

Akit a színpad füstje megcsapott...

Korán Ádám

Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és
Automatizálási Intézet
H-1084 Budapest, Tavaszmező utca 17. – TA.III.315
adam@koranadam.hu

Markella Zsolt

Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és
Automatizálási Intézet
H-1084 Budapest, Tavaszmező utca 17. – TC.IV.413
markella.zsolt@kvk.uni-obuda.hu

Napjaink nagy színpadi attrakciói nem valósulhatnak meg egyetlen apró, észrevétlen szereplő a füst nélkül. Ebben az előadásban bevezetjük az érdeklődőket a színpadi és a színpadon túli füstgépek világába, majd az általánosan szükséges ismeretek birtokában elkalauzoljuk egy konkrét géphez, melynek felújítása és átalakítása adja mondandónk szakmai részét.

A szakmai értekezés területei lesznek a gépek vezérléséhez használható DMX-512, a gépekben alkalmazott fázishasítás, hőmérséklet-szabályozás, biztonsági előírások. Végül az alkalmazott megoldások hardverterveibe és forráskódjaiba nyújtunk betekintést.

Kulcsszavak: füstgép, füsteffekt, DMX512

1. Bevezető

1.1. Mi a füst és mi a köd?

A füst olyan diszperz rendszer, ahol gáznemű anyagban szilárd anyagrészek találhatóak többé-kevésbé egyenletes eloszlásban.

Ködnek nevezzük diszperzitás szempontjából a gázban (gáznemű anyagban) eloszlott, folyadékcseppekkel telt anyagot.

Mint azt láthatjuk a két fogalom nagyon különböző. Fontos tisztázni, hogy a szakmában és a köznyelvben füstgépként emlegetett szerkezetek fizikai szempontból ködöt állítanak elő! (A színpadi szakmában megszokott megnevezéshez hűen tudományos pontatlansága ellenére a cikkben a füst kifejezést fogjuk használni.)

1.2. A hagyományos füstgép működési elve

A füstgépek működésük során glicerines vizes elegyet porlasztanak a levegőbe. A folyadékot egy előre felfűtött szűk zárt térbe az úgynevezett kazánba fecskendezik, ahol az anyag nagy sebességgel elpárolog és a nyomásnövekedés hatására kilövell a kazán fűvókáján a szabadba. Ez működés közben nagy zajt eredményez. [1]

2. A javított füstgép

A fejlesztés tárgyát képező füstgép évekig szolgálta a megrendelők igényeit különféle rendezvényeken, ám az egyik alkalommal a készülék belsejébe folyadék került, rövidzárat képezett és a panel összes kifeszültségű aktív elektromos alkatrészét működésképtelenné tette. A kazán és a folyadékpumpa átvészelte a balesetet, kiszáradás után megfelelően üzemelt tovább. A készülék csekély értékű, garanciája nem érvényes és a javíttatása gazdaságtalan, így ideális alany a kísérletezéshez, kutatáshoz.

A gép egy 1150 Watt fűtőteljesítményű kazánnal van felszerelve, melynek felfűtési ideje 8 perc. Üzemeleg állapotban 15 másodpercig képes folyamatosan füstöt kilövellni, ezután kettő – három percnyi fűtés következik. A gép kialakítása folyadéktartály nélküli. A boltban vásárolható két literes folyadék kannájával együtt a gépbe helyezhető, a kanna szájára az eredeti csavar helyett a szívócsövet tartalmazó lyukas csavart kell felhelyezni. Ennek a kialakításnak köszönhetően nem kell a folyadék áttöltésével bajlódni. A berendezés rendelkezik saját távirányítóval. Ez a távirányító vezetékes kapcsolatban áll az eszközzel, melynek minden funkcióját képes irányítani. A távirányítós vezérlés mellett beépítésre került a DMX512 színpadi buszrendszer támogatása is. A gép egy csatornás, DMX-en keresztül csak a kibocsátott füst intenzitása befolyásolható 0 – 100% tartományban lineárisan. [2]

2.1. A DMX512 buszrendszer rövid ismertetése

A DMX512 egy digitális adatátviteli szabvány, ami RS485-ös buszon alapszik és leggyakrabban a színpadi látványtechnika vezérlésében fordul elő. A szimmetrikus adatátvitelnek köszönhetően zavarokra kevésbé érzékeny, mint a korábbi aszimmetrikus analóg megoldások.

A DMX512 simplex kapcsolat, egyszerű master – slave rendszer, nincs lehetőség a visszajelzésre, a vezérlő folyamatosan küldi a parancsokat, amiket a vezérelt eszközök végrehajtanak. Ahhoz, hogy minden eszköz a tőle elvárt működést produkálja tudniuk kell értelmezni az adatfolyamot, ezt a címzés segítségével valósítják meg. Az adatfolyam folyamatosan küldésre kerül az adatvonalra, mind az 512 bájt. A bájtok közül a nulladik egy úgynevezett startkód, ehhez viszonyítva találják meg a készülékek a nekik szóló részt az adatfolyamból. Tulajdonképpen minden slave eszköz kap egy sorszámot, ami azt jelenti, hogy a nulladik bájttól számított hányadik bájt tartalmazza a neki szükséges parancsot. Ha egy készülék többcsatornás, például egy tizenkét csatornás dimmer, akkor a címe azt a kezdő sorszámot jelenti, amittől kezdődően az adatfolyamból értelmeznie kell a tizenkét csatornához szükséges tizenkét bájtot. [3]

2.2. Az eredeti vezérlőpanel és a megvalósítandó funkciók

Az eredeti NYÁK-on egy hagyományos transzformátoros tápegység szolgáltatja az energiát az áramköröknek. A transzformátorból érkező többféle váltakozó feszültséget egyenirányították majd soros áteresztő tranzistoros stabilizátorokra vezették. Így állt elő a +5V, a +12V és a -12V.

A panelen helyet kapott egy a típuszámától csiszolással gondosan megszabadított mikrovezérlő. Ehhez a 64 lábú controllerhez csatlakozott a DMX512 illesztését végző RS485 buszmeghajtó áramkör, a hőmérsékletmérést megvalósító műveleti erősítő áramkör, a folyadékpumpát hajtó TRIAC-os kapcsolás, a fűtőteljesítményt kapcsoló relé, a DMX kezdőcím megadására szolgáló DIP kapcsolósor és a vezetékes távirányító.

A készülék képes a füst mennyiségének szabályozására. Ezt úgy érték el, hogy a folyadékpumpát hajtó teljesítményt szabályozták, aminek hatására több – kevesebb mennyiségű folyadék jutott a kazánba. A pumpa teljesítményét fázishasítással módosították egy TRIAC-kal. Ennek a meghajtása optocsatolón át történt biztosítva a galvanikus leválasztást.

A DMX csatlakozás és a hozzá tartozó funkciók megmaradnak. A DMX512-n keresztül állítható füstintenzitás csak a folyadékpumpa fázishasított meghajtásával biztosítható, így ez is marad a meghajtást végző optocsatolós TRIAC-os megoldással együtt.

A kazán fűtését kapcsoló relé nagy helyet foglal és kapcsoláskor nagy áramot vesz fel a tápegységből. A relé közvetlenül nem kapcsolható a mikrovezérlővel és a kontaktusai is beéghetnek ezért ezt a megoldás nem marad meg. A fűtést is félvezető fogja kapcsolni, aminek köszönhetően kisebb transzformátor is elegendő.

A készülék kazánjában egy K típusú hőelem rejtőzik, ennek az illesztését végezték egy műveleti erősítő áramkörrel a mikrovezérlőhöz. Az áramkör szimmetrikus feszültségű táplálást igényel, ezzel növelve a tápegység költségét és bonyolultságát. A kazán hőmérsékletét feltétlenül mérni kell. A beépített hőelem nem hibásodott meg, ezért az felhasználható. A hőelem illesztése lehetséges a meglévő műveleti

erősítős megoldással, de mindenképp a kettős tápfeszültséget mellőző kialakítás a cél, hogy a táp tovább egyszerűsödjön.

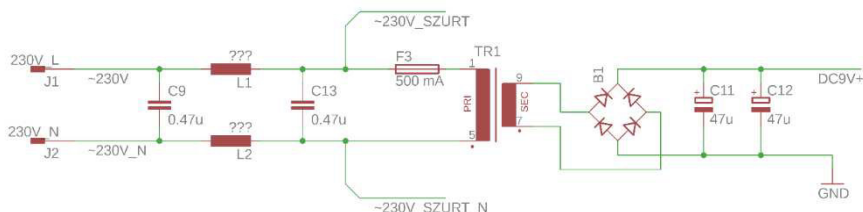
A készülék DMX kezdőcímét a lehető legegyszerűbb és ősbibb módon egy DIP kapcsolósoron lehetett megadni binárisan. A beépített kapcsolósor egyszerű és kényelmes megoldás, a továbbiakban is használatban marad.

A vezetékes távirányító egy 5 pólusú XLR csatlakozón keresztül kapcsolódott a gépre szükség esetén. Azt, hogy az öt vezetéken milyen kommunikációt végez a mikrovezérlővel lehetetlen megállapítani. Az öt vezeték közül kettő minden bizonnyal tápvezeték a maradék pedig valamilyen szinkron vagy aszinkron soros kapcsolat. A távirányítót szétszerelve sem derül ki közelebbi adat, ugyanis az abban rejtőző mikrovezérlő jelöléseit is alaposan lecsiszolták. Tekintve, hogy a központi mikrovezérlő működésképtelen nincs lehetőség a kommunikáció lehallgatására és megfejtésére ezért a későbbiekben a vezetékes távirányító elhagyása mellett döntöttünk.

3. A berendezés újjáépítése

3.1. A tervezett hardver

3.1.1. Tápegység

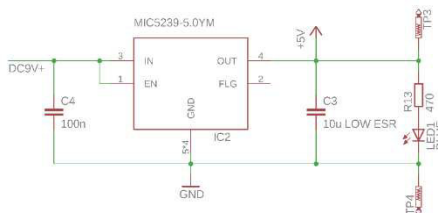


1. ábra

A stabilizálatlan egyenfeszültséget szolgáltató tápegység

A fent megfogalmazott gondolatok alapján az áramkör egyszerű +5 voltos tápfeszültségről működik majd. Ezt egy NYÁK-ra szerelhető 3VA-es transzformátor és egy LDO állítja elő. Az elvárt 5V-os kimeneti feszültség feltétele az LDO bemeneti oldalán meglévő 5 voltnál magasabb feszültség, ezért a transzformátor 9V-os váltakozófeszültséget állít elő a hálózati feszültségből. A transzformátor primer oldalára került egy biztosíték, mely a túláram védelemért felel. A szekunder oldalon nincs biztosíték, mert az LDO gondoskodik a megfelelő védelmekről. A transzformátor szekunder tekercse egy integrált Graetz hídra kapcsolódik, majd az előállított egyenfeszültség két darab 47 mikrofáradós pufferkondenzátorra. Tekintve, hogy a tápegységből csak pár miliamperes áramot vesz fel a kapcsolás többi része nem volt szükség ennél nagyobb kondenzátorra. A

feszültség a továbbiakban egy 100 nF-os hidegítő kondenzátoron át az LDO bemenetére jut, majd abból kilépve már stabil 5V formában a táplálandó részegységekhez.

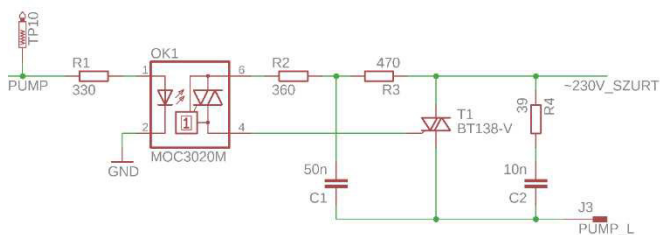


2. ábra
Az 5 voltos feszültségstabilizátor

Az említett LDO a Microchip – Micrel MIC5239-es integrált áramkörének fix 5V kimenettel rendelkező verziója. Ez az áramkör képes a bemenetén akár 30V fogadására – ezért a 9V-os transzformátor megfelelő - melyből stabil 5V-ot állít elő legfeljebb folyamatos 500 mA-es kimeneti áram mellett. Az IC rendelkezik hővédelemmel, áramkorláttal, túlfeszültség védelemmel és fordított polaritás elleni védelemmel is. Magasfokú integráltságának köszönhetően működése nem igényel külső alkatrészeket. A bejövő feszültséget a bemenetére és az enable lábára kell kapcsolni a kimeneti feszültséget pedig a kimeneti lábáról kell levenni. Ezen felül csak a föld lábát kell bekötni. Az IC az említettekén kívül rendelkezik még hibajelző open-collector kimenettel, amin jelez, ha a kimeneti feszültség 5%-kal az elvárt alá esik. Ezt a funkciót nem használjuk ebben az alkalmazásban. [4]

3.1.2. TRIAC-os teljesítményszabályozás

A tervezett kapcsolás bemutatását az „erősáramú” részek ismertetésével folytatva vegyük szemügyre a TRIAC-os meghajtó áramköröket. Ebből az áramkörből kettő darab teljesen egyforma került kialakításra. A folyadékpumpát és a fűtőszálat ugyanolyan alkatrészek képesek kapcsolni. A különbség csak a mikrovezérlőben futó szoftverben mutatkozik meg. A felhasznált áramkör BTA16 TRIAC-ra épül. [5]

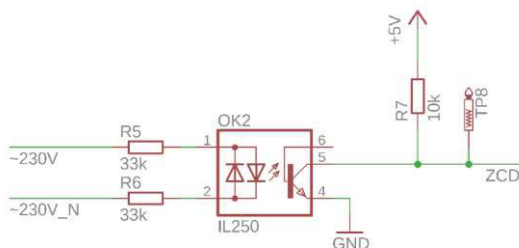


3. ábra
Galvanikusan leválasztott TRIAC-os teljesítmény-szabályzó áramkör

A TRIAC mikrovezérlős vezérléséről a MOC3020-ra épülő kapcsolás gondoskodik. A TRIAC begyújtása megoldható lett volna egyszerű tranzisztoros kapcsolással, ám

fontos a hálózati feszültség teljes galvanikus leválasztása a mikrovezérlőről és az 5 voltos környezetről. Ennek a kívánságnak a MOC3020 eleget tesz. [6]

3.1.3. Nullátmenet érzékelés



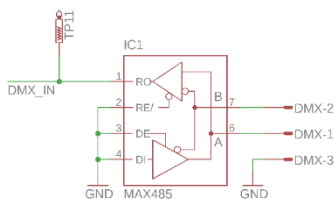
4. ábra

Galvanikusan leválasztott nullátmenet érzékelő áramkör

A nullátmenet figyelő működése a következő. A hálózati feszültség szinuszhullámának bármelyik félperiódusában az optocsatoló két LED-je közül valamelyik biztosan fényt bocsát a fototranzisztorra, amely emiatt vezet és a mikrovezérlő nullátmenet figyelő lábát földre húzza. Amikor a szinuszhullám a nulla volt közelébe érkezik az infra LED-ek kialszanak és a fototranzisztor lezár, erre a felhúzó ellenállás a mikrovezérlő lábát magas szintre húzza. Ebből a működésből következően akkor van nullátmenet, amikor a megfelelő bemeneti láb magas szintet kap. [7]

3.1.4. DMX512 jel illesztés

A kapcsolat fontos eleme a DMX512 illesztésért felelős RS485 busz meghajtó. Erre a feladatra a Maxim MAX485 áramkört választottuk és maradtunk az adatlapban ajánlott alapkapsolásnál. Mivel a kommunikáció ezen az RS485 buszon egyirányú az illesztő IC bekötéskor hardveresen beállítható a kívánt üzemmódba. [8]



5. ábra

RS485 busz illesztő áramkör

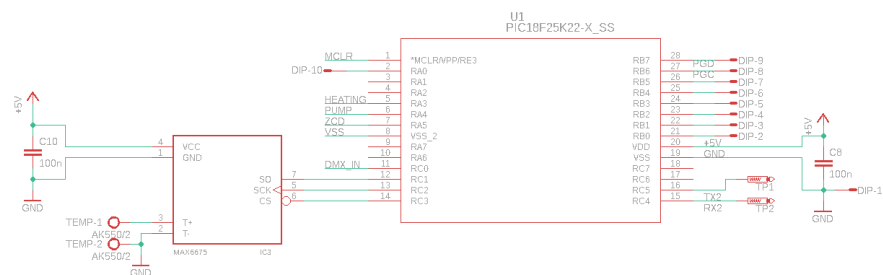
3.1.5. Hőmérsékletmérés

A feladat megoldásához megismerkedtünk a MAX6675 integrált áramkörrel, amely egy hidegponti kompenzációval ellátott K típusú hőelemhez fejlesztett analóg – digitális konverter. Működése nem igényel külső alkatrészeket, közvetlenül a

hőelemre köthető. (A kapcsolást lásd lentebb a mikrovezérlőnél.) A gyártói ajánlás szerint a hőelemhez minél rövidebb árnyékolt vezetékkel kapcsoljuk hozzá és a táp lábához a lehető legközelebb helyezünk el 100 nF-os kerámiakondenzátort. A hőmérsékletmérés hibáját növelheti a fázishasításból származó elektromos zaj, ezért különösen fontos az árnyékolás.

Ez az integrált áramkör nullától ezerhuszonnégy Celsius fokig képes hőmérsékletet mérni negyedfokos felbontással. Ezt figyelembe kell venni a kész készülék üzemeltetési körülményeinél is! Ettől kezdve a gép nem használható szabad téren nulla fokos környezeti hőmérséklet alatt, mert nem lesz képes az elektronika a kazán hőmérsékletének megállapítására. A hőmérő a mikrovezérlővel SPI kompatibilis soros interfészen tarthat kapcsolatot.

3.1.6. Mikrovezérlős központegység



6. ábra

A mikrovezérlő és a hőelem illesztő egység

A kisfeszültségű oldal legfontosabb eleme a mikrovezérlő. A mikrovezérlő egy Microchip PIC18F25K22 (A továbbiakban röviden csak PIC.) A működés során fontos szerepe van az Interrupt on Change perifériának. A periféria a kiválasztott lábak állapotát folyamatosan figyeli és a beállításoktól függően fel vagy lefutó élre megszakítást generál. Ezzel a megoldással fogja figyelni a rendszer a DMX512 kezdőcím megváltozását, illetve a hálózati feszültség nullátmeneteit is.

A controller első számú UART perifériája hardveres szinten képes a DMX adatfolyam értelmezésére a megfelelő paraméterezés után. Ezt a funkciót figyelembe véve választottuk ezt a mikrovezérlőt a projekthez.

3.2. A tervezett szoftver

A szoftver meglehetősen összetett és nagy kódból állt össze, melyet teljes egészében nem cél bemutatni. Csak a működés megismeréséhez szükséges kisebb részletekről számolunk be a terjedelmes inicializáló kódok nélkül.

3.2.1. Interrupt on Change (IOC) használata

A tervek szerint a szoftver két dolgot kezel IOC segítségével. A DIP kapcsolók változását és a nullátmenet érzékelést, ezért ezekhez a lábához került beállításra a periféria. A DIP kapcsoló minden kapcsolójának bármilyen változása, a nullátmenetnek csak a felfutó éle vált ki megszakítást.

```
void PIN_MANAGER_IOC(void) {
    if (IOCAFbits.IOCAF5) { //nullátmenet
        IOCAFbits.IOCAF5 = 0; //flag törlése
        HEAT_LAT = (~EnableFromHeat) & 0x01;
    }
    else {
        IOCAF = IOCBF = 0; //Interrupt flagek törlése
        DMX_Address = (uint16_t) (~((DIP10_GetValue() << 8) | PORTB)) &
0xFF;
        DMX_Data = 0;
    }
}
```

A fenti kódrészlet az IOC megszakítás kiszolgáló rutinja. A kód megállapítja mely lábon történt változás, törli a megszakítás jelző flaget majd elvégzi a kívánt műveletet. A megszakítás kiszolgálását azzal kezdi, hogy eldönti nullátmenet történt-e. Ha azon a lábon volt változás törli a lábhoz tartozó flaget. Az igaz ágban található második utasítás a kazán fűtésének feltételes bekapcsolása. A HEAT_LAT névvel ellátott regiszter értéke határozza meg a fűtőteljesítmény jelenlétét a kazánon. Az, hogy valóban szükség van-e fűtésre nem itt dől el, azt a hőmérsékletet mérő kód dönti el és jelzi az EnableFromHeat szemaforral. Ez a szemafor abban az esetben rendelkezik '1' értékkel, ha a hőmérséklet megfelelően magas, nincs szükség fűtésre tehát a füst kibocsátás a fűtő áramkör részéről engedélyezett. Innen ered a neve, Enable from Heat. Ha a kazán kihűlt és fűteni kell, akkor ennek az értéke logikai nulla, mert nem engedélyezett a füst kibocsátás. Ebben az esetben a kimenetet magas szintre kell állítani, de ez nem tehető meg bármikor. A kazán kilowattos terhelést jelent a hálózat számára, nem célszerű véletlenszerűen bekapcsolni például a szinuszhullám csúcsánál. Ezt elkerülendő van itt a fűtést kapcsoló láb állapotának megadása a nullátmenetet jelző IOC megszakításban. Ha éppen nullátmenet van, akkor kapcsolható a kazán, ha szükséges. Ezt foglalja C kódba az igaz ág második sora.

Ha nem a nullátmenet figyelő okozott megszakítást, akkor kizárásos alapon csak a felhasználó módosíthatta a DMX-512 kezdőcímet, ezért a hamis ágon ezt kezeli a szoftver. A cím beállító kapcsolósor tíz darab kapcsolóból áll melyek közül kilenc darab használatos. Minden egyes kapcsoló megfelel a készülék DMX512 kezdőcíme bináris ábrázolásának egyik – egyik bitjének. A kapcsolósor nem csak beállítja, de fizikailag tárolja is a címet, ezért nem kell nemfelejtő memóriát használni a beállítás megőrzéséhez.

3.2.2. A DMX512 feldolgozása az UART1 segítségével

A felhasznált PIC első UART perifériája képes a DMX adatfolyamot hardveresen feldolgozni és csak a címzés szerinti szükséges adatokat visszaadni az adatfolyamból. Ez a megoldás sok terhet levesz a programozó és a processzor válláról. A bevezető anyagban ismertetett DMX512 ismeretek közül emlékezzünk a DMX címre. Mindössze ennek az ismerete szükséges az UART periféria számára, hogy a kívánt darabszámú bájtot szolgáltatssa az adatfolyamból. [9]

Az UART által szolgáltatott adatokhoz csupán a periféria konfigurálása szükséges, a fogadott adatokat a PIC első DMA csatornája automatikusan a megfelelő változóba juttatja amint az lehetséges.

3.2.3. A közvetlen memória hozzáférés (Direct Memory Access)

A PIC18-as család DMA vezérlői rendelkeznek Trigger és Abort bemenettel. A Trigger bemenetre érkező jel indítja el a DMA periféria működését, míg az Abort bemenetre jutott jel leállítja azt. Az elindulás után a periféria a megadott számú bájtot továbbítja a megadott módon. Képes egy memóriacímről egy másik memóriacímre másolni állandóan, de lehetőség van a forrás és / vagy célcím inkrementálására és dekrementálására is. A DMA a PIC összes létező memória területét képes elérni így a programmemóriát is, ezért körültekintően kell használni!

A DMA periféria feladata az érkező bájtok mozgatása az UART1 vételi regiszterből a DMX_data változóba.

3.2.4. A hőmérsékletmérés

A hőmérő áramkör nem képes jelezni új mért eredmény jelenlétét, ezért azt periódikusan ellenőrizni kell. Erre a célra használjuk el a Timer0-t, ami egy másodpercenként okoz megszakítást. Mivel a hőmérséklet lassan változó jellemző és ez az alkalmazás kevésbé kényes a pontosságára ez a periódusidő megfelelő választás.

A MAX6675 képes 4 MHz sebességgel is kommunikálni. Ettől a sebességtől a PIC I/O műveletei elmaradnak, ezért a kommunikáció során nem kell kínosan ügyelni a megfelelő időzítések betartására. A fent említett kódrészlet az adatok beolvasása után megvizsgálja, hogy a hőmérő rendben működik-e. Amennyiben problémát talál lehetetlen hőmérséklet értéket visszaadva jelzi a meghívójának a problémát. Ezt a hőmérséklet számoló függvényt a már említett Timer0 megszakítása hívja meg.

Ez a megszakítási szubrutin megvizsgálja a mért hőmérsékletet majd az alapján döntést hoz a fűtésről és egyben a lehetséges füst kibocsátásról. Ha fűteni kell a kazánt, azt nem itt kapcsolja be, hanem a korábban ismertetett nullátmeneti IOC megszakításban.

3.2.5. A főprogram ismertetése

A szoftverbe beérkezett adatok feldolgozása a főprogramban történik. Itt dönti el a mikrovezérlő, hogy a kapott DMX-512 adatbájt értéke milyen műveletet kíván. 0-30 értékek között a készülék nem bocsát ki füstöt, 30-tól felfelé lineárisan egyre nagyobb mennyiségűt. A kibocsátott füst mennyisége a kazánba juttatott folyadék mennyiségével változtatható. A folyadék mennyisége pedig a szivattyúra kapcsolt villamos teljesítménytől függ. Ez a teljesítmény fázishasítással van szabályozva, amit a Timer2 végez One Shot üzemmódban minden periódusban.

```
if (DMX_Data < 30) EnableFromDMX = 0; //OFF
else if (DMX_Data > 30) {
    /* A DMX adatfolyamban érkező adatok közül a 30 - 255 tartomány jelent
    * értelmes vezérlést.
    * A Timer a 0 - 164 tartományban képes a fázisszög beállítására.
    * A DMX adatok tartományát a Timer tartományára kell konvertálni.
    * A konvertálást szorzás oldja meg: 164 / (255 - 10) = 0.661
    * A DMX adatfolyam és a fázisszög fordítottan arányos, ezért kell
    * egy kivonás is: 164 - Data = fázisszög *
    D_DataTemp = (DMX_Data - 10) * 0.661; //double típus!
    T2PR = (uint8_t)(164 - D_DataTemp); //castolás egészre és átadás
    EnableFromDMX = 1;
}
```

3.2.6. A fázishasítás megvalósítása a Timer2 segítségével

A fázishasítás lényege, hogy a fogyasztóra nem engedjük eljutni a hálózati feszültség teljes félperiódusait, hanem csak egy részét. Ezt a nullátmenettől számított időméréssel valósíthatjuk meg. A kívánt teljesítmény arányos a nullátmenettől eltelt idővel. Ezt az időmérést valósítja meg a Timer2 One Shot üzemmódban. A One Shot üzemmód azt jelenti, hogy a Timer az elindulása után elszámol a megadott értékig, kivált egy megszakítást és befejezi a működést. A választott PIC-ben a Timer2 rendelkezik trigger bemenettel, ami a megfelelő pillanatban elindítja a számlálást. Ez a trigger bemenet a T2IN, ami ezen PIC18 családnál szabadon elhelyezhető bármely I/O lábon. Az áthelyezhetőségnek hála be tudtuk állítani, hogy a T2IN legyen összekapcsolva a nullátmenet figyelő lábbal, így nullátmenetkor automatikusan elindul az időmérés. A Timer2 által lemért időtartamot a T2PR regiszteren át a főprogram határozza meg a DMX512 parancsok szerint. Minél nagyobb a T2PR értéke, annál kisebb teljesítmény jut a folyadékpumpára és annál kevesebb füstöt ad a készülék. A Timer2 számlálási sebességét úgy kellett meghatározni, hogy a lehető legjobb felbontással hasítható legyen a hálózati feszültség egy félperiódusa.

A trigger jel megérkezése után elindult számlálás végén egy megszakítási szubrutin hívódik meg, amiben a folyadékpumpa bekapcsolása történik az engedélyező jelek függvényében.

```
void TMR2_ISR(void) {  
    PIR4bits.TMR2IF = 0; // Timer2 megszakítás flagg törlése  
    PUMP_LAT = (uint8_t)(EnableFromDMX & EnableFromHeat);  
    __delay_us(10); //Egy rovid impulzus eleg begyujtani a triakot  
    PUMP_SetLow();  
    TMR2_Start(); //A kovetkezo nullatmenettol megint mehet a timer  
}
```

A teljesítményt kapcsoló TRIAC-ok működési elvéből fakadóan nincs szükség folyamatos bekapcsolt állapotú jelre a félperiódus alatt, sem kikapcsoló jelre. A TRIAC-ok egy rövid impulzussal begyűjthetők, majd a félperiódus végén közel a nullátmenethez maguktól kialszanak. A One Shot üzemmódnak köszönhetően a Timer ettől kezdve nem dolgozik tovább, nem vár újabb trigger impulzusra. Mivel a hálózati feszültség és a gép működése is periódikus a Timer2-t újra el kell indítani a művelet végén, ezt teszi a megszakítási szubrutin utolsó kódsora.

4. Összefoglalás

Jelen cikk megírásáig a projekt a laboratóriumi körülmények közötti élesztésig és tesztelési jutott el, ezért az új elektronika színvonaláról nem tudunk beszámolni. A labortesztek alkalmával a fázishasítás megvalósítása mutatott gyengeségeket. A nullátmenet érzékelési pontatlansága miatt a fázishasítás csak hozzávetőlegesen 20% és 80% közötti teljesítményt tudott kiadni a kimenetre. A 20%-os alsó küszöb nem jelent gondot, mert a folyadékszivattyú tehetetlensége miatt ilyen kicsi teljesítményre meg sem bír mozdulni. A 100%-os kimenet hiánya zavaróbb probléma. Ezt úgy orvosolhatjuk, hogy bizonyos elvárt szint felett a főprogram nem fázishasítással hajtja meg a pumpát, hanem nullátmenetkor teljes teljesítményt kapcsol rá, akár csak a kazánra.

Előre látható probléma lesz a berendezéssel, hogy a füst kibocsátási karakterisztikája nem fog egyezni a gyári állapotú azonos típusú berendezésekkel. Ez további hosszadalmas finomhangolással korrigálható a főprogramban végzett számítások módosításával. A problémát még fel kell tárni és mérlegelni kell a javításba fektetendő energia mennyisége alapján a feladat elvégzését.

Felhasznált irodalom

- [1] <http://www.safex.de> – 2018. január
- [2] Stairville VertiFog VF1200 adatlap – 2018 Február 13 ID 362289 – www.thomann.de
- [3] Korán Ádám – Art-Net – DMX512 átjáró Raspberry Pi alapokon – Tudományos Diákköri Dolgozat 2016
- [4] Microchip Micrel MIC5239 adatlap – 2007 December M9999-121007 – www.microchip.com/mic5239
- [5] ST BTA16 Triac adatlap – 2010 Március Doc ID 7471 Rev 9 – www.st.com
- [6] MOC3020 adatlap – 2005 Doc Rev. 1.0.2. Fairchild Semiconductor Corporation – www.fairchildsemi.com
- [7] Vishay IL250 adatlap – 2018 február 21 Doc. Num.: 83618 Rev. 1.9 – www.vishay.com
- [8] Maxim MAX6675 adatlap – 2014 április 19-2235 Rev. 2 – www.maximintegrated.com
- [9] Microchip PIC18(L)F24/25K42 adatlap – 2017 DS40001869B – www.microchip.com/pic18f25k42