

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Műszertechnikai és Automatizálási Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

DMX512 RECORDER FEJLESZTÉSE

Szerző: **Bognár Gábor**
V. félév

Konzulens: **Valkai Zoltán**
mestertanár

Budapest, 2012.

1 Tartalom

2	MOTIVÁCIÓ.....	3
3	BEVEZETÉS	4
3.1	Fénytechnikai fogalmak áttekintése.....	4
3.2	A színpadi világítástechnika történetének áttekintése.....	9
4	A DMX512 SZABVÁNY ÉS PROTOKOLL	21
4.1	Előzmények.....	21
4.2	A fizikai réteg.....	22
4.3	Kommunikáció, protokoll	23
5	ELVÁRÁSOK	26
5.1	Biztonságtechnikai elvárások.....	26
5.2	Felhasználói elvárások	26
6	A TERVEZÉS MENETE.....	27
6.1	A vonatkozó biztonságtechnika áttekintése	27
6.2	Funkcionális tervezés	27
7	A RÉSZÁRAMKÖRÖK ISMERTETÉSE	29
7.1	Tápegység	29
7.2	RS485 Interfész.....	31
7.3	SD kártya interfész.....	33
7.4	Mikrovezérlő, digitális perifériák.....	35
7.5	USB-DMX512 protokoll konverter és interfész	38
8	SZOFTVERFEJLESZTÉS SZIMULÁCIÓ	40
9	A PROTOTÍPUS GYÁRTÁSA.....	42
9.1	NYÁK tervezés, gyártás.....	42
9.2	Mechanikai kivitelezés.....	44
9.3	A működés ismertetése	44
10	MÉRÉSI EREDMÉNYEK.....	45
11	A FEJLESZTÉS SORÁN TAPASZTALT PROBLÉMÁK.....	47
12	FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK	48
13	ÖSSZEGZÉS	49
14	IRODALOMJEGYZÉK.....	50

2 MOTIVÁCIÓ

Nagyobb rendezvények esetén a vizuál- és világítástechnikai eszközök vezérlése TIA/EIA RS485 szabványú terepi buszon keresztül történik DMX512 protokoll - lásd később - segítségével. Ebben az esetben az eszközök vezérléséhez egy vezérlőpultra is szükség van, amely létrehozza az szabványos DMX512 kereteket. Kisebb, kevesebb világítástechnikai eszközt igénylő alkalmazások és fix installációk esetében, amikor fényvezérlőn előre megírt programok futnak, és nincs szükség az operátor beavatkozására gazdaságtalan egy, általában több millió Forint értékű fénypultot a helyszínen tartani. A probléma egy lehetséges megoldása egy olyan mikrokontroller vezérelt eszköz, amely a buszon elhelyezve felvételi üzemmódban rögzíti a fényvezérlő által adott kereteket (a lámpák mozgása, színek, ábrák) adott időtartamig, majd pedig lejátszási üzemmódban átveszi a fényvezérlő szerepét és visszajátssza a kereteket. A rögzítés célszerűen egy cserélhető adathordozóra történik.

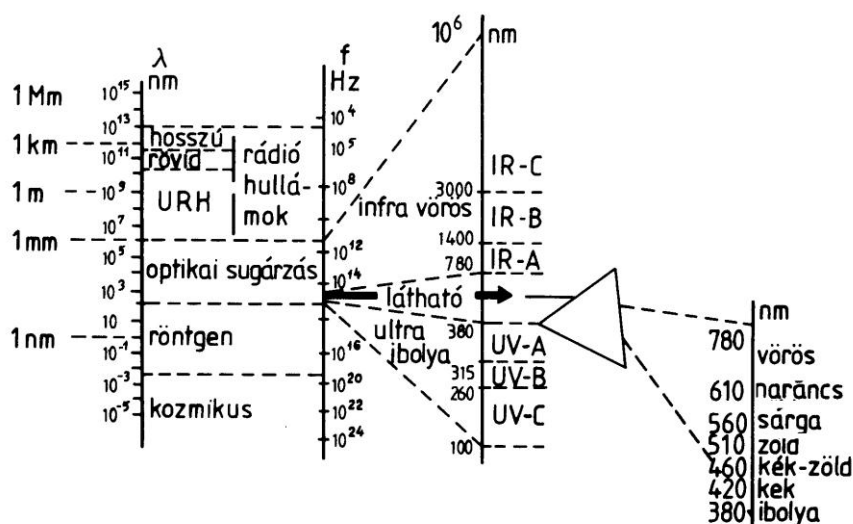
3 BEVEZETÉS

3.1 Fénytechnikai fogalmak áttekintése

A dolgozatban tárgyalt téma, megértéséhez szükséges a fénytechnikai alapfogalmak tisztázása, mivel a szakirodalom gyakran hivatkozik ezekre a fizikai fogalmakra, esetleg szakmai zsargonban szinonimáikra, ugyanakkor gyakorlatilag ezeket az említett fogalmakat, fizikai mennyiségeket kívánjuk a felhasználási körülményeknek megfelelően különböző digitális rendszerekkel vezérelni.

A fizikai és fénytechnikai fogalmak és axiómák forrásaként Richard P.Feynman-Mai fizika című könyvsorozatának részeit [9] valamint Pelyhe János Fénytan című [8] jegyzetét használtam fel.

A fény fizikai értelemben elektromágneses sugárzás, hatását tekintve az emberi érzékelésben fényérzetet kelt. Szűkebb, világítástechnikai értelemben véve a fény az emberi látás számára érzékelhető szűk spektrum, amely az elektromágneses sugárzás hullámhossza szerint a 380 nm – 780 nm-es tartományba esik.



A fény kibocsátása, (emisszió) és más részecskékkel történő kölcsönhatása, energia-cseréje meghatározott energiájú adagokban, kvantumokban történik. A fizikában, azon belül a fénytechnikában is a kvantált elektromágneses mező gerjesztésének kvantumát, azaz legkisebb elemi egységét fotonnak nevezik.

A foton nyugalmi tömeg és elektromos töltés nélküli részecske, amely rendelkezik a kvantumokra jellemző a hullám-részecske kettősséggel. Energiája és lendülete csak a frekvenciájától függ:

$$E = \hbar\omega = h\nu \quad (3.1.1)$$

Ahol:

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – a Dirac-állandó (redukált Planck-állandó) [Js],

$\omega = 2\pi\nu$ – a körfrekvencia [rad]

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js – a Planck-állandó (szemléletesen az 1 Hz frekvenciájú foton energiája)

ν – a frekvencia [Hz]

A lendület nagysága:

$$p = \hbar k = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c} \quad (3.1.2.)$$

Ahol:

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – a Dirac-állandó (redukált Planck-állandó) [Js],

$k = 2\pi/\lambda$ – a hullámszám

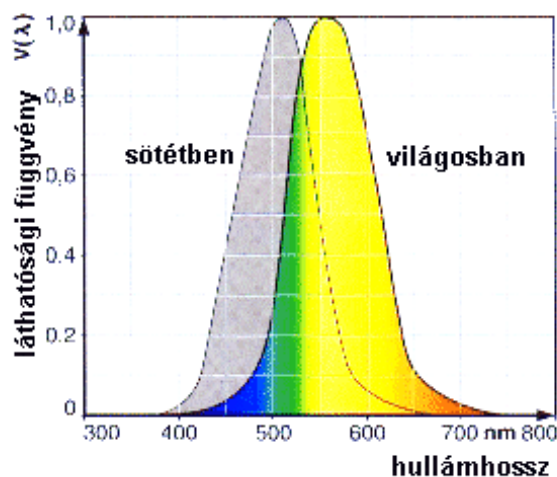
$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js – a Planck-állandó (szemléletesen az 1 Hz frekvenciájú foton energiája)

ν – a frekvencia [Hz]

c – a vákuumbeli fénysebesség (299 796 km/s)

Az emberi szem a látható fény spektrumában nem egyenletesen érzékeny a különböző hullámhosszú sugárzásokra. Ennek oka a szem fizikai felépítésében és az evolúciós

fejlődésében keresendő. Az emberi szem érzékenysége nem független a megvilágítás mértékétől. A sötétben látó szem érzékenységének csúcspontja az alacsonyabb hullámhosszak felé tolódik el ezért az emberi szem érzékenységét a $V(\lambda)$ – „világos” (fotopos) és a $V'(\lambda)$ – „sötét” láthatósági függvények írják le, amelyet a Nemzetközi Világítás-technikai Bizottság¹ határozott meg.



2. ábra: Az elektromágneses sugárzások hullámhossz spektruma

A mesterséges fényforrások által keltett fényérzetre jellemző szám a láthatósági tényező és a sugárzott teljesítmény Φ_e szorzata. Amennyiben ezeket az egy hullámhosszhoz tartozó szorzatokat a teljes látható hullámhossztartományban összegezzük akkor a kisugárzott fizikai teljesítmény által keltett fényérzetre jellemző számot kapunk. Ezt a számot nevezzük fényáramnak, jelölése a görög nagy Φ_v -vel történik mértékegysége pedig a lumen [lm].

$$\Phi_v = K_m \int_0^\infty \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (3.1.3.)$$

Ahol:

K_m – arányossági tényező fotopos, tehát világosban történő látásra 683 lm/W

$\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ – a sugárzott teljesítmény spektrális eloszlása [W]

$V(\lambda)$ – a fotopos látásra vonatkozó láthatósági tényező.

¹ Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság – http://www.physics.kee.hu/cie/cie_hun.html

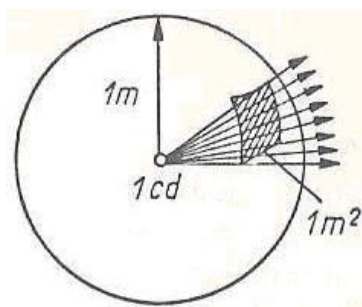
A fényforrás a tér minden irányába sugározza ki fényáramát, amennyiben a fényáramot nem az egész térre, hanem annak egy meghatározott szeletére vonatkoztatjuk (3. ábra), abban az esetben egy új mennyiséget, a fényerősséget kapjuk. Jele I , mértékegysége pedig a kandela [cd]

$$I = \frac{d\Phi_v}{d\Omega} \quad (3.1.4.)$$

Ahol:

Φ_v – a fényáram [lm]

Ω – az elemi térszög [sr]



3. ábra: Az elemi térszög szemléltetése

Egy egységnyi megvilágított felület világosságára egyértelműen jellemző a visszaverő tulajdonságán kívül, hogy arra mekkora fényáram jut. A felületegységre jutó fényáram nagyságát nevezzük megvilágításnak, jele E , mértékegysége a [lux].

$$E = \frac{d\Phi_v}{dA} \quad (3.1.5.)$$

Ahol:

Φ_v – a fényáram [lm]

A – a megvilágított felület nagysága [m^2]

A megvilágítás mértéke a távolság négyzetével fordítottan arányos, valamint függ a fény beesési iránya és a megvilágított felület közötti szögtől is.

$$E = \frac{I}{d^2} \cos \alpha \quad (3.1.6.)$$

Ahol:

I – a fényerősség [cd]

d – a pontszerű fényforrás és a megvilágított felület távolsága

α – a fény beesési iránya és a felület által bezárt szög [°]

A (3.1.6.) összefüggés a világítástechnikában a pontmódszerrel történő számítások alapegyenlete.

Szemünk egy tárgyra tekintve nem annak megvilágítását, hanem relatív fényességét érzékeli. Ezt a relatív fényességre jellemző számot, amely többek között függ a fényerősségtől és a megfigyelés szögétől is, fénysűrűségnek nevezzük jele L , mértékegysége [cd/m²].

$$L = \frac{I}{A \cos \alpha} \quad (3.1.7.)$$

Ahol:

I – a fényerősség [cd]

A – a megvilágított felület nagysága [m²]

α – a megfigyelés szöge [°]

Villamos szempontból az egyik legfontosabb jellemző a világítástechnikában a fényhasznosítás. A fényhasznosítás a fényforrás által kibocsátott fényáram és a felvett hatásos villamos teljesítmény hányadosa. Jele η^* , mértékegysége [lm/W].

$$\eta^* = \frac{\Phi_v}{P} \quad (3.1.8.)$$

Ahol:

Φ_v – a fényáram [lm]

P – a felvett hatásos villamos teljesítmény [W]

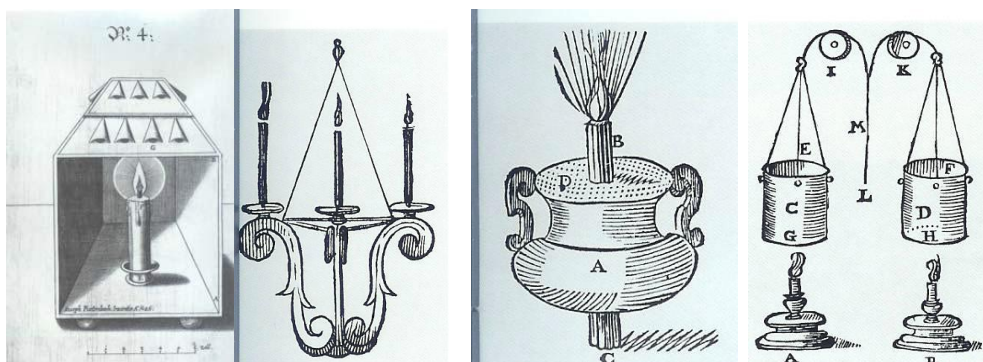
3.2 A színpadi világítástechnika történetének áttekintése

A színházi és színpadi világítástechnika történeti és technikai áttekintéséhez Pelyhe János a Színház és Filmművészeti egyetemi tanárának és a színpadi világítástechnika elismert magyarországi szakértőjének Pelyhe János: Színpadi világítás és vezérléstechnika [7] című jegyzetét használtam fel egyes helyeken szakszerű villamosmérnöki szóhasználattal és pontosított kifejezésekkel kiegészítve az alábbiakban.

Bevezetés

Európában egészen a 15. századig kizárólag népi színjátszás volt. A 16. századtól kezdve tudunk olyan előadásokról, amelyeket közvetlenül erre a célra, adott helyen létrehozott házakban mutattak be. Az előadáshoz szükséges fényhatásokat gyertyákkal hozták létre, mégpedig úgy, hogy átlátszó anyagból készült csövek, táblák mögé helyezték őket. Színes fényhatásokat színes folyadékkal megtöltött üvegek alkalmazásával értek el.

A 17. században csillárok gyertyái töltötték meg fénnel a színháztermeket. A színpad talaján álló letakart gyertyák láb-rivaldafényként működtek, a kulisszák mögött pedig függőleges rudakra olajlámpákat erősítettek és így értek el olyan hatást, mint amelyet ma az úgynevezett fénytornyokkal.



4. ábra: Az első fénytechnikai megoldások (balról jobbra: gyertya tükörtobozban, gyertyás függőcsillár, olajlámpás, „sötétíthető gyertyapár”)

A nézőtér az egész, gyakran öt óránál is tovább tartó előadás alatt ki volt világítva, a színpadot pedig el lehetett sötétíteni. E célból a zsinórpadrásról leengedhető nyitott

lámpaüvegekkel fedték be a lámpákat, vagy pedig egy forgatható rúdra szerelték őket úgy, hogy azokat tetszés szerint ki-, illetve be lehetett forgatni a színpadra (4. ábra).

A 18. században átlátszó selyem rolettákkal érték el fényhatásokat, mégpedig úgy, hogy az oldalvilágítás előtt engedték le őket. A láb-rivaldavidágítást pedig süllyeszthető kivitelűre alakították ki.

A 19. század színházi előadásait gázlámpákkal világították meg. Annak ellenére, hogy a gáz kellemetlen szaggal árasztotta el a termet és felforrósította a levegőt, mégis nagyra értékelték, mert szabályozni lehetett vele a világosságot. Nem számított ritkaságnak, hogy akár húsz, harminc gázégő is volt egyetlen színházban. A 19. század végén az elektromossággal begyűjtött gázlámpák feltalálása új lehetőségeket nyitott a színházi fénytechnikában. Az elektromosság harmonikus fényjátékot tett lehetővé, hiszen a fény most már felülről, a színpad fölül is jöhetett.

Fényvetőket és fényvezérlő berendezéseket terveztek és fejlesztettek tovább. Végül pedig a fényvezérlő berendezést elválasztották a fényerő szabályozó egységekről. Az eredetileg több tonna súlyú berendezésekből a fejlesztések hatására jobb, kisebb, nagyobb hatásfokú és rendkívül intelligens világítási rendszerek alakultak ki. A fejlődés egészen a ma ismert számítógéppel vezérelt fényvezérlő pultokig, fényerő szabályozókig és egyéb mozgófejes egységekig tart, amelyek olyan effektusokat tesznek lehetővé, amelyek a színház és a színházi világítástechnika hőskorában elképzelhetetlenek voltak.

A fényerő szabályozás

Itt fontos megjegyezni, hogy bár színházi és színpadi szakmai nyelv a világítótestek fényerő értékének változtatását tévesen fényerőszabályzásként emlegeti, valójában irányítástechnikai és villamos szempontból is csak egy egyszerű vezérlésről beszélhetünk. Ugyanis a legritkább esetben van visszacsatolás a létrejött fényerő, fényssűrűség (3.1.7.) szerinti értékről.

Az elektromos áram hétköznapi felhasználásának elterjedése a színházi és színpadi világítástechnikában is forradalmi változásokat hozott – elterjedtek az ívfényes, majd később az izzólámpás fényvetők, melyek közül az utóbbiak fényerejének változtatására legcélszerűbbnek a működtető-feszültség változtatásával történő vezérlés adódott.

A műszaki haladással egyidejűleg a fényerő szabályozás technikája is fejlődött. Először az egyenáramú hálózat alkalmazásának idején a nagyteljesítményű huzal-

potenciométereket alkalmazták. A váltakozó feszültségű hálózatok elterjedésekor először a fokozatosan kapcsolható, később a változtatható csatolási tényezőjű transzformátorokat (transzduktor) alkalmazták. A félvezetők felfedezésének és elterjedésének eredményeként megjelentek a teljesítmény szabályzásra alkalmas félvezető eszközök (tranzisztor, tirisztor, triak, IGBT²) melyek a modern vezérléstechnikának is elengedhetetlen elemei. A jelenleg használatban levő nagy teljesítményű fényszabályozó berendezések szinte kizárólag félvezető alapúak és fázishasításos kapcsolóüzemben dolgoznak.

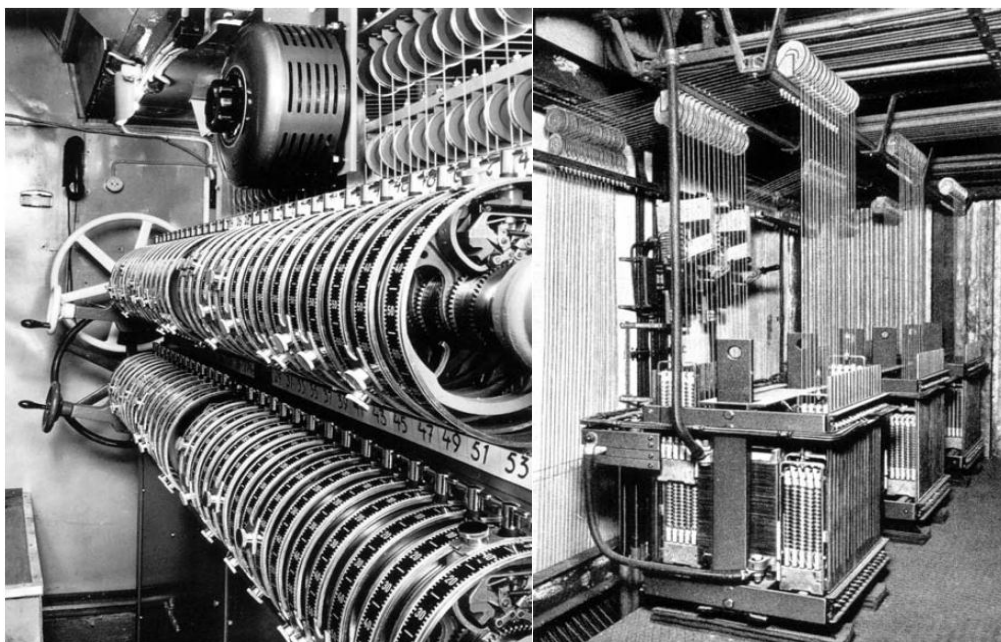
A dimmer

A fentiekben említett, a fényforrások feszültségellátásának szabályozására szolgáló berendezéseket az angolból átvett szóval dimmernek³ nevezzük. (Léteznek mechanikus dimmereket is, ezeket a fémhalogén és egyéb kisülőlámpák fényerejének szabályozására használják, ugyanis ezek fizikai működése miatt a fényerő a tápfeszültség változtatásával nem szabályozható.)

Az első általánosan elterjedt szabályzási (dimmerelési) eljárás a mechanikus működtetésű transzduktoros rendszer volt. Ez a transzformátor működési elve alapján, a primer és a szekunder tekercsek közti induktív csatolási tényező változtatásával állítja elő a kívánt kimeneti-feszültségértéket (5. ábra). Előnye, hogy a szabályzás a szinuszos hullám amplitúdójának változtatásával történik, és ez által gyakorlatilag hálózati zavarokat nem okoz. Hátránya a nagy méret, a magas gyártási költség, a körülményes mechanikus működtetés és a távvezérlés megvalósíthatóságának gyakorlatilag lehetetlen megvalósítása.

² IGBT – Insulated Gate Bipolar Transistor magyar fordításban: szigetelt vezérlőelektródás bipoláris tranzisztor, amely ötvözi a bipoláris és a térvezérlésű tranzisztorok előnyeit

³ Dimmer – magyar fordítása sötétítő, homályosító



5. ábra: A az első villamos fényerőszabályozók (transzduktorok)

A napjainkban használatos dimmerek két nagy csoportba sorolhatjuk:

- Analóg dimmerek
- Digitális dimmerek

Az analóg dimmerek a hálózati feszültségből félperiódusonként - a nullátmenettől számított –, a beállítandó villamos teljesítményhez rendelt kellő időben záródó kapcsolóelem segítségével a kitöltési tényező függvényében szabályozzák a fényvetők által kibocsátott fényteliítményt, illetve a kimeneten található terhelés teljesítményfelvételét. Korábban kapcsolóelemként szinte kizárólag tirisztorokat használtak antiparallel kapcsolásban, mivel a tirisztor csak egy irányban, az egyik félperiódus kapcsolására alkalmas. A félvezetők fejlődése során később megjelentek a triakok, melyek egymagukban alkalmasak a hálózati feszültség mindkét félperiódusának kapcsolására. A triakok alkalmazása kapcsolástechnikailag és mechanikailag is egyszerűsítette a teljesítmény szabályozók felépítését. Meg kell említeni, hogy kapcsolástechnikai, hűtési vagy egyéb megfontolások miatt a tirisztoros kapcsolást mind a mai napig alkalmazzák egyes típusoknál.

A legelterjedtebb kapcsolástechnikai megoldás egy - nullátmenetkor indított - fűrészgenerátorból és egy komparátor áramkörből áll (6. ábra). Amikor a vezérlőfeszül-

ség és a fűrészel értéke megegyezik, a komparátor áramkör aktiválja a kapcsolóelemet és a kimeneten megjelenik a hálózati feszültség. A kimeneti karakterisztikát a fűrészen lefutási görbéje határozza meg. A legelterjedtebb vezérlőfeszültség értéke 0...10 VDC, de használatos még a 0...5 VDC is, Magyarországon pl. a Konverta által gyártott dimmerek 0...6,8 VDC vezérlő feszültséggel működtek.

A processzorok nagysorozatú gyártástechnológiai fejlődése és ezáltal árcsökkenése tette lehetővé a világítástechnika digitális alapokra helyezését.

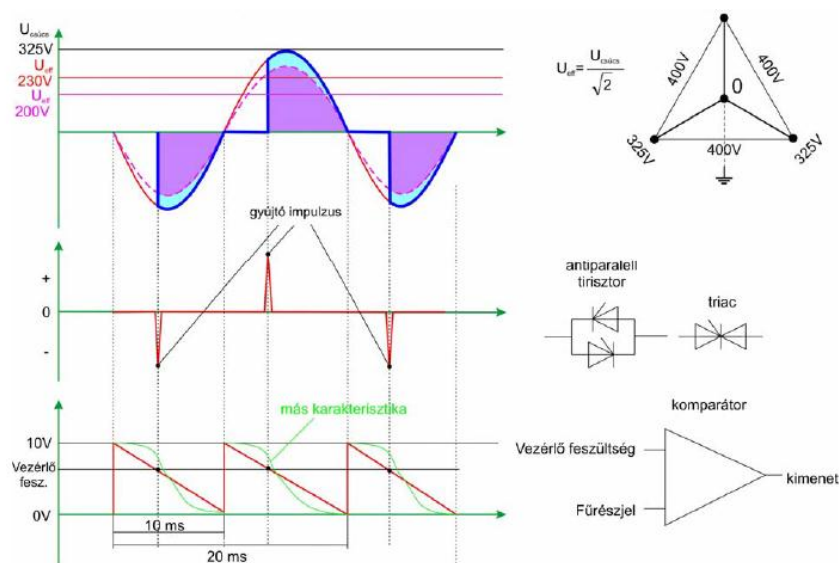
A digitális dimmer a fázishasítás pontját nem analóg módon állítja be a vezérlőfeszültség függvényében, hanem programvezérelt processzorral állítja elő a kapcsoló impulzust, ami közvetlenül vezérli a kapcsolóelemet (7. ábra). A kevesebb alkatrész, az egyszerűbb felépítés valamint a korszerű technológia növeli az üzembiztonságot, csökkenti a hibalehetőségek számát és szinte korlátlan lehetőségeket biztosít a kimeneti karakterisztika beállítási lehetőségeinek tekintetében. A processzor fennmaradó szabad számítási kapacitása teszi lehetővé, hogy a digitális dimmerek a korszerű rendszerek szerves részét képezzék. Az informatikai hálózatok alkalmazásával lehetőség nyílt a kétirányú kommunikációra, amivel a rendszer visszajelzést adhat a vezérlési utasítás végrehajtásáról és a pillanatnyi üzemi paramétereikről.

A kapcsolások felépítéséből adódik, hogy az analóg dimmerek által létrehozott szabályozott kimeneti feszültségérték egyenes arányban van a bemeneti feszültség nagyságával, digitális dimmereknél a vezérlőprogram függvényében - a szabályzási tartomány felső végpontja kivételével – a beállított kimeneti feszültség értéke függetleníthető a hálózati feszültség ingadozásaitól. A kimeneti feszültségnek a hálózati változásoktól való függetlenítését a digitális dimmer úgy oldja meg, hogy a vezérlőfeszültséghez rendelt numerikus érték nem egy, a hálózati feszültséghez viszonyított százalékos értéket határoz meg, hanem a kimeneti feszültség effektív értékét definiálja. Amennyiben a hálózati feszültség változik – rendszerint csökken -, a dimmerben található mikrokontroller a kapcsolóelem gyújtási pontját időben úgy tolja el, hogy a kimeneten a beállított numerikus érték által meghatározott feszültségérték jelenjen meg. Értelemszerűen adódik, hogy a szabályzási korrekció csak a hálózati feszültség mértékéig terjedhet.

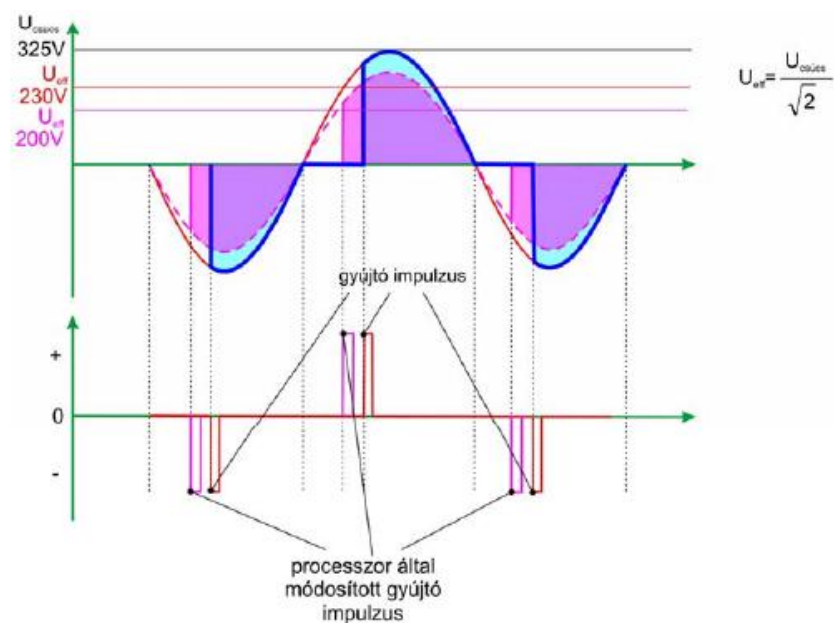
A kilencvenes évek végén a teljesítményelektronika fejlődése (pl.: IGBT-k megjelenése) lehetővé tette, hogy a félperiódusonkénti egyszeri bekapcsolás számát megsokszo-

rozzák, ami a kapcsolási zavarok nagyságát csökkenti, ezáltal csökkenthető a szűrőtagok száma és nagysága. Hátránya, hogy nagyfrekvenciás hálózati zavarokat okoz.

A fázishasításos elven alapuló dimmerek kimeneti feszültségét egyszerű multiméterrel nem lehet megmérni, mivel ezek a műszerek a tisztán szinuszos forma- és csúcsnéhez tartozó feszültségértéket mutatják. A kimeneti feszültség pontos méréstechnikailag helyes meghatározáshoz valós effektívérték mérő szükséges.



6. ábra: Analóg fázishasításos fényerőszabályozás



7. ábra: Digitális fázishasításos fényerőszabályozás

Zavarszűrés

A fázishasítás elvén működő dimmerek tulajdonsága a bekapcsolás pillanatában felépő, jellemzően pár száz μs ideig fennálló esetenként akár több kV-os - tranziens feszültségtüske. Ez károsan hathat a fogyasztókra, akár tönkre is teheti azokat, illetve a hálózatra visszakerülve a dimmerek működésének alapját szolgáltató nullátmenet detektálását is meghamisíthatja. Ennek kiküszöbölésére építenek be a dimmerekbe különböző zavarszűrő elemeket, amelyek a kapcsolóelem begyújtásakor a felfutó él meredekségét lecsökkentik, és ez által csökkenti a tranziens feszültségtüske nagyságát. A dimmereknél ezt a késleltetési-időértéket szokták feltüntetni a zavarszűrés értékének. A jó minőségű dimmerek zavarszűrési értéke 200...250 μs , de néhány esetben (főleg a TV-stúdió technikában használatos típusoknál) ez elérheti a 400 μs -ot is.

A direkt-áramkör kapcsoló

A direkt-áramkör kapcsolók a dimmerek egy speciális csoportját alkotják. A legegyszerűbb direkt-áramkör vezérlő az egyszerű kapcsoló. Az elektronikus direkt-áramkör kapcsoló egy tirisztorral vagy triakkal működő dimmer, melynek két állapota van: „0%”, azaz kikapcsolt és „100%”, azaz bekapcsolt állapot. Mivel a két nullátmenet közötti időben nem történik fázishasítás (a kapcsolóelem vezető állapotba kerülése), így gyakorlatilag nem keletkezik hibajelenséget okozó hálózati zavar, tehát nincs szükség nagyteljesítményű zavarszűrő egységre.

Az elektronikus direkt-áramkör kapcsoló legnagyobb előnye a hagyományos mechanikus kapcsolókkal szemben, hogy a fogyasztóra (izzó) kerülő feszültség minden bekapcsolás alkalmával a következő félperiódus nullátmeneti pontjától a szinuszgörbe szerint fokozatosan emelkedik – ezért nevezik sok helyen a szakirodalomban is nullátmenet-kapcsolónak -, így csökkenti a hideg izzószál hősokk-terhelését. Ezáltal lényegesen megnöveli az izzók élettartamát és a hálózaton található zavarérzékeny eszközök illetve berendezések zavarterhelését.

Megjegyzendő, hogy minden fázishasításos elven működő dimmer használható direkt-áramkör kapcsolóként. Rendszerint a modern fényszabályozó pultok beépített karakterisztika könyvtárában található egy ilyen funkció (No dim.), de egyes dimmerek is rendelkeznek ezzel a lehetőséggel egy erre a célra kiépített kapcsoló segítségével.

Dimmerek kialakítása, felépítése

Működési elvüktől függetlenül a dimmerek különböző kialakításban és különböző terhelhetőségű változatban kerülhetnek forgalomba. Kisebb terhelésekre 1 kW, átlagos színpadi alkalmazásra 2...5 kW és speciális – leginkább TV és filmstúdiókban történő – felhasználásra 10 vagy több kW teljesítményű típusokat alkalmaznak.

Felépítésüket tekintve rendszerint a nemzetközileg elfogadott 19"-os rack-be építhető kialakítás vált elterjedtté. Ebben a méretben a mechanikai helyigény figyelembevételével a leggyakoribb a 12x1,2 kW, 12x2,3 kW, 6x5 kW és a 3x10 kW-os kialakítás.

Hálózati teljesítmény igényüket figyelembe véve az egyfázisú változatot általában kisteljesítményű fogyasztók szabályzására fejlesztették ki. Mivel a legegyszerűbb installációs környezetben is könnyen üzemeltethető és a hálózatra történő csatlakoztatása is megoldható egy egyszerű földelt dugaszoló aljzat segítségével, kisebb művelődési intézmények előszeretettel alkalmazzák.

A kétfázisú betáplálást igénylő változatok általában tájelőadások lebonyolítását szolgálják, mivel a terepre esetenként nagy távolságból vezetett három fázis nehezen tehető zavarmentessé – a hálózati zavarssűrűs sohasem tökéletes -. Használatával a zavarérzékenység tekintetében legkritikusabbnak tekinthető hangtechnikai berendezések részére egy szabad, zavarmentes fázist biztosíthatunk.

A háromfázisú betáplálás esetén könnyebben fenntartható a fázisonkénti terheléselosztás, csökken a fázisterhelésből fakadó nullpont eltolódás. Fixen telepített szabályzórendszerek esetén szinte kizárólag ezt a betáplálási változatot alkalmazzuk.

Kialakításukat tekintve két nagy csoportba oszthatjuk a legelterjedtebb típusokat.

A kompakt kivitelű berendezéseknél a vezérlő elektronika illetve az erősáramú kapcsolás egy egységet alkot. Általában fázisonkénti osztásban egy panelre szerelve találhatók benne az elektronikai egységek. Előnye a költségtakarékos gyártástechnológia és olcsóbb mechanikai kialakítás, hátránya a bonyolultabb szervízeltetőség. Az 8. ábrán egy moduláris kialakítású dimmer látható.



8. ábra: Mouláris kialakítású DMX512 szabványú dimmer

A fiókos kialakításnál csatornánként külön kivehető egységeket alkalmaznak, mely a szervízkelhetőséget nagymértékben megkönnyíti. Hátránya kizárólag a magasabb ár.



9. ábra: Dimmer Rack, és egy egycsatornás DMX512 dimmer

Egyéb színpadi és színházi világítástechnikai eszközök

A mai látványtechnikai elvárásoknak megfelelően több lámpa és készüléktípus alakult ki és terjedt el. Ezek közül a legjellemzőbbek a mozgófejes robotlámpák, melyek tulajdonsága, hogy a bennük lévő optikai rendszer és vele együtt a fényforrás, (amely jellemzően nagyteljesítményű fémhalogén izzó), a lámpa talpához képest két szabadságfokon képes elmozdulni korlátozott szögtartományban.

A mozgófejes robotlámpák rendkívül komplex készülékek, bonyolult mechanikai és optikai rendszerek mellett a legegyszerűbb típus is programvezérelt. Kereskedelmi áraik a százezer Forintos nagyságrendtől indulnak.

A mozgófejes robotlámpák között alapvetően három alaptípust különböztetünk meg:

- Spot – jellemzően koncentrált csóvát adó ($10...35^\circ$) robotlámpák főleg ábrave-
títésre
- Beam – jellemzően koncentrált szűk csóvát adó ($2...12^\circ$) robotlámpák ábrave-
títésre és effektek létrehozására.
- Wash – Jellemzően szórt fénysugár, színező funkciók betöltésére.

Mindhárom típusról elmondható, hogy mozgásuk jellemzően 16 bites felbontású a teljes mozgástartományban, a fejlettebb készülékek 16 bites felbontású CMY⁴ színkeve-
rést és ábraindexálást, valamint ábraforgatást tesznek lehetővé.



10. ábra: ClayPaky⁵ gyártmányú beam, wash, és spot típusú robotlámpák

Az alap robotlámpa típusokon kívül sok speciális funkciójú vagy extrém tulajdonsá-
gokkal rendelkező típus is megjelent az utóbbi időkben, kielégítve a felhasználói igé-
nyeket. Ilyenek a 10. ábrán látható típusok.

⁴ CMY – Cyan Magenta Yellow – Szubtraktív színkeverési eljárás rövidítése

⁵ ClayPaky – <http://www.claypaky.it/en/home/>



11. ábra: Balról jobbra haladva: speciális színházi CTO⁶ szűrővel ellátott ClayPaky gyártmányú színező lámpa, HighEndSystem⁷s gyártmányú 2,5kW-os fémhalogén izzóval szerelt spot robotlámpa, HighEndSystems gyártmányú DLP⁸ projektort tartalmazó robot "lámpa"

A LED technológia rohamos fejlődése a színházi világítástechnikában is érezteti hatását. Sorra jelennek meg LED-es színező és effektlámpák. Ezeknek nagy előnye a hagyományos fényforrással rendelkező lámpákkal szemben a kisebb tömeg nagyobb élettartam és hatásfok, valamint megbízhatóság. Sok gyártó alkalmazza kisebb teljesítményű termékeinek fényforrásaként a nagyteljesítményű (akár 100 W) LED modulokat.

Egy másik speciális kialakítás a 12. ábraán látható. Ennek a típusnak a felhasználásával speciális "mozgó" LED-falat lehet kialakítani.



12. ábra: HighEndSystems gyártmányú LED-enként címezhető speciális színező-robot lámpa

⁶ CTO – Color Temperature Orange- színhőmérséklet kompenzálásra használt szűrő

⁷ HighEndSystems – <http://www.highend.com/>

⁸ DLP – Digital Light Processing magyar fordításban digitális fényfeldolgozás. A gyakorlatban ez a digitális mikrotükrös képalkotásra utal (Texas Instruments 1987)

A világítástechnikai eszközök vezérlése

Kezdetekben a vezérlések analóg általában 0...10 V-os feszültség vagy 0...20 mA-es áramjellel működtek ám ennek a rendszernek nagy hátránya a zavarérzékenység és a pont-pont topológia, aminek rendkívül nagyok a kábelezési költségei. Ezt a vezérlési rendszert váltották fel a digitális buszrendszerű vezérlések, amelyekben akár több fényvezérlő is működhet és a távoli Ethernet hálózaton keresztüli elérés is megvalósítható. A 13. ábra egy korszerű fényvezérlő pultot ábrázol.



13. ábra: HighEndSystems gyártmányú Road HOG4 típusú digitális fényvezérlő

4 A DMX512 SZABVÁNY ÉS PROTOKOLL

4.1 Előzmények

A digitális vezérlés előtt a világítástechnikában a különböző eszközök vezérlésére analóg vezérlést alkalmaztak. Ezeknek a rendszernek hátrányos tulajdonságai közé tartoztak a magas kábelezési költségek, (mivel minden eszköz számára legalább egy külön vezetékpárra és áram-, vagy feszültséggenerátorra volt szükség) a zavarérzékenység valamint, a modularitás és a fejleszthetőség korlátai esetenként ezek teljes hiánya.

A DMX512 szabvány és protokoll ezeket az analóg és manapság elavultnak számító vezérléseket váltotta fel. A szabvány alapvetően dimmerek, (fényerő szabályozók) vezérlését írja le, de ettől függetlenül a színházi és rendezvénytechnikai világítási rendszerekben számos egyéb feladatra használják (pl.: füst- és hógépek, robotlámpák, vezérlése). A szabványt 1986-ban rögzítették először az USITT⁹ kezdeményezésére. Ezután 1990-ben a szabványt ismét módosították¹⁰ Ezek után a szabvány gondozása az ESTA¹¹ nemzetközi szervezethez került. Az utolsó jelentős módosítása pedig 2008-ban történt. Ekkor jelent meg a visszafelé kompatibilis DMX512-A¹² szabvány, amely már magában foglalja a vezeték nélküli alkalmazásokat is, illetve többek között dedikálja a másodlagos adatcsatornát. A DMX512-A szabvány kiegészítésére létrehozták az RDM¹³ szabványt és protokollt, amely kiegészítve a meglévő rendszert lehetőséget nyújt ugyanazon hálózaton half-duplex kommunikációra a vezérlőegység és a vezérelt eszközök között.

⁹ USITT – United States Institute for Theatre Technology

¹⁰ USITT DMX512/1990

¹¹ ESTA – Entertainment Services and Technology Association)

¹² DMX512A – E1.11 - 2008, USITT DMX512-A

¹³ RDM – ANSI E1.20, Remote Device Management Over DMX512 Networks – Eszközök távmenedzselése DMX512 hálózatokon - http://tsp.plasa.org/tsp/documents/published_docs.php

4.2 A fizikai réteg

A DMX512 és a DMX512-A szabványok az TIA/EIA RS485¹⁴ ipari interfész szabványra épülnek. Ez meghatározza a szabvány villamos jellemzőit.

Az adatok továbbítására csavart érpár és differenciális buszmeghajtás szolgál. Ennek eredménye a nagy (akár 1200m) áthidalható távolság és a jó zavarérzékenységi tulajdonságok a külső elektromágneses zavarokkal szemben.

A busz kialakítása lehet két és négyvezetékes is (DMX512-A szabvány esetén a második két érpár a másodlagos adatcsatorna). A szabvány előírja a két csavart érpárral rendelkező árnyékolt, kettős szigetelésű réz alapú kábel használatát és a csatlakozók típusát is. Ezek három- és ötpólusú XLR¹⁵ csatlakozók (14. ábra), szabvány szerinti bekötésüket az 1. táblázat tartalmazza.

A régebbi és olcsóbb árkategóriába eső illetve egyszerűbb készülék nem használják csak az egyik csavart ér párat és rajtuk csak hárompólusú XLR csatlakozó található.



14. ábra: DMX512, DMX512-A szabvány által előírt 3 és 5 pólusú csatlakozótípusok

XLR-5	XLR-3	Jel
1	1	GND
2	2	Data+
3	3	Data-
4	-	Data2+
5	-	Data2-

1. táblázat: DMX512, DMX512-A szabványos csatlakozó bekötések

¹⁴ TIA/EIA –Telecommunications Industry Association / Electronic Industries Alliance - <http://www.eciaonline.org/eiastandards/>

¹⁵ XLR – Eredetileg Cannon gyártmányú 3-7 pólusú színpadi alkalmazásokban elterjedt csatlakozótípus

A kábelezés hullámimpedanciája igen fontos szempont a nagysebességű (nagyfrekvenciás) adatátvitel szempontjából. Az TIA/EIA RS485 szabvány a kábelezés hullámimpedanciáját $120\ \Omega$ -ban határozza meg. Biztosítani kell, hogy a buszrendszeren ne keletkezzenek reflexiók, ezért a busz végződéseit a hullámimpedanciának megfelelő lezáró ellenállással kell ellátni (tipikusan $120\ \Omega\ 1/4\ W$).

A kábelezési topológia jellemzően busz struktúrájú a lehető legrövidebb leágazásokkal az adó-vevők felé a minél jobb illesztettség érdekében. A nagyobb adatbiztonság elérése érdekében a buszt szokás ellátni biztonsági fel-, és lehúzó ellenállásokkal. Ezek abban az esetben hasznosak, amikor vevő bemenetei között $\pm 200\ mV$ feszültségkülönbség mérhető ekkor a vevő kimeneti szintje bizonytalan. Ennek a jelenségnek a következő okai lehetnek:

- Az összes adó állomás nagy impedanciájú állapotban van
- Nincs aktív adókészülék a buszon
- Minden végpont vételi állapotban van
- A kábel zárlatos
- A kábel szakadt

A végpontok száma a hálózaton korlátozott. Ezt a hálózaton elhelyezkedő adó-vevők okozzák, ugyanis a hálózatot típusonként változó terhelési egységgel terhelik. Például az SN75176¹⁶ típusú RS485 buszmeghajtó egy terhelési egységet, a MAX487¹⁷ típus pedig $1/4$ terhelési egységet képvisel. A teljes hálózat legfeljebb 32 egységgel terhelhető ismétlők (repeater-ek) használata nélkül. Ez SN75176 és hasonló típusú végpontok esetén 32 eszközt, míg kisebb a kisebb terhelési egységet képviselő MAX487 típus esetén 128 eszközt jelent.

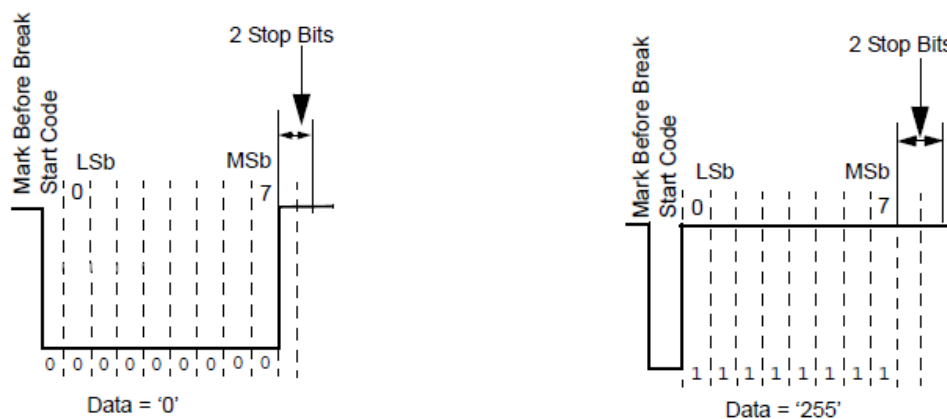
4.3 Kommunikáció, protokoll

A protokoll egyszerű soros aszinkron protokollra épül: egy start-bitet 8 adat-bit és két stop-bit követ paritás bit nélkül. A bitidő $4\ \mu s$, így egy teljes bájt elküldéséhez $44\ \mu s$ időre van szükség (15. ábra). A start- és stop-bitek a vevőhöz való szinkronizálást szolgálják. A start-bit jelzi a vevőnek az átvitel kezdetét („0”-„1” átmenet), a két stop-bit

¹⁶ SN75176 – differenciális buszmeghajtó - <http://www.ti.com/product/sn75176a>

¹⁷ MAX487 – differenciális buszmeghajtó - <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf>

pedig a feldolgozás véges ideje miatt szükséges, valamint ekkor a vonal visszaáll logikai „1” szintre és ismét egy start-bit következhet.



15. ábra: DMX512, DMX512-A adatbájt felépítése a soros vonalon

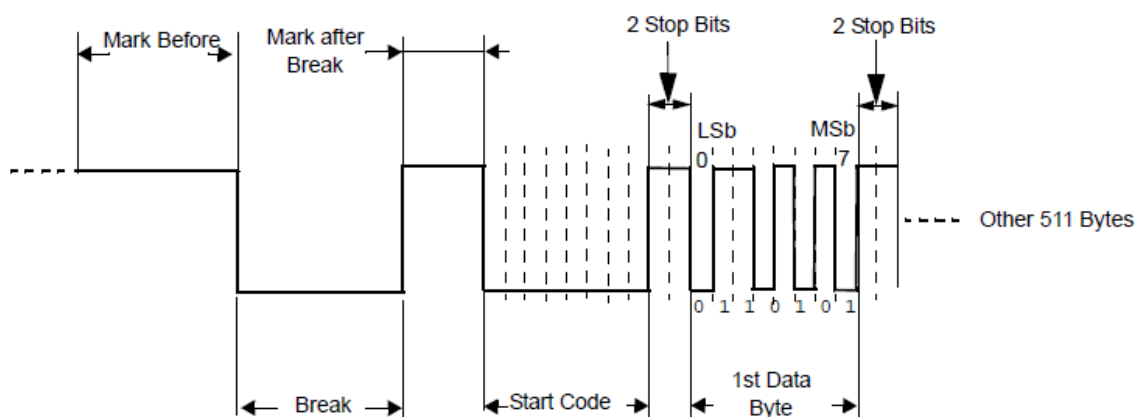
A DMX512 protokoll ezeket a bájtokat szervezi csomagokba. Egy csomag egy fejrészből (header) egy startbájtból (start code) és 512 adatbájtból (slot) épül fel (16. ábra). A fejrész tartalmaz egy minimum 2 bájt, azaz 88 μ s hosszúságú „brake” – törés jelet, amit egy minimum 8 μ s hosszúságú „mark after brake” – törés utáni jel követ. A csomag fejrészenek erre a két egységre azért van szükség, hogy a vevő készülék alaphelyzetbe tudjon állni, az érkező adatokat fel tudja dolgozni és, hogy a start bit-et ismét létre lehessen hozni. A szabvány által definiált időzítéseket a 2. táblázat tartalmazza.

A fejrészt követő startbájt azonosítja a DMX512 protokollt. Amennyiben a start-bájt értéke nem nulla (0x00¹⁸) a DMX512 szabványú vevő az utána érkező adatbájtokat nem veszi figyelembe. Ez alól kivételt jelentenek egyes készülékek, amelyek ismerik az RDM protokollhoz tartozó 0xCC¹⁹ értékű startbájtot.

A startbájt után 512 adatbájt következik, amik az 512 dimmer csatorna fényerőértékeit határozzák meg úgy, hogy az adatbájt legnagyobb (255) értékéhez a legnagyobb fényerő, a legkisebb értékéhez (0) a legkisebb fényerő tartozzon.

¹⁸ 0x00 – Hexadecimális számaábrázolású decimális 0

¹⁹ 0xCC – Hexadecimális számaábrázolású decimális 204



16. ábra: DMX512, DMX512-A csomag felépítése

Meghatározás	Minimum érték	Maximum érték	Tipikus érték
Break	92 μ s	-	176 μ s
Mark after brake	12 μ s	<10 ⁶ μ s	-
Bit idő	3,92 μ s	4,02 μ s	4 μ s
DMX512 csomag	1204 μ s	10 ⁶ μ s	-

2. táblázat: DMX512, DMX512-A időzítés értékei

Ha a buszon folyamatosan adatbájtokat küldenénk, abban az esetben 250kbaud adatátviteli sebességet érnenk el.

A DMX512 rendszer frissítési sebessége kiszámítható mivel ismerjük a protokoll időzítéseinek (bitidő, brake, mark after brake) maximális és minimális értékeit. Behe-lyettesítve az értékeket:

$92 \mu\text{s}(\text{BRAKE}) + 12 \mu\text{s}(\text{M. A. B.}) + 44 \mu\text{s}(\text{START}) + 512 \cdot 44 \mu\text{s}(\text{ADAT}) = 22,676 \text{ms}$
amiből a maximális buszfrissítési frekvencia: $1/22,676 \text{ms} = 44,099 \text{Hz}$. Ez az érték kielégítő annak tekintetében, hogy a vezérelt eszközök időállandói (dimmerek – izzók, mozgófejes eszközök mechanikai) ennél az időállandónál általában akár több nagyság-renddel is nagyobbak. Rendkívül fontos megemlíteni, hogy a DMX512 és DMX512-A szabványok csak színház és színpadtechnikai világítási eszközök vezérléséhez készültek. A hibakezelés hiánya és az adatvesztés lehetősége miatt ezekkel a rendszerekkel nem vezérelhetők kritikus, emberéletet veszélyeztető, például pirotechnikai és ipari rendszerek.

5 ELVÁRÁSOK

5.1 Biztonságtechnikai elvárások

- Érintésvédelmi szabványoknak való teljes körű megfelelés
- A busz felőli túlfeszültségek elleni védelem megvalósítása

A készülék külső 7...12V DC feszültséget szolgáltató tápegységről üzemel, amely megvalósítja a galvanikus leválasztást a 230 V-os hálózatról. A készülék háza egy megfelelő villamos árnyékolást nyújtó alumínium doboz, amely a készülék belső feszültségeitől teljesen el van szigetelve.

Mivel az RS485 hálózat rendkívül hosszú is lehet, külső zavarok hatása következtében az adatvonalakon nagy feszültségek indukálódhatnak, vagy egy a buszon elhelyezkedő készülék hibája miatt az adatvonalakra hálózati feszültség is kerülhet. A hasonló hibák ellen megfelelő túlfeszültség védelemmel kell ellátni a készülék RS485 be-, és kimenetét.

5.2 Felhasználói elvárások

- DMX512 szabványnak megfelelő hibamentes működés
- DMX512 adatok rögzítése és visszajátszása
- LCD kijelző és menürendszer a felhasználó tájékoztatására
- Masszív mechanikai kialakítás megfelelő elektromágneses zavarvédelemmel

A felhasználás során a készülék, különböző rendezvényeken a fényvezérlő-pult szerepét veszi át, ebben az esetben pedig kritikus a megbízhatóság, és a hibamentes működés.

A készüléknek rögzítési üzemmódban képesnek kell lennie a fényvezérlő által szolgáltatott DMX512 keretet korlátozott számban és időtartamig rögzíteni egy cserélhető SD kártyára²⁰. Visszajátszási üzemmódban pedig képesnek kell lennie a rögzített DMX512 adatok visszajátszására.

²⁰ SD Card – Secure Digital – Nagy sebességű és tárolási kapacitású flash alapú adattároló

6 A TERVEZÉS MENETE

6.1 A vonatkozó biztonságtechnika áttekintése

Mivel a készülék jelenleg prototípusként üzemel, illetve fejlesztés alatt áll, ezért a végleges érintésvédelmi megoldások csak részben kerültek kialakításra. Az elkészült gyártmányra az

- MSZ 2364 – Kisfeszültségű berendezések érintésvédelme,
- MSZ 171-1 – Villamos berendezések közös biztonsági előírásai, és életvédelmi osztályozás

, szabványok és a kapcsolódó rendeletek lesznek irányadóak.

6.2 Funkcionális tervezés

A fentebb kijelölt elvárások és biztonsági szempontok alapján meghatározhatóak a készülék funkcionális részei, illetve ezek feladatai:

- **Tápegység**

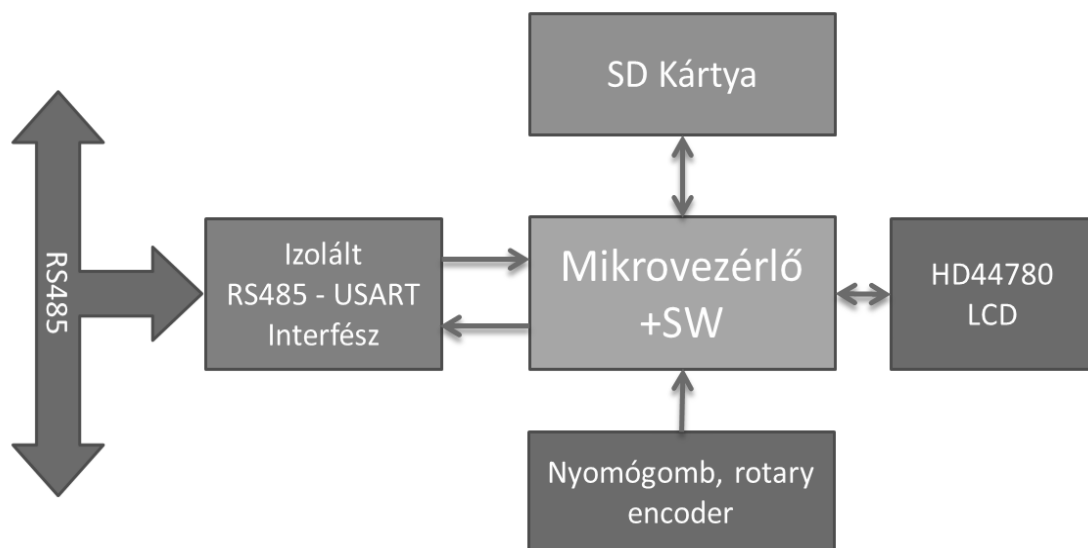
A tápegység feladata a működéshez szükséges megfelelő stabilitású és értékű tápfeszültségek előállítása a hálózati feszültségből. Stabilitása, és minősége alapvetően meghatározza a készülék megbízhatóságát.

- **RS485 interfész**

Feladata a mikrokontroller USART modulja és az RS485 adatvonalai közötti fizikai illesztés és a galvanikus leválasztás az RS485 buszról. A mikrokontroller USART moduljának kimeneti 0...5 V feszültségtartományú jelét zavarástűrő differenciális 0...5 V feszültségtartományú jellé alakítja.

- **Mikrokontroller, digitális perifériák**

Feladatuk a DMX512 adatok fogadása és visszajátzása az RS485 interfészen keresztül, valamint az adatok tárolása az SPI interfésszel rendelkező SD kártyára. A rögzítés és a visszajátzás vezérlésére a felhasználó által két nyomógomb és egy rotary encoder használható. Az elkészült áramkör teszteléséhez szükség van egy DMX512 protokollt létrehozni képes fényvezérlőre. Ennek igen magas ára miatt a teszteléshez készült egy költséghatékony izolált USB-RS485 átalakító, amely megfelelő PC-s szoftverkörnyezet mellett (FTDI²¹ USB driverek és ChamSys MagicQ²²) képes a fényvezérlő szerepét átvenni és az adott feladathoz teljes funkcionalitással rendelkezik.



17. ábra: A készülék blokkvázlata

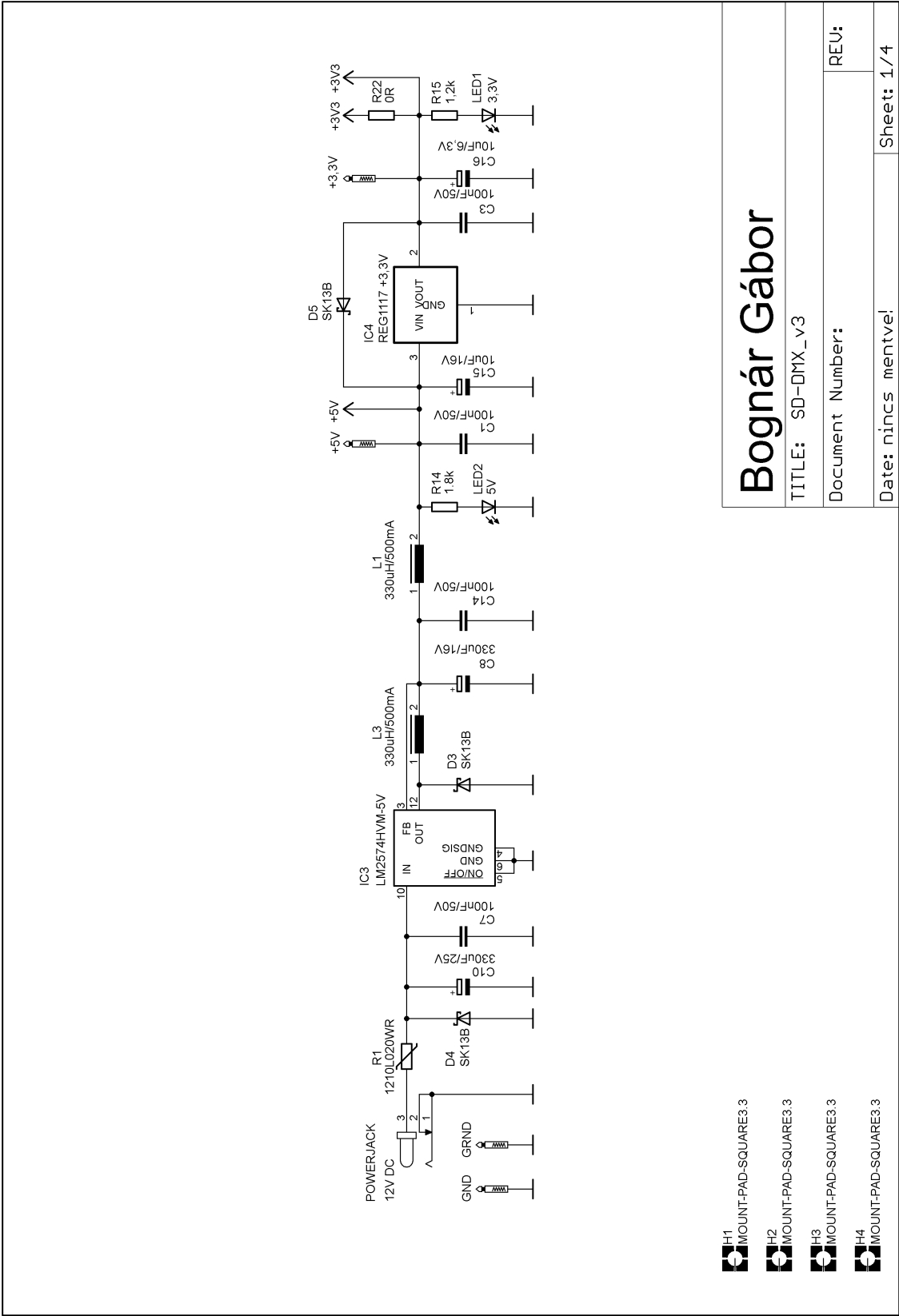
²¹ FTDI – Future Technologies Devices International Ltd - <http://www.ftdichip.com/>

²² ChamSys MagicQ – PC alapú fényrendszer vezérlő szoftvercsomag - <http://www.chamsys.co.uk/>

7 A RÉSZÁRAMKÖRÖK ISMERTETÉSE

7.1 Tápegység

A tápegység (18. ábra) látja el a műszer többi áramkörét a működéshez szükséges stabil feszültségekkel. A szimulációk során meghatároztam a várható teljesítménynyelvértelt és eszerint méreteztem a tápegység teljesítményét, ami így 2,5 VA. A kimeneti feszültségek +5V és +3,3V. A két külön tápfeszültség értékre a mikrokontroller, az egyéb áramköri egységek és az SD kártya különböző tápfeszültség igénye miatt volt szükség. A mikrokontroller, az RS485 buszmeghajtó, az LCD kijelző +5 V-os tápfeszültséget, az SD kártya pedig +3,3V tápfeszültséget igényel. A megfelelő hatásfok és a legkisebb disszipáció eléréséhez a +5V-os tápfeszültséget egy Texas Instruments gyártmányú LM2574 típusú standard kapcsolóüzemű stabilizátor és a hozzá tartozó elemek állítják elő. A kapcsolóüzemű működésből eredő nagy frekvenciás zavarok csillapításáról egy kimeneti L-C szűrő és kerámia hidegítő kondenzátorok gondoskodnak. A 3,3 V-os feszültséget az 5 V-os tápfeszültségből egy alacsony feszültségesésű REG11173V3 típusú integrált stabilizátor állítja elő, melynek kimeneti feszültségváltozása $\pm 1\%$ a névleges hőmérsékleti és terhelési értékeken belül. Ezen felül a kétszintű szabályozás és szűrés miatt javul a tápfeszültség stabilitása, ami az SD kártya vezérlőjének stabil működéséhez elengedhetetlen. A további külső forrásból érkező nagyfrekvenciás zavarok elleni védelem érdekében a kritikus áramköri elrendezések tápcsatlakozásánál kerámia hidegítő kondenzátorok kerültek beépítésre, illetve külön földfólia került kialakításra.



- H1 MOUNT-PAD-SQUARE3.3
- H2 MOUNT-PAD-SQUARE3.3
- H3 MOUNT-PAD-SQUARE3.3
- H4 MOUNT-PAD-SQUARE3.3

Bognár Gábor

TITLE: SD-DMX_v3

Document Number:

REV:

Date: nincs mentve!

18. ábra: A tápegység kapcsolási rajza

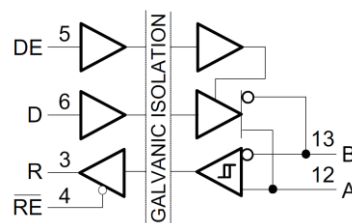
7.2 RS485 Interfész

Az RS485 interfész (20. ábra) feladata a különböző feszültség szintű és kialakítású UART és RS485 fizikai rétegek közötti illesztés. Ezt a feladatot a Texas Instruments által gyártott ISO3088 izolált half-duplex RS485 meghajtó látja el. Az IC tartalmaz egy RS485 buszmeghajtót, valamint gondoskodik a galvanikus elválasztásról is belső optocsatolói segítségével (ezzel a megoldással csökkent az áramköri elemek száma így növekedett az áramkör megbízhatósága). Szigetelési feszültsége $4\text{ kV}_{\text{ppDC}}$ az USART- és az RS485 be- és kimenetek között legnagyobb adatátviteli sebessége 20 Mbit/s . Az IC RS485 oldali táplálásáról is gondoskodni kell. Ahhoz hogy ne kelljen külső tápegységet alkalmazni, ugyanakkor a galvanikus leválasztás is teljesüljön, az RS485 oldalt egy AIMTEC gyártmányú AM1S-0505SZ izolált tápegység modul táplálja. A tápegység modul legnagyobb bemeneti feszültsége $6,5\text{ V}$, kimeneti feszültsége stabilizált 5 V , kimeneti árama max. 200 mA . Szigetelési feszültsége a bemenet és a kimenet között $1\text{ kV}_{\text{ppDC}}$.

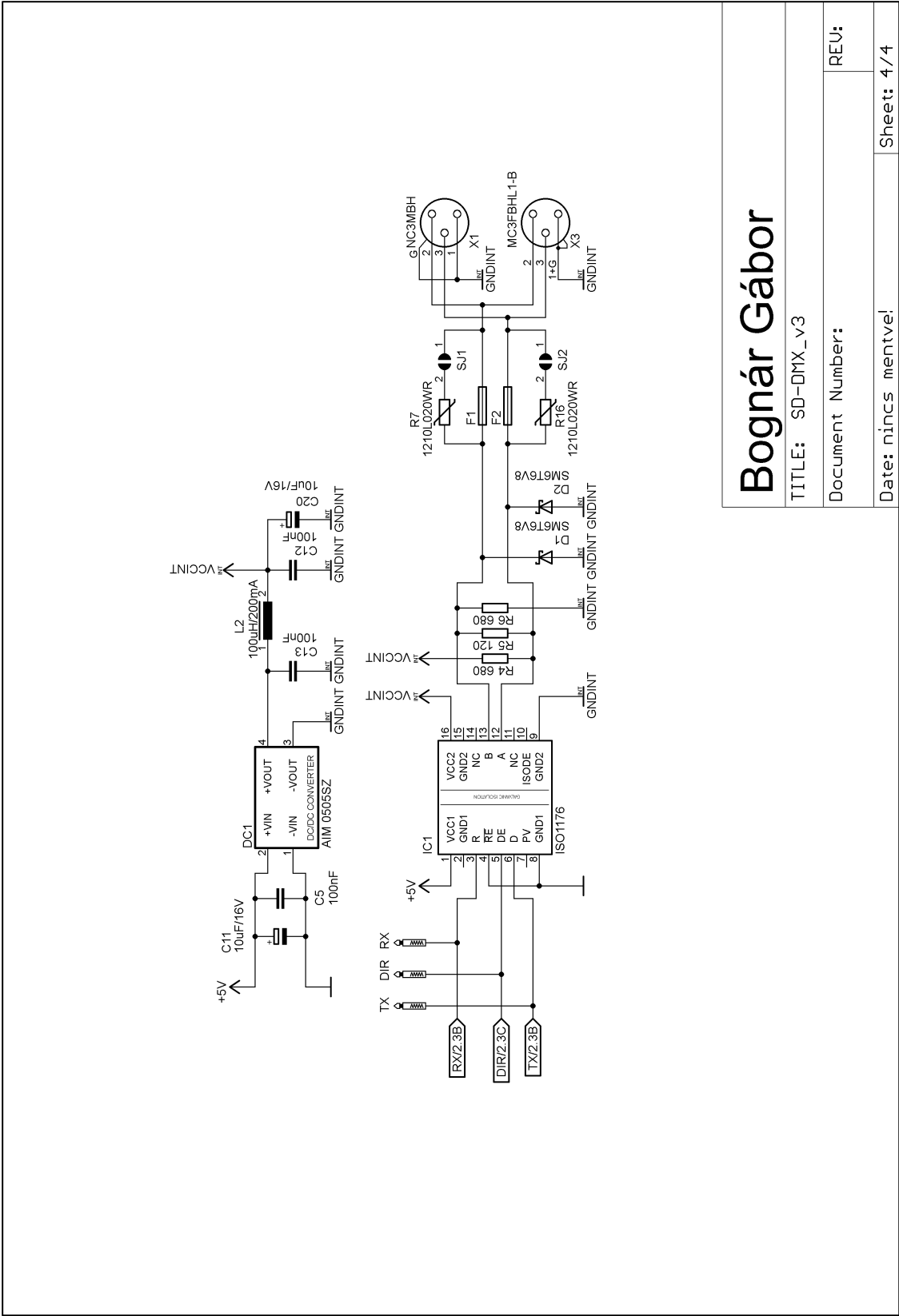
Az alkalmazásban kihasználásra került az adó és a vevő fokozat külön engedélyezhetősége (19. ábra), így megvalósítható az illesztő egység öntesztje is.

A kimeneten elhelyezkedő fel és lehúzó ellenállások a megfelelő házármentes kimeneti szintet biztosítják vezetékszakadás illetve zárlat esetén is, valamint a busz lezárását valósítják meg.

A differenciális adatvonalakon elhelyezésre került egy-egy biztosíték és egy-egy $6,8\text{V}$ névleges letörési feszültségű bipoláris tranzien-szuppresszor dióda. Ezek az elemek a busz normál működésére nincsenek hatással, azonban tranziens és konstans túlfeszültségek ellen megfelelő védelmet nyújtanak.



19. ábra: Az RS485 buszmeghajtó sematikus elrendezése



Bognár Gábor		
TITLE: SD-DMX_v3		
Document Number:	REV:	
Date: nincs mentve!	Sheet: 4/4	

20. ábra: Az RS485 Interfész

7.3 SD kártya interfész

Az SD kártya interfész a mikrokontroller MSSP²³ modulját alkalmazza SPI²⁴ működési módban az SD kártyával történő kommunikációra. Az SPI egy egyszerű, nagy sebességű, (maximálisan 12 MB/s) shiftregisztereken alapuló soros kommunikációs periféria. Az interfész a mikrokontroller hat kivezetését használja (21. ábra). Ezek:

- SS – slave select, az SPI szolga eszköz engedélyezésére,
- CLK – soros órajel, a kommunikáció szinkronizálásához,
- MISO – master in serial out, a mikrokontroller adat bemenete melyre az SD kártya adat kimenete csatlakozik,
- MOSI – master out serial in, a mikrokontroller adat kimenete, melyre az SD kártya adat bemenete csatlakozik.
- WP – write protect, az adathordozó írásvédettségének ellenőrzésére
- Detect – az adathordozó jelenlétének ellenőrzésére

Mivel a SD kártyák 3,3 V-os tápfeszültségről üzemelnek, minden adatbemenetük 3,3 V-os logikai jelet fogad. Ennél magasabb feszültség tönkreteszi az SD kártyákat és mivel a kapcsolatban alkalmazott mikrokontroller 5 V-os tápfeszültségű típus (az LCD kijelző kezelés miatt), ezért meg kellett oldani a logikai szintek illesztését. Erre a legegyszerűbb módon, feszültségosztók alkalmazásával került sor. A mikrokontroller felől érkező jelek egy-egy feszültségosztón jutnak keresztül, melynek osztási viszonya $3,3/(3,3 + 1,8) = 0,6470$, aminek eredménye képen 5 V kimeneti feszültség esetén az SD kártya logikai bemeneteire jutó feszültség $5 \text{ V} \cdot 0,6470 = 3,235 \text{ V}$ ami a 3,3V-os TTL logikai „1” szinten belüli érték.

Az SD kártya kimenete szintén 3,3 V-os feszültséget szolgáltat logikai „1” szint esetén, amit a mikrokontroller TTL bemeneti fokozata fogad. A TTL bemeneti fokozat a 3,3 V-os feszültséget már logikai „1”-ként értelmezi. Megfelelő beállítás mellett a shift-regiszteres felépítés miatt egy adatbájt küldése alatt egy adatbájt is fogadható 8 órajel ciklus alatt.

²³ MSSP – Master Synchronous Serial Port – magyar fordításban: mester szinkron soros port

²⁴ SPI – Serial Peripheral Interface – magyar fordításban: soros periféria interfész

7.4 Mikrovezérlő, digitális perifériák

A mikrovezérlő kiválasztásánál alapvető szempont volt a magas órajel frekvencia, a több időzítő és számláló modul és legalább két soros periféria megléte. A választás a már a korábbi projektekből és labormérésekről ismert PIC18F4520-I/PT mikrokontrollerre esett. Ennek a típusnak a belső program és adatmemóriája megfelelő méretű az alkalmazás program, és legalább egy teljes DMX512 keret eltárolására. Ezen kívül rendelkezik a DMX512 kommunikáció megvalósításához szükséges 9 bites adatokat küldeni képes EUSART²⁵ és az SD kártya illesztéséhez szükséges SPI üzemmódba konfigurálható MSSP modullal.

A mikrokontroller programozásához Microchip gyártmányú PICkit2/3²⁶ vagy ICD2/3²⁷ eszközök alkalmazhatóak. Ezek a mikrokontroller öt kivezetéséhez kapcsolódnak:

- MCLR – Master reset
- PGD – Program adat
- PGC – program órajel
- V_{DD} – Tápfeszültség
- GND – Föld

A mikrokontrollerhez történő gyors csatlakozáshoz és a programozás megkönnyítésére a prototípuson egy RJ12-6/6 csatlakozóra lettek kivezelve a programozáshoz szükséges lábak.

Az órajelet a mikrokontroller külső kvarc oszcillátorból nyeri melynek frekvencia bizonytalansága kisebb a belső RC oszcillátorának frekvencia-bizonytalanságánál és hőmérsékletfüggésénél. Erre a soros kommunikációk időzítés kritikussága miatt volt szükség. Az oszcillátor frekvenciája 16 MHz a belső utasításciklus ebből $F_{OSC}/4 = 4$ Mhz tehát, egy egy utasításciklus alatt végrehajtható utasítást a mikrokontroller 1/4 MHz idő azaz 0,25 μ s alatt hajt végre. Ebből a belső órajel frekvenciából a modulok belső órajel

²⁵ EUSART – Kiterjesztett képességű, univerzális, szinkron, aszinkron, adó-vevő modul

²⁶ PICkit2/3 – egyszerű PIC mikrokontroller programozó és hibakereső eszközök

²⁷ ICD2/3 – In Circuit Debugger – áramkörbeli hibakereső és programozóeszközök

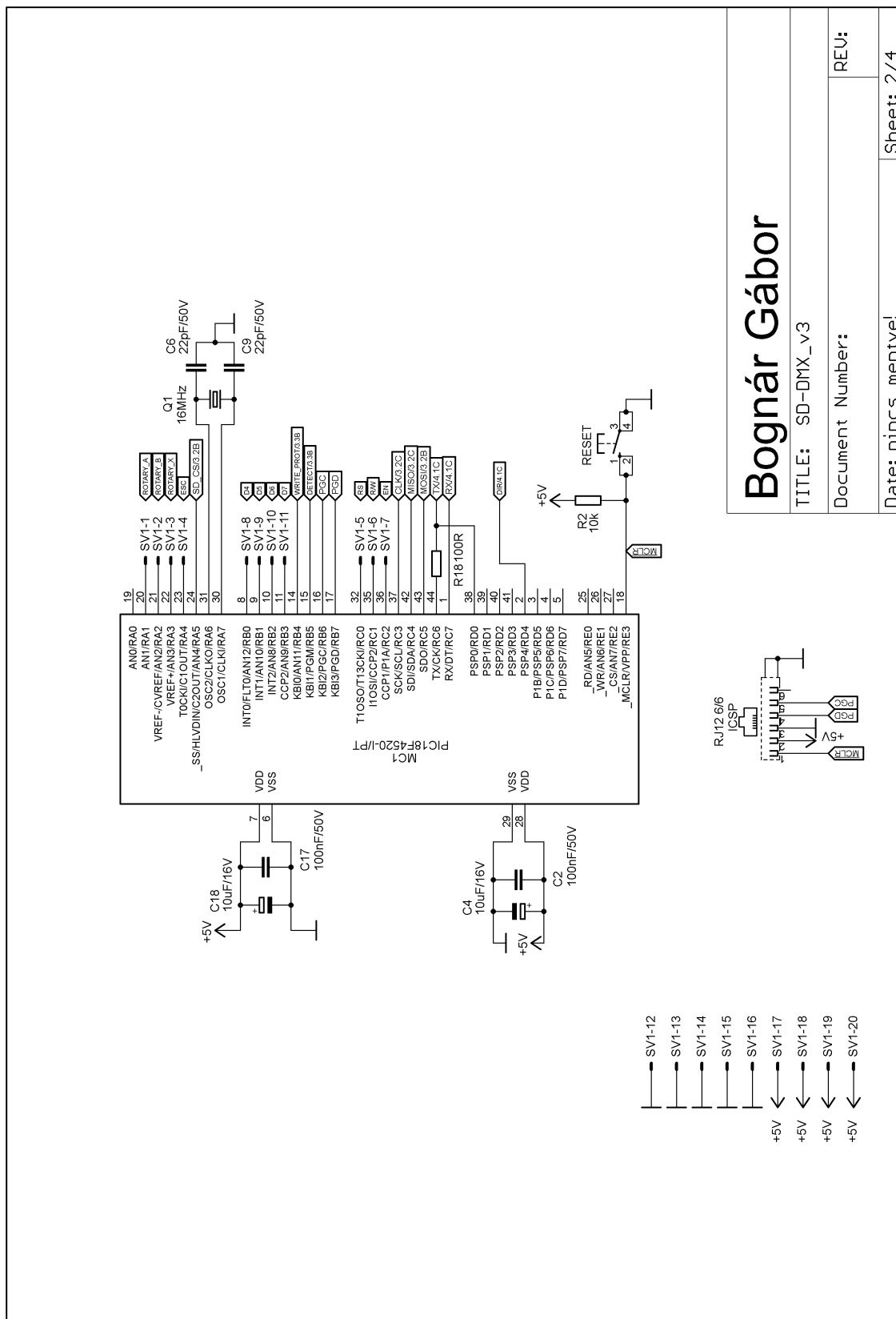
osztóival könnyedén előállítható például a DMX512 szabványban előírt 4 μ s USART bitidőhöz tartozó modul órajel (baud rate meghatározása).

A mikrokontroller és a digitális periféria áramkörök kapcsolási rajzát a 22. ábra szemlélteti. Az RS485 buszmeghajtó áramkör a mikrokontroller soros EUSART moduljának Rx és Tx kivezetéseire (RC6 Rx, RC7 Tx) és egy az adatirányt meghatározó kivezetésére (RD42) csatlakozik. Az EUSART modul adó kivezetése egy 100 Ω értékű ellenálláson keresztül csatlakozik az RS485 illesztő bemenetéhez, amihez a mikrokontroller egy másik, port lába is csatlakozik (RD0). Erre a megoldásra azért volt szükség, mivel az EUSART modul működése során nem képes megfelelő hosszúságú „brake” jelet létrehozni a baud rate megváltoztatása nélkül. A segéd portláb alacsony szinten tartásával és szoftveres késleltetés alkalmazásával könnyedén létrehozható a megfelelő hosszúságú „brake” jel.

Az SD kártya interfész az MSSP modul órajel, adat és engedélyező lábaira csatlakozik (MOSI, MISO, CLK, SS), használatához az egyéb, ezekhez a lábakhoz kapcsolódó modulfunkciókat (pl.: A/D bemenet, PWM kimenet) le kellett tiltani. Az adathordozó jelenlétének és írásvédettségének ellenőrzéséhez további két portláb (RB4, RB5) került felhasználásra.

A felhasználóval történő kapcsolattartás érdekében a készülékbe beépítésre került egy HD44780 szabványú 4x16 karakteres alfanumerikus LCD modul, amin a készülék aktuális állapota és a menürendszer látható. A modul 4bits üzemmódban működik, ehhez a mikrokontroller hét kivezetését használja fel. Ezek közül négy adat (RB0-RB3) és három vezérlő (RC0-RC2) jel.

A menüpontok kiválasztásához és a funkciók eléréséhez valamit hardveres reset jel generálásához két záró érintkezős nyomógomb és egy rotary encoder lett bekötve a mikrokontroller MCLR, és RA1-4 lábaira.



22. ábra: A mikrovezérlő, és periféria áramkörei

7.5 USB-DMX512 protokoll konverter és interfész

A készülék teszteléséhez és a PC-n futó ChamSys MagicQ szoftver használatához szükség volt egy olyan eszközre, amely a PC-hez USB2.0 porton csatlakozik és DMX512 csomagok adására és az RDM protokoll kezelésére is képes. Az eszközöz a FTDI cég FT232RL típusú USB2.0 UART konverter IC-je került felhasználásra az adatlap referencia ajánlása szerint (23. ábra).

A tervezéskor alapvető szempont volt a PC és az RS485 hálózat galvanikus elválasztása egymástól. Ezt a feladatot a Texas Instruments által gyártott ISO3088²⁸ izolált half-duplex RS485 meghajtó látja el. Az IC tartalmaz egy RS485 buszmeghajtót, valamint gondoskodik a galvanikus elválasztásról is belső optocsatolói segítségével (ezzel a megoldással csökkent az áramköri elemek száma így növekedett az áramkör megbízhatósága). Szigetelési feszültsége 4 kV_{pp}DC az USART- és az RS485 be- és kimenetek között legnagyobb adatátviteli sebessége 20 Mbit/s. Az IC RS485 oldali táplálásáról is gondoskodni kell. Ahhoz hogy ne kelljen külső tápegységet alkalmazni, ugyanakkor a galvanikus leválasztás is teljesüljön, az RS485 oldalt egy AIMTEC gyártmányú AM1S-0505SZ²⁹ izolált tápegység modul táplálja. A tápegység modul legnagyobb bemeneti feszültsége 6,5 V, kimeneti feszültsége stabilizált 5 V, kimeneti árama max. 200 mA. Szigetelési feszültsége a bemenet és a kimenet között 1kV_{pp}DC.

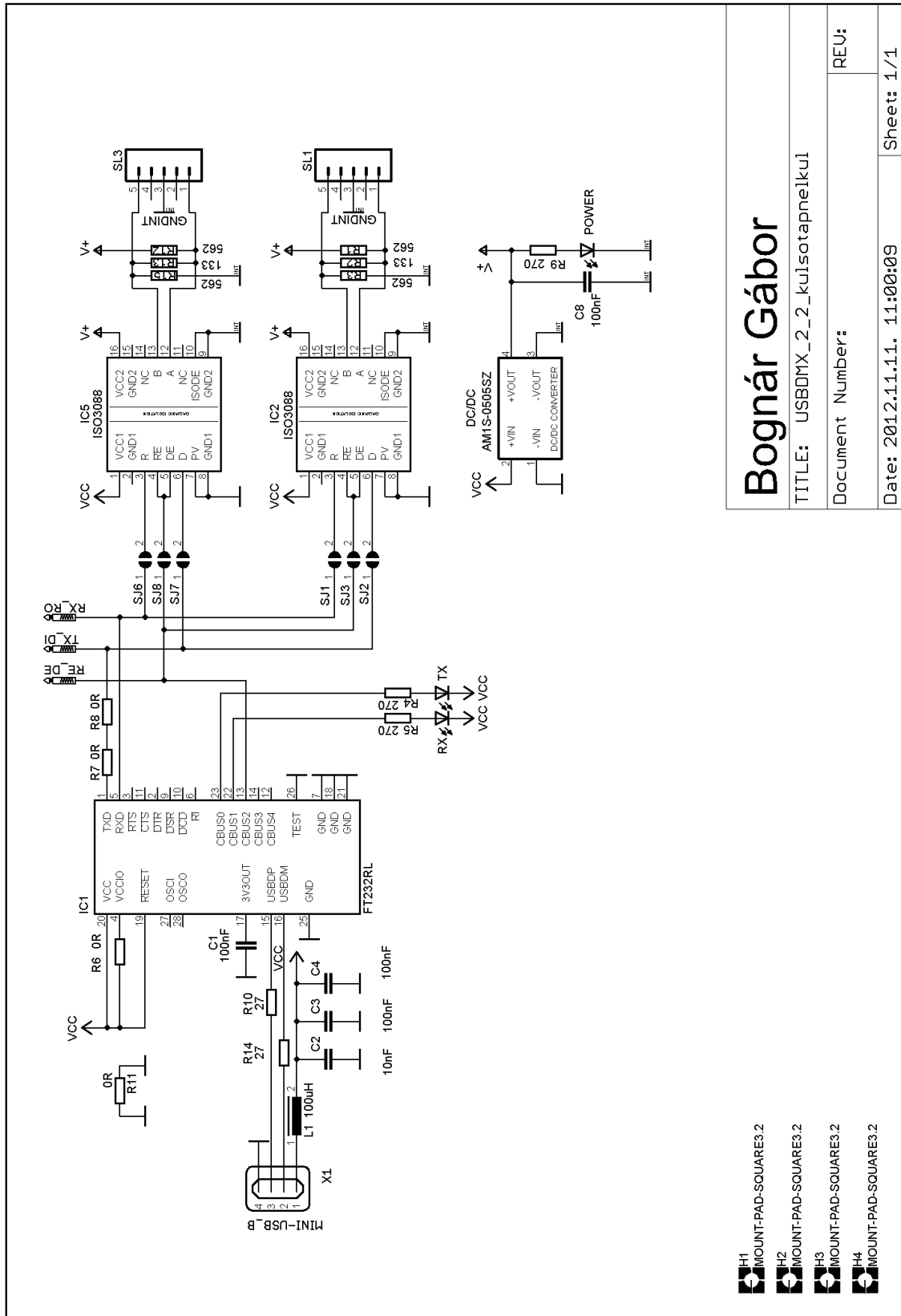
Az RS485 meghajtó kimenetén elhelyezett ellenállások a buszvonalak feszültségének stabilizálását szolgálják szakadt vezeték esetén, valamint a busz lezárását valósítják meg.

A készülék két ekvivalens RS485 kimenettel rendelkezik, így egy DMX512 kimenetet külső DMX splitter³⁰ nélkül lehet két különálló busz szakaszra osztani.

²⁸ ISO3088 – <http://www.ti.com/product/iso3088>

²⁹ AM1S-0505SZ – <http://www.aimtec.com/am1s-0505sz-1w-5vdcv-input-voltage-5v-output-voltage-0v-isolation-sip4-dc-dc-isolated-power-supply>

³⁰ Splitter – Jelen esetben aktív jel elosztó és ismétlő

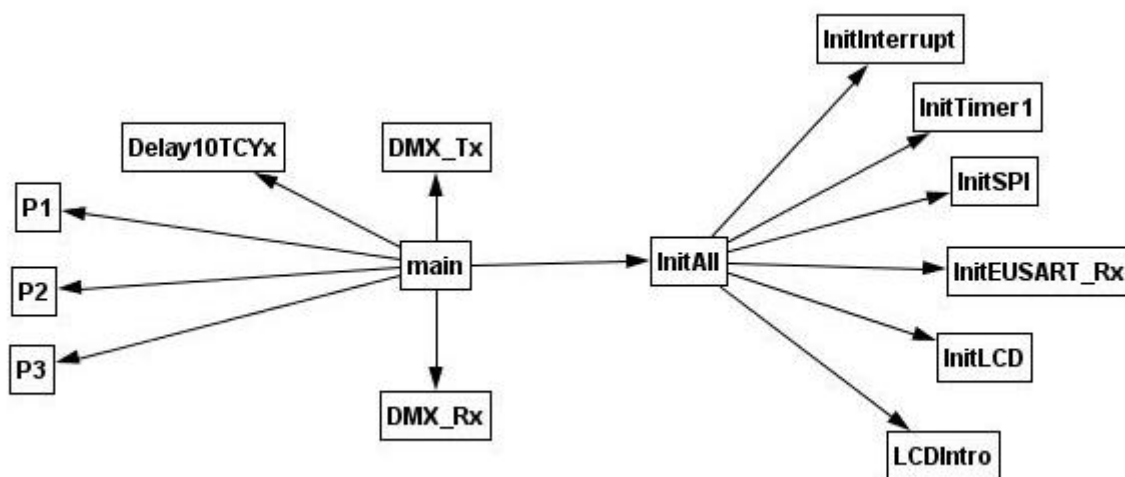


23. ábra: Az USB2.0-DMX512 protokoll konverter és interfész

8 SZOFTVERFEJLESZTÉS SZIMULÁCIÓ

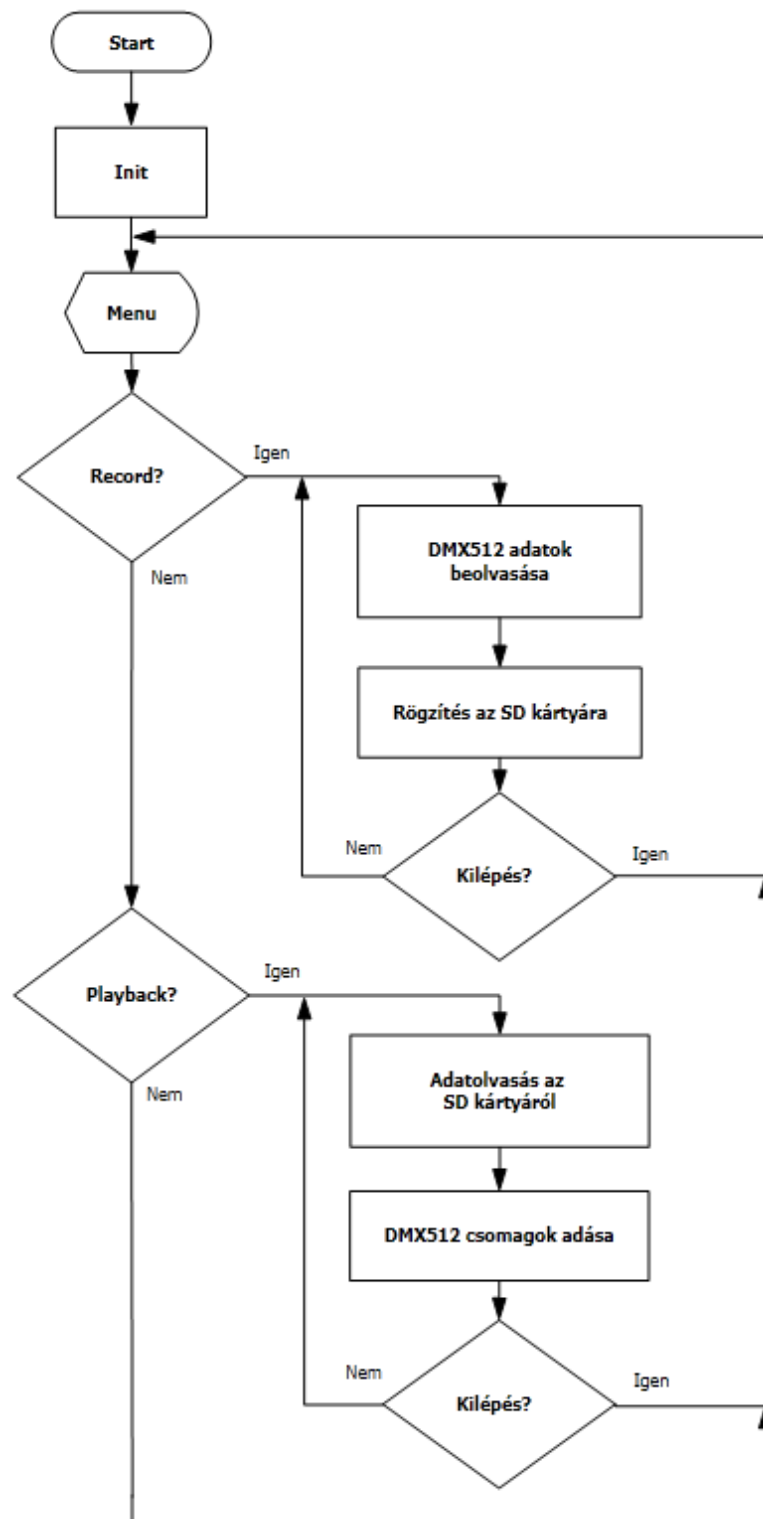
A szoftver a Microchip gyári MPLAB X fejlesztőkörnyezetének segítségével készült C18³¹ nyelven, a gyári könyvtárakat is felhasználva. A szimulációhoz és a hibakereséshez PICKit2 és ICD2-3 fejlesztőeszközök kerültek alkalmazásra.

A készüléken futó szoftver főprogramjának hívási gráfját szemlélteti a 24. ábra. A teljes program egyszerűsített folyamatábráját pedig a 25. ábra mutatja.



24. ábra: A mikrovezérlőn futó főprogram hívási gráfja

³¹ C18 – a Microchip cég PIC mikrokontrollereire írt C-programnyelv

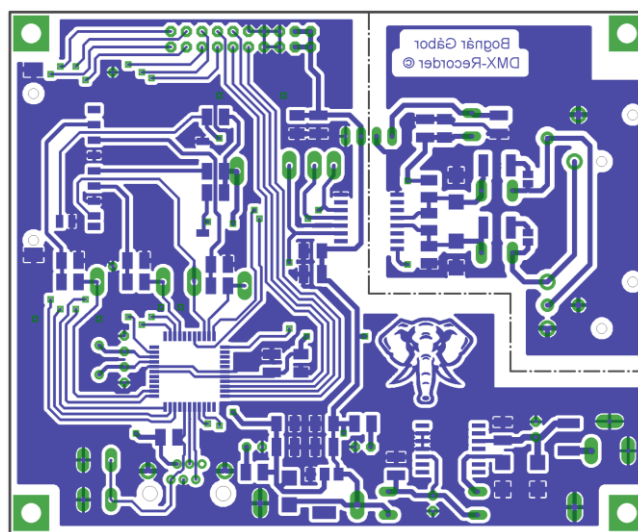


25. ábra: A mikrovezérlőn futó program folyamatábrája

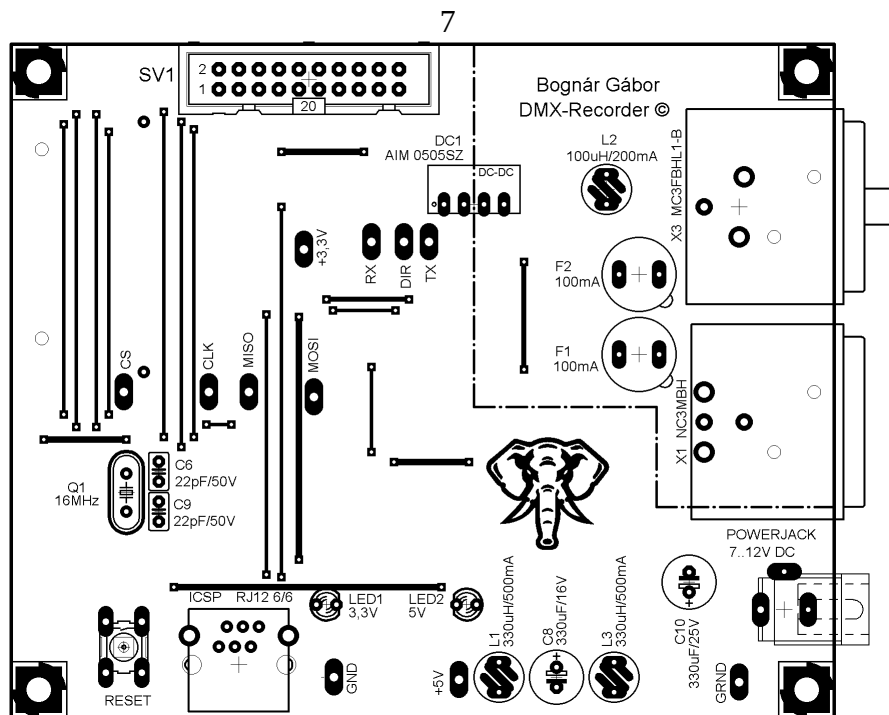
9 A PROTOTÍPUS GYÁRTÁSA

9.1 NYÁK tervezés, gyártás

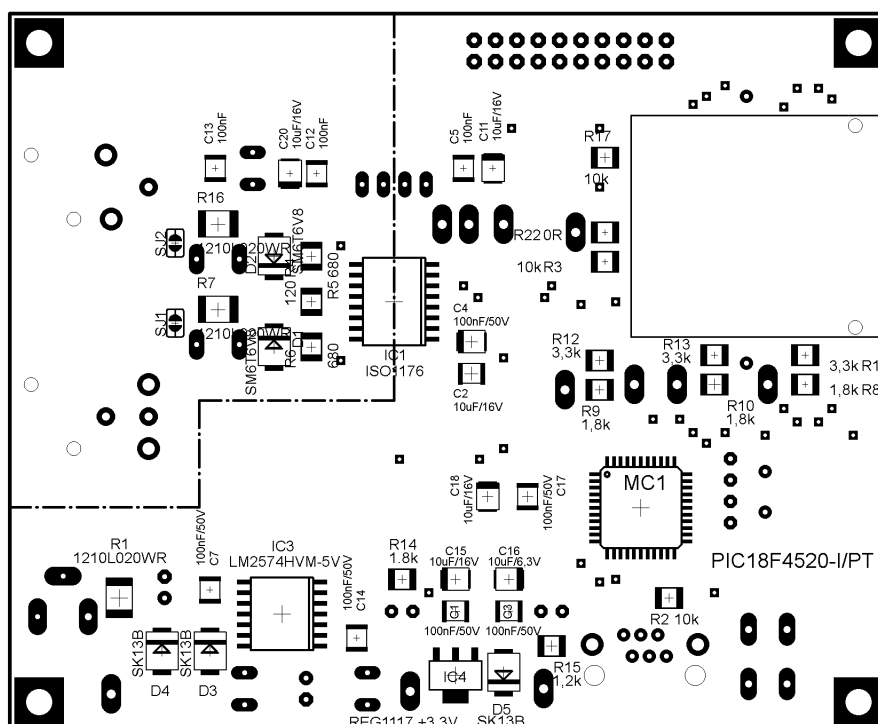
A NYÁK tervezése az EAGLE kapcsolás és nyomtatott áramkör tervező program 6.10-es oktatási licenccel rendelkező verziójával készült. A kapcsolási rajz elkészítése (az alkatrész kiválasztás, és paraméterezés) után az alkatrész elhelyezés, és a rajzolat kialakítás következett. Az alkatrészek elhelyezésekor először a csatlakozók kerültek a NYÁK szélére majd a nagyobb helyigényű alkatrészek elhelyezése következett. A rajzolat kialakítás során külön ügyeltem a kritikus áramköri részletek (oszillátor-, SD-, RS485 interfész) megfelelő, referencia ajánlás szerinti kialakítására. A zavarvédetség és a stabil működés érdekében a rajzolon „teliföld” fólia került kialakításra ez által a nagyfrekvenciás zavarvédetség nagymértékben javul, illetve csökken a belső földhurkokból származó zavarfeszültségek nagysága. A külső kiegészítő áramkörök csatlakozók segítségével köthetőek az áramkörbe, valamint a hibakeresés, tesztelés, és élesztés megkönnyítésére a nevezetes áramköri pontokon tesztpontok (érintkező tűskével ellátva) kerültek kialakításra.



26. ábra: A nyomtatott áramkör fólia oldala



27. ábra: A nyomtatott áramkör alkatrész oldali beültetési rajza



28. ábra: A nyomtatott áramkör fólia oldali beültetési rajza

9.2 Mechanikai kivitelezés

A készülék végleges mechanikai kivitelezésére jelenleg még nem került sor. A készülékház a végleges verzióban egy elején és végén bontható alumínium profil lesz, amelyen kialakításra kerülnek a kezelőszervek és a csatlakozók valamint az LCD kijelző nyílásai.

Az alumínium profil megfelelő mechanikai és elektromágneses védelmet nyújt a készülék számára.

A prototípus a mérések és az esetleges javítások miatt nem kapott külön burkolatot, az alaplemez és az LCD kijelző távtartókon helyezkednek el.

9.3 A működés ismertetése

A készülék egy külső 7...12 V egyenfeszültséget szolgáltató adatterről üzemeltethető. Ennek csatlakoztatása után, a készülék bekapcsol, megjelenik az üdvözlő üzenet, és a készülék elvégzi az öntesztet. Az önteszt hibátlan lefutása után megjeleni a menü. Itt választató a Record- rögzítés funkció és a Playback- visszajátszási funkció. A menü nyílat a rotary encoder forgatógombjának forgatásával lehet mozgatni, a menüpontba pedig a rotary encoder forgatógombjának lenyomásával lehet belépni. Kilépni a menüpontból az „ESC” nyomógomb lenyomásával.

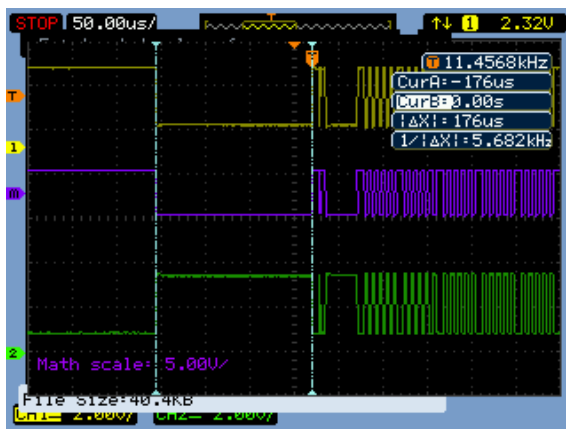
Ezután csatlakoztatni kell a készülék bemenetéhez a fényvezérlő pultot, amin futtatni kell a rögzíteni kívánt programot, a készülék kimenetéhez pedig csatlakoztatni kell a programot végrehajtó eszközöket (dimmereket, robotlámpákat stb.).

A rögzítési üzemmódba belépve a készülék megvárja az első érvényes DMX512 csomagot majd elkezdi a rögzítést. Jelen állapotban a készülék legfeljebb 44 csomag adatait képes rögzíteni. A csomagok rögzítése után a készülék visszalép a menübe. Ezután kiválasztható a rotary encoder segítségével a Playback menüpont. A menüpontba belépve a készülék az elmentett DMX512 adatokat szabványos DMX512csomagokká szervezve küldi a kimenetre, amíg a menüpontból ki nem lépünk.

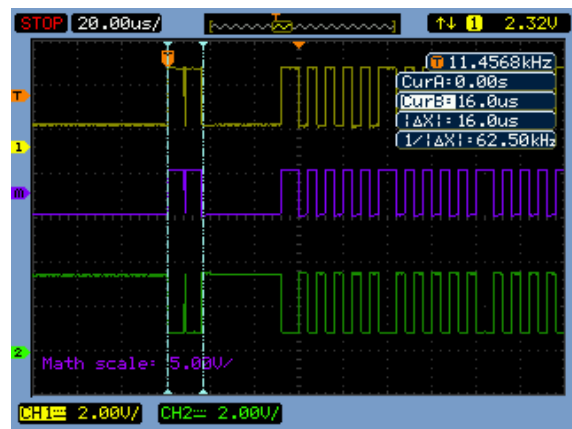
10 MÉRÉSI EREDMÉNYEK

Az áramkör élesztése során elvégzett mérések és a programfejlesztés eredménye képen képes szabványos DMX512 kereteket rögzíteni és képes ezeket visszajátszani is. Az alábbi ábrák készülék által létrehozott DMX512 csomag fejrészét ábrázolják. A 29. ábra a „break” jel időtartamát, a 31. ábra a „mark after brake” jel időtartamát, a 30. ábra egy bit időtartamát a 32. ábra pedig egy startbájt időtartamát ábrázolja. Az ábrákon a csatornához tartozó nulla szint a jobboldalon látható markerekkel jelölt szinten található. Az ábrákon a sárga jel a „Data+” a zöld a „Data-”, a lila pedig az oszcilloszkóp által az előző két jelből létrehozott különbségi jel.

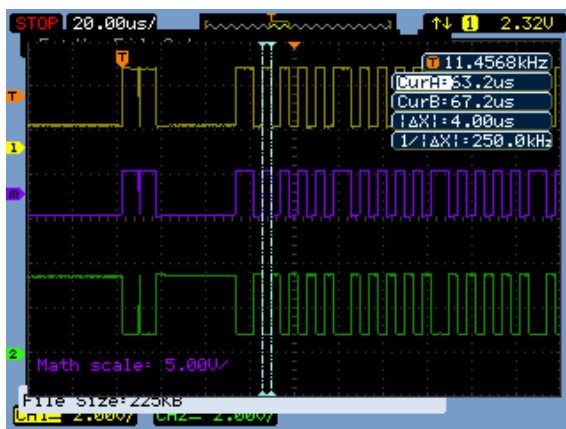
A mérések elvégzéséhez és az élesztéshez Agilent DSO1004 típusú oszcilloszkópot és Agilent E3136-A típusú laboratóriumi tápegységet használtam fel.



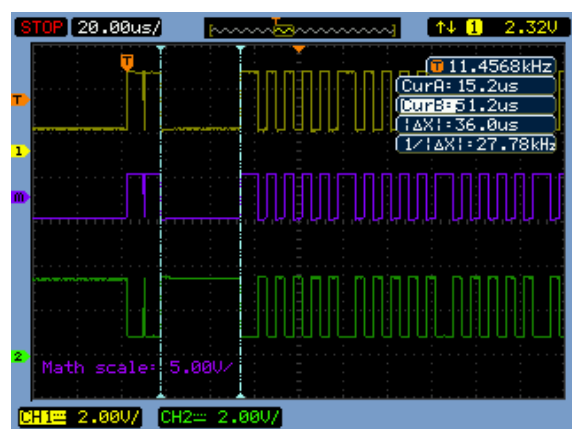
29. ábra: Break jel az RS485 buszon (176 μ s)



31. ábra: Mark after brake az RS485 buszon
(16 μ s)



30. ábra: Bitidő meghatározása az
RS485 buszon (4 μ s)



32. ábra: DMX512 start kód az RS485 buszon
(36 μ s start és stop bit nélkül)

11 A FEJLESZTÉS SORÁN TAPASZTALT PROBLÉMÁK

Az SD kártya vezérlője rendkívül kényes a tápfeszültség zavaraira és a külső zavaró hatásokra. A fejlesztés során problémát okozott, hogy az első beépítésre került SD kártya foglalat egy műanyag típus volt, így nem nyújtott megfelelő árnyékolást a kártya számára, ezért a kártya és az adatátvitel működése bizonytalan volt. Ehhez hozzátartozik, hogy az SD kártyák az inicializálás alatt nem képesek nagysebességű adatátvitelre, ezért az inicializálás idejére az MSSP modul órajelét kHz-es nagyságrendűre kellett csökkenteni.

A szoftver jelenleg is fejlesztés alatt áll, az esetleges kijelzési és működési hibák az egyes még nem tökéletesített szoftverrészekből adódhatnak.

12 FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A jelenlegi hardware kialakítás megváltoztatása nélkül csupán szoftvermódosítással a DMX512 rendszer diagnosztizálására képes eszköz készíthető. Ebben az esetben, kompakt méretben egy olyan eszközt kaphatunk, ami képes a busz feszültségeit, időzítéseit egyes csatorna értékeit kijelezni. Ezen kívül képes a buszra tesztadatokat küldeni előre meghatározott címekre vagy akár a teljes címtartományba is. Ezzel megoldható például nagyobb rendszerek vagy csak egyes vevők tesztelése, hibakeresése.

13 ÖSSZEGZÉS

A DMX512 Recorder fejlesztése során részletesen megismerkedtem a színházi és színpadtechnikai világítási rendszerekkel és kialakulásuk előzményeivel. Előzetes tanulmányaim és a téma irodalomkutatása után sikerrel terveztem meg és készítettem el egy olyan programozható eszközt, amely képes a szabványos DMX512 kommunikáció megvalósítására. A fejlesztés és a gyártás során bővültek az áramkör tervezési, élesztési és gyártási tapasztalataim. Gyakorlatra tettem szert a Microchip MpLabX integrált fejlesztői környezetének használatában, a 18F sorozatú PIC mikrovezérlők C nyelvű programfejlesztésében, kommunikációs algoritmusok programozásában és az SD kártyák alapszintű kezelésében.

14 IRODALOMJEGYZÉK

- [1] chipcad.hu. (2012). Forrás: chipcad.hu: <http://chipcad.hu>
- [2] microchip.com. (2012). Forrás: microchip.com: <http://microchip.com>
- [3] plasa.org. (2012). Forrás: plasa.org: <http://plasa.org>
- [4] ti.com. (2012). Forrás: ti.com: <http://ti.com>
- [5] usitt.org. (2012). Forrás: usitt.org: <http://usitt.org>
- [6] Dr.Kónya László, K. J. (2009). PIC mikrovezérlők alkalmazástechnikája - PIC programozás C nyelven. Budapest: ChipCad Kft.
- [7] Pelyhe, J. (2006). Színpadi világítás- és vezérléstechnika. In Világítástechnika jegyzet. Budapest.
- [8] Pelyhe, J. (2011). Fénytan. In J. Peyhe, Világítástechnikai jegyzet. Budapest.
- [9] Sands, R. F.-R.-M. (1985). Mai fizika 3. - Optika, anyaghullámok. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- [10] Zsom, G. (2000). Digitális Technika I. II. Budapest: Hungarian Edition Műszaki Könyvkiadó.