár kisebb töltéstároló képességű, ezért kisebb méretű) akkumulátor is kerüljön a fedélzetre. A vészhelyzetben tápáramot biztosító akkumulátornak legalább akkora töltéstároló képességgel kell rendelkeznie, hogy az UAV biztonságos földet-éréséig (minimálisan egy kényszerleszállás) minden fontosabb elektronika működése zavartalan legyen.

Az akkumulátor váltásnak olyannak kell lennie, hogy lehetőség szerint ne legyen adatvesztés a digitális memóriában. Elvárásként fogalmazhatjuk meg továbbá azt, hogy a szünetmentes tápáram biztosítását megvalósító áramkör olyan felépítésű legyen, hogy a működést sem teljesen megszakadt, sem pedig teljesen bezáratosodott akkumulátor ne blokkolhassa.

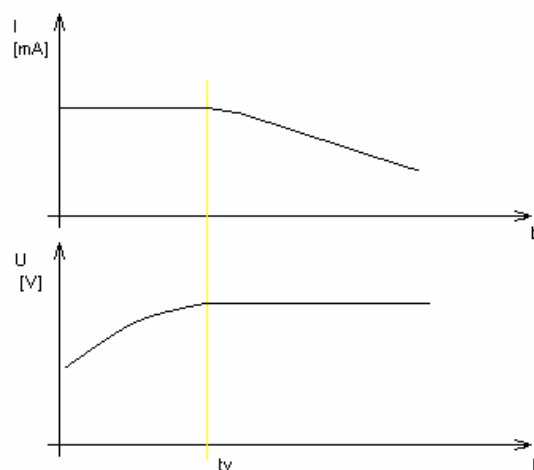
Robbanó motoros hajtóművel hajtott UAV-k esetében kialakítható akkumulátor töltő áramkör is, ezzel jelentősen csökkenthető a beépíteni szükséges akkumulátor kapacitás, így annak tömege is. Ez abból adódik, hogy az akkumulátor technika jelenlegi állása szerint a folyékony energiahordozóból előállítható elektromos energia-tömegarány, valamint az akkumulátorban tárolt elektromos energia-tömegarány az előbbi javára kedvezőbb. Az akkumulátorok töltési stratégiáját minden esetben az akkumulátorok kémiai összetétele szabja meg. Az adott akkumulátor típusra jellemző töltési stratégia be nem tartása negatív kihatással van az akkumulátor töltéstároló képességére (például memóriaeffektus), de extrém esetben azonnali meghibásodást is jelenthet. Az akkumulátor töltésénél a helyes pillanatnyi töltőáram meghatározásánál kiemelt jelentősége van a cella hőmérsékletnek, mely hőmérséklet mérés az előbbieken tárgyaltak szerint valószínűsíthető meg. Lítium ion (Li-ion) vagy lítium-

polimer (Li-polymer) akkumulátor esetében a töltési mód, az úgynevezett konstans áram – konstans feszültség stratégia, ami a következőt jelenti: Amíg az adott, töltés alatt lévő cella nem éri el a névleges cellafeszültséget (4,2V-ot), addig a töltő kör a töltést áramgenerátorosan, vagyis konstans árammal végzi. Ezt a konstans maximális töltőáramot minden esetben az akkumulátor gyártója specifikálja. A névleges cellafeszültség elérése esetén a töltési stratégiát át kell váltani feszültség generátoros jellegre, vagyis a kapocsfeszültség nem emelkedhet a névleges cellafeszültség érték fölé. Ez természetesen töltőáram visszaszabályozást von maga után.

A töltő áram és a kapocsfeszültség alakulását az idő függvényében a következő ábrán láthatjuk:

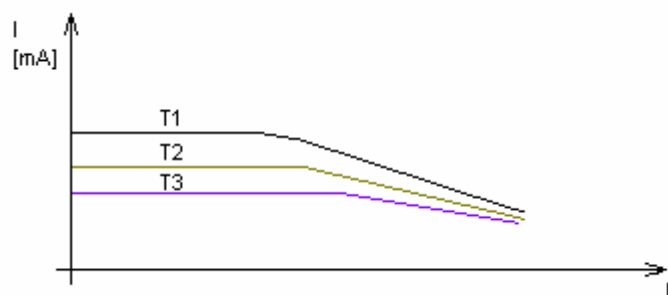
A töltési stratégia váltása a t_v időpillanatban történik meg. Az akkumulátor cella hőmérséklet növekedésével a töltő áramot vissza kell szabályozni, ezt a hőmérsékletben paraméterezett görbesereggel ábrázolhatjuk:

Egy bizonyos hőmérsékletérték (akkumulátor gyártó szerint megadott katalógusadat) elérésekor a töltést szüneteltetni kell, vagyis a töltő áram lekapcsolása válhat szükségessé.



3. ábra. Töltő áram és feszültség az idő függvényében

Az akkumulátor töltése kialakítható továbbá alternatív energiaforrás felhasználásával, például napelemek alkalmazásával. [5.] Merevszárnyas UAV-k esetén a napelemek a szárnyra rögzíthetők, mikro UAV-k esetén a szárnyak napcellákból alakíthatóak ki.



4. ábra. Töltőáram görbesereg az idő függvényében

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1.] WÜHRL Tibor: Mikro UAV-k vezérlő redundanciája, Fél évszázad forgószárnyakon a Magyar Katonai repülésben Szolnok, 2005.
- [2.] Dallas Semiconductors, Ultra –High Speed Flash Misrocontroller User’s Guide; www.dallassemi.com
- [3.] Microchip, Ultra –TCN75 2 wire serial temperature sensor; www.microchip.com
- [4.] Philips Semiconductors, I2C BUS protokoll; www.philipssemi.com
- [5.] TURMEZEI Péter: Elektrische Energie und Wasserstoffquelle: die elektrochemische Solarzelle
21th International Scientific Conference,
6 –7 May, 2004 Subotica, Serbia and Montenegro