



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI KAR
ELEKTRONIKAI ÉS KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZEREK INTÉZET
MŰSZERTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI TANSZÉK



SZAKDOLGOZAT



OE-KVK
2023.

Szrena Csongor
T008462/F112904/K



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Műszertechnikai és Automatizálási Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Szrena Csongor

Szakedolgozat száma: SZD2309040923422582

Törzskönyvi száma: T008462/FI12904/K

Neptun kódja:

Szak: villamosmérnöki (magyar nyelven)

Specializáció: Műszer-automatika specializáció

A dolgozat címe: Hangfrekvenciás erősítő védő és vezérlő áramkör

A dolgozat címe angolul: Audio frequency amplifier protection and control circuit

A feladat részletezése: Készítsen hangfrekvenciás erősítőt védő és vezérlő áramkörrel, amelynél a következő funkciókat: DC hibafeszültség, túláram, hőmérsékletmegfutás elleni védelem, bemenetválasztás, hangerővezérlés, kijelzős visszajelzés megvalósítása mikrovezérlő segítségével.

Intézményi konzulens neve: Sándor Tamás

A kiadott téma elévülési határideje: 2025. 12. 31.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2023. 10. 24.

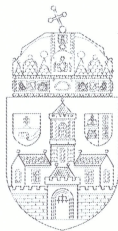


Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI KAR
ELEKTRONIKAI ÉS KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZEREK INTÉZETI
MŰSZERTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI TANSZÉK



HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2023. 12. 14.


.....
hallgató aláírása

Tartalom

1. Bevezetés	6
2. Probléma megfogalmazása	7
3. Specifikáció	9
4. Lehetséges megoldások	11
5. Rendszertervek.....	16
5.1 Logikai rendszerterv	16
5.2 Fizikai rendszerterv	17
6. Offset érzékelés.....	18
7. Túláram érzékelés	21
8. Hőmérés	26
9. Hűtés	27
10. Relék	28
10.1 Főkapcsoló.....	28
10.2 Lágyindítás	28
10.3 Hangfalvédelem.....	28
10.4 Bemenetválasztás	28
11. Hangerő vezérlés, bemenetválasztás és állítás.....	29
11.1 Hangerő vezérlés	29
11.2 Bemenetválasztás	31
11.3 Hangerő/bemenet állítás	32
12. Visszajelzés.....	33
13. Mikrovezérlő.....	34
14. Kapcsoló tranzistorok	35
15. Tápegység	36
15.1 Szükségletek és lehetőségek.....	36
15.2 Transzformátorok mérése	36

15.3	AC/DC konverter és mérése	37
15.4	Árnyékolás mérése	38
15.5	Analóg tápegység	39
16.	Kapcsolási rajzok	40
16.1	Fő áramkör.....	40
16.1.1	Offset, túláram érzékelés,	40
16.1.2	Hőmérés	41
16.1.3	Hűtés	42
16.1.4	Hangerő vezérlés.....	42
16.1.5	Hangerő/bemenet állítás	43
16.1.6	Standby nyomógomb	44
16.1.7	Mikrovezérlő.....	45
16.1.8	Egyebek	46
16.2	Bementválasztó.....	46
16.3	Tápegység.....	47
17.	NYÁK.....	48
18.	Program.....	50
19.	Kész áramkör	52
20.	Összegzés/Summary	55
20.1	Összegzés	55
20.2	Summary.....	56
21.	Irodalom.....	57

1. BEVEZETÉS

Az audió teljesítményerősítők építése és fejlesztése hosszú múltra tekint vissza, és bár manapság talán kevésbé népszerű szabadidős elfoglaltság, mégis sokan vannak, akik a mai napig foglalkoznak ezzel, akár hobbi szinten is. A hangfrekvenciás erősítők tervezése során kiemelt figyelmet kell fordítani a kész készülék megbízhatóságára, hogy az ne csak kiváló minőségű hangot szolgáltatson, hanem se magában, se a rácsatlakoztatott hangsugárzóknak ne tegyen kárt.

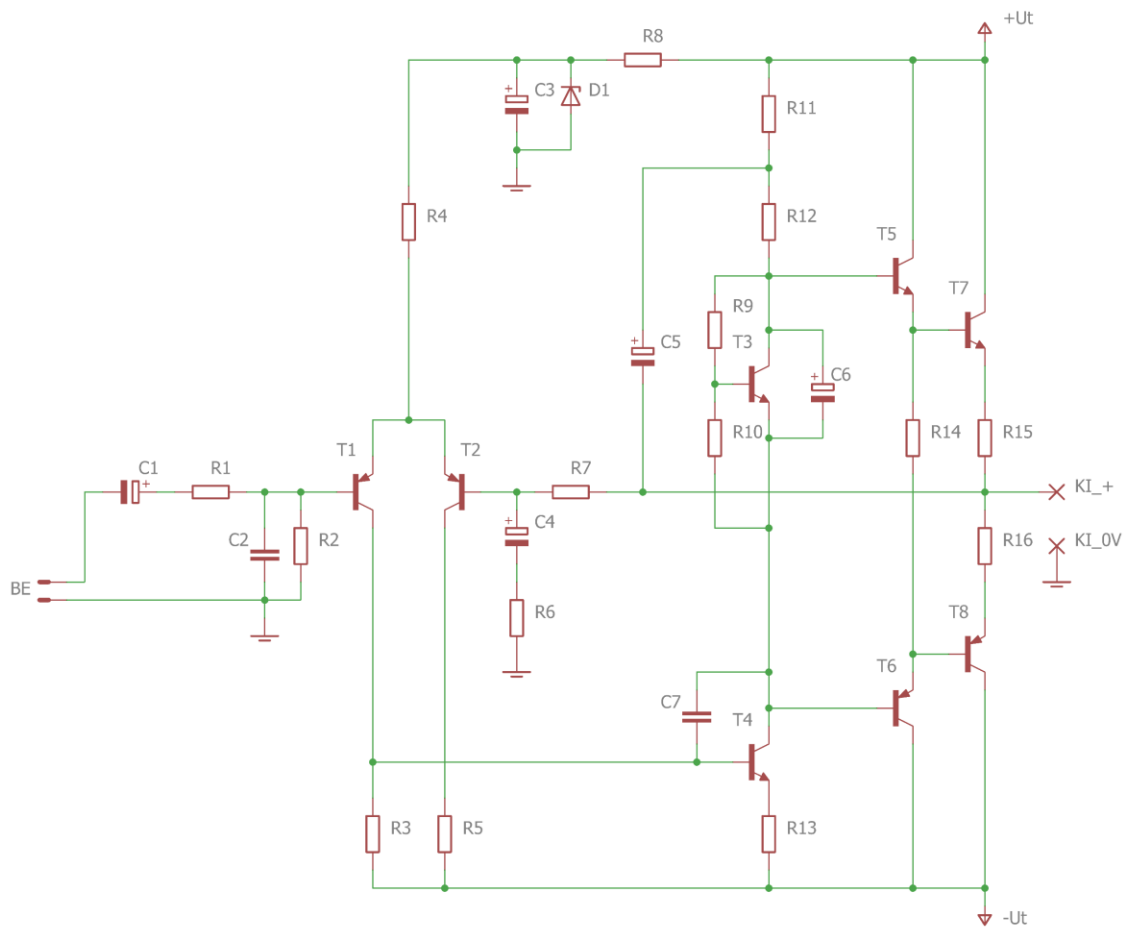
A dolgozat célja, hogy áttekintést nyújtson a hangfrekvenciás erősítők védelmének fontos szempontjairól. A dolgozat bemutatja az erősítők működésük közben leggyakrabban előforduló meghibásodási lehetőségeit és azok okait, valamint a meghibásodások megelőzésének módjait és meghibásodás bekövetkezése esetén annak detektálási lehetőségeit és a szükséges védelmi folyamatokat.

Ezek után a megismert módszerek alapján egy önálló áramkör tervezése a cél, amely kiegészítésre kerül plusz kényelmi funkciókkal, ezzel egy komplett védelmi és vezérlő áramkört megvalósítva. Összevetésre kerül a különböző problémákra/feladatokra több megoldási lehetőség is, melyek közül a legjobbnak véltek lesznek az áramkör egyes részeiben felhasználva. Ismertetésre kerül a tápegységként szolgáló áramkör tervezésének menete, valamint a fő áramkör mikrovezérlőjére készített program is. Végül a végleges verzió kiértékelő méréseken is átesik.

A szakdolgozat témája az 58. Tudományos Diákköri Konferencián is bemutatásra került.

2. PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

Hangfrekvenciás erősítő építés során különböző minőségű és teljesítménytudású is készülhet, kezdve a legegyszerűbb, szinte semennyi külső alkatrészt nem igénylő integrált áramköröstől a jóval bonyolultabb bipoláris tranzisztorosig, valamint osztályok tekintetében készülhet A-, B- és akár AB-osztályú is. Általában mindegyiknél a lehető legjobb hang elérése a cél az adott kapcsolástechnikával, ami a legtöbbször úgy történik, hogy különböző minőségű alkatrészeket és más-más munkapont beállításokat próbál ki a fejlesztő, majd hosszas behallgatások után kiválasztja a számára kedvező komponenseket és munkapontokat.



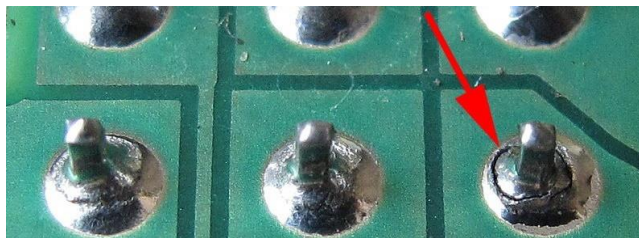
2/1. ábra: Példa egy egyszerű AB osztályú végfokozatra [saját ábra]

A nagy teljesítmény nem mindig szempont, csak hogy a nagyobb teljesítményű végfokozatok kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkeznek, például stabilitásban. Egy erősítő jóságát azonban alapjaiban meghatározza az őt energiával ellátó tápegység milyensége is. A minél nagyobb teljesítményű toroid transzformátorból és több 10.000uF kapacitású pufferkondenzátorokból felépített tápegység elengedhetetlen, ha a jó hang a cél [1].

Amikor egy végfokozat késznek és elég jónak nyilvánul ahhoz, hogy készülékdobozba szerelve kész eszközként működhessen, minden esetben felmerülnek a végfokozat hibalehetőségei. Az 2/1. ábrán látható kapcsolásban a T7 és T8 végtranzisztorok közül, ha bármelyik tönkremegy, akkor az legjobb esetben szakadással, rosszabb esetben pedig rövidzárlattal jár. Ennek hatására, ha a T7-es tranzisztor ment tönkre, akkor a pozitív, ha a T8-as tranzisztor ment tönkre, akkor a negatív tápfeszültség kikerül a végfokozat kimenetére és ezzel a hangsugárzóra is, ha éppen rá van csatlakoztatva.

Egy végtranzisztor tönkremeneteléhez több út is vezethet:

- Lehet gyárilag hibás, például nem bírja a specifikált áramterhelést, csak jóval a leírtak alatt, így egy nagyobb áramimpulzusnál elő is jön a hiba.
- Lehet hibás forrasztás a NYÁK-on, ami a sok melegedés-lehűlés hatására megrepedezik és már nem biztosít folyamatos összeköttetést az alkatrészláb és a fólia között, ezzel a munkapontok teljesen feldőlhetnek és a végtranzisztor bázisára kerülhet olyan feszültség, ami nem lenne szabad.



2/2. ábra: Példa repedt forrasztásra [2]

- Hőmegfutás is előállhat. A bipoláris tranzisztor hőmérséklete növekedésének hatására a rajta átfolyó áram is növekszik. Ennek a kézbe tartására szolgál a nyugalmi áram szabályzó kapcsolás a végerősítőben. A 2/1. ábrán T3 a nyugalmi áram szabályzó tranzisztor. Ezt közös hűtőfelületre rögzítve a T7 és T8 végtranzisztorokkal, azok üzem alatti melegedésének hatására melegedő hűtőfelülettel együtt a T3 tranzisztort is melegszik. A T3 tranzisztoron ezért több áram kezd el folyni, ezzel a végtranzisztorok felé folyó bázisáramot csökkentve, tehát a végtranzisztorok kollektorán átfolyó áram is csökken. Elkezd lehűlni a hűtőfelület, T3 tranzisztor zárni kezd és a végtranzisztorok felé több bázisáramot fog engedni, majd egy idő után beáll egy stabil szintre. Ha rossz a munkapontbeállítás, vagy bármelyik tranzisztor hűtési felülethez való rögzítése, a hőmegfutás viszonylag gyorsan be tud következni.

3. SPECIFIKÁCIÓ

Mivel az esetek nagyrésztében a hangsugárzó meghibásodása nagyobb anyagi kárral jár, mint egy házilag épített erősítőé, ezért elsősorban az offset figyelése a legfontosabb. Azonban az erősítőt is érdemes védeni, mivel, ha csak egy forrasztással lép fel probléma, még egyáltalán nem biztos, hogy bármelyik alkatrész meghibásodik. Viszont, ha az ilyen esetben keletkezett esetleges túláram nem detektálódik, akkor bizony több alkatrész is rövid időn belül meghibásodhat. Ugyanez a helyzet a rossz munkapontbeállítással, vagy túl kicsi hűtőfelülettel. Ezekben az esetekben nem feltétlen akkora a nyugalmi áram, hogy a túláramvédelmet aktiválja, viszont ahhoz már elegendő, hogy túlmelegítse a tranzistorokat és az említette hőmegfűtás végbemenjen. Tehát a túláram detektálásával és a hűtőfelület hőmérsékletének figyelésével még jobban kiküszöbölhető, hogy még több károsodás keletkezzen a hangsugárzóban és az erősítőben is. Ezek alapján a következő védelmi funkciókat kell, hogy ellássa a megvalósítandó áramkör:

- Offset védelem
- Túláram védelem
- Hővédelem

A legtöbb házilag készült erősítőben általában valamilyen karos, vagy nyomókapcsolót használnak a készítő főkapcsolóként. Kapcsolót használva csakis annak a kapcsolásával lehet ki-bekapcsolni a készüléket, viszont nyomógombot és mikrovezérlőt alkalmazva akár távirányítás, vagy külső vezérléssel (két készülék távvezérlése összecsatlakoztatva például RCA kábellel és ezáltal egy távirányítóval mindkettő kezelhető) is megoldható. Gyári készülékeken legtöbbször nyomógombos a ki-bekapcsolás vezérlése, pont az említett bővítési opciók miatt. A nyomógomb használatának előnyeit belátva, a megvalósítandó áramkörbe is érdemes alkalmazni.

A hangerő vezérlésnél gyakori probléma, hogy a sima hétköznapi sztereó potenciométerek két skálájának együttfutása nem teljesen megfelelő. Ez abban mutatkozik meg a legjobban, hogy halk hangerőszintre állításkor az egyik csatorna már teljesen lehalkult, de a másik csatornából még hallatszik hang. Rosszabb potenciométerek esetében ez a probléma akár normál hangerőszinten is jelentkezhet. Azon potenciométerek, amelyeknél ezt az együttfutási gondot már megoldották, jóval magasabb áron érhetőek el. Azonban nem mindenki hajlandó megfizetni ezt a magasabb, az egyszerű potméterekéhez képest akár több tízszeres árat értük. Valamint itt is fennáll

a probléma, hogy csak az adott potenciométerrel lehet vezérelni a hangerőt. Erre léteznek megoldásként motorral ellátott potenciométerek, amely segítségével megoldható a mikrovezérlővel való állítás is, csak hogy ezeknek az ára az simákhoz képest még másfélszeres. Ezeket a problémákat attenuátorral érdemes megoldani, mivel nem kerül annyiba, mint egy jobb minőségű sztereó potméter és nagyobb pontosságú a két csatorna együttlépése, így jóval alacsonyabb tud lenni a hangerőbeli különbség.

Egy kész erősítőnek célszerű, ha van több bemenete, hogy különböző hangforrások is rá lehessenek csatlakoztatva. Nyilvánvalóan egyszerre csak az egyik forrás kerülhet az erősítőre, ezért bemenetválasztóra van szükség. Itt is érdemes olyan megoldást találni, hogy a már korábban említett bővítési lehetőségek megvalósíthatóak legyenek.

Ha bekapcsolt, vagy kikapcsolt állapot van, vagy netán meghibásodás történik az erősítőben, azt mindenképpen vissza kell jelezni a felhasználó felé, hogy egyértelmű legyen a készülék állapota. Tehát visszajelzésre is szükség van.

A nagyteljesítményű transzformátorok, amelyek a végfokozatok tápjaként szolgálnak, hálózati feszültség alá helyezve nagy indulóáramot produkálnak. Ez akár akkora is lehet, hogy a hálózati kismegszakítót lecsapja. Ennek kiküszöböléseként lágyindítást is kell alkalmazni a transzformátorok elé.

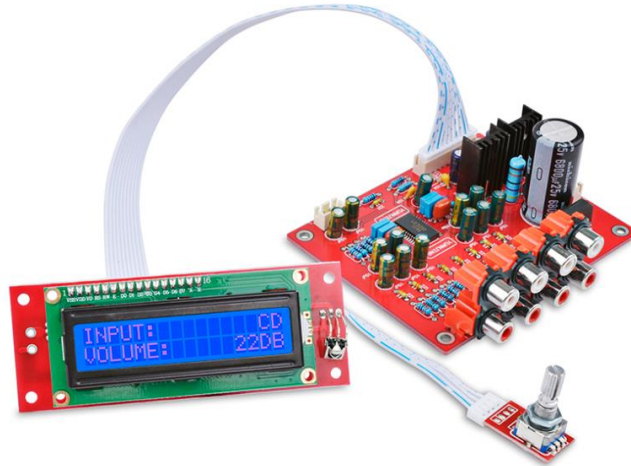
A végfokozat melegezésének ellensúlyozásaként helyénvaló ventilátoros hűtés használata a hűtőfelület és ezzel együtt a végtranzisztorok normál üzemi hőmérsékleten tartására. Tehát a hőmérsékletfigyeléssel párhuzamosan ventilátorvezérlést is szükséges.

A védelmi és vezérlési áramkör által ellátandó feladatok összegzése:

- Offset védelem
- Túláram védelem
- Hővédelem
- Nyomógombos ki-bekapcsolás
- Hangerő vezérlés
- Bemenetválasztás
- Vizuális visszajelzés
- Lágyindítás

4. LEHETSÉGES MEGOLDÁSOK

Első körben felmérésre kerültek az internet adta lehetőségeket azzal kapcsolatban, hogy az előzőekben megfogalmazott feladatokat ellátó áramkör létezik-e megvásárolható formában.



4/1. ábra: Megvásárolható vezérlő modul [3]

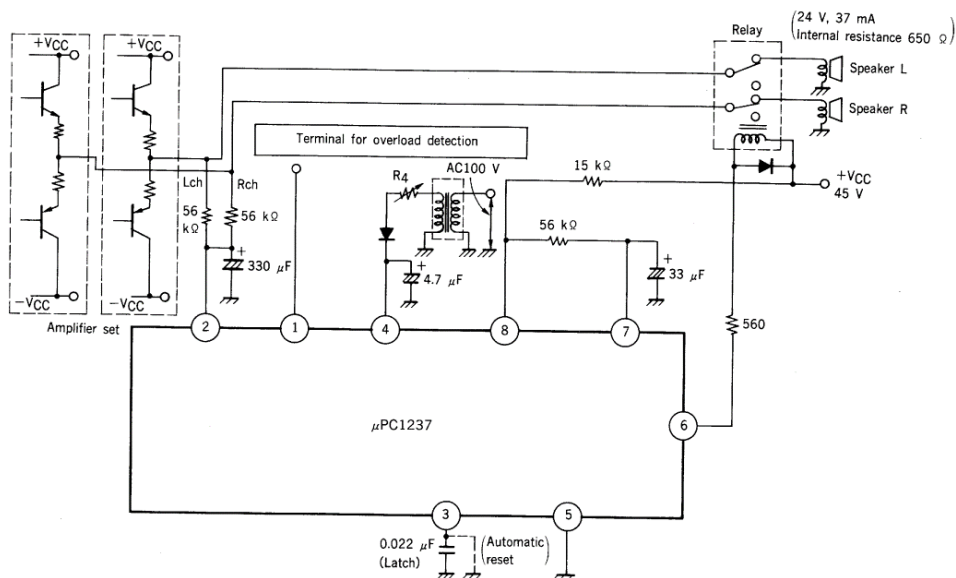
A 4/1. ábrán egy olyan vezérlő modul látható, amely az AliExpress oldalán vásárolható meg. Ebben a modulban benne van a hangerővezérlés, a bementválasztás és valamilyen szinten a visszajelzés is (hibás dB kiíratással), így részben felhasználható lehetne. További kutatások során ettől kizárólag gyengébb tudású, vagy feleslegesen bonyolult modulok voltak elérhetőek.



4/2. ábra: Megvásárolható védelmi modul [4]

A 4/2. ábrán egy védelmi modul látható. Ez a modul az Amazon weboldalán vásárolható meg és az offset figyelésére szolgál. Ha problémát észlel, lekapcsolja a hangfalvédelem reléjét, így leválasztva a hangsugárzókat a végfokozatokról. Ezzel a modullal egy nagy probléma van, mégpedig, hogy az UPC1237 típusú IC-t rosszul

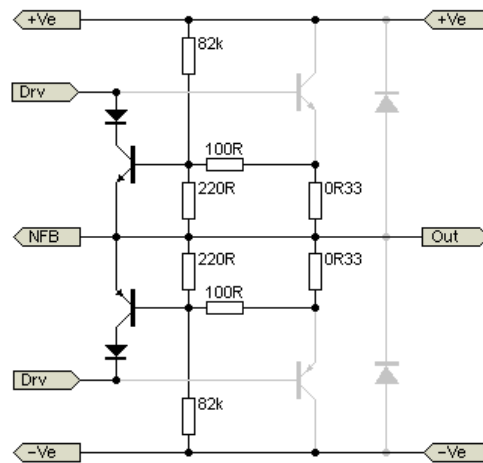
alkalmazza. Az IC csak egy darab védelem érzékelésére szolgáló lábbal rendelkezik, tehát csak egy hibajelet tud kezelni, az IC gyári leírásában azonban két végfokozattal mutatják be az ajánlott bekötését.



4/3. ábra: uPC1237 tipikus alkalmazása [5]

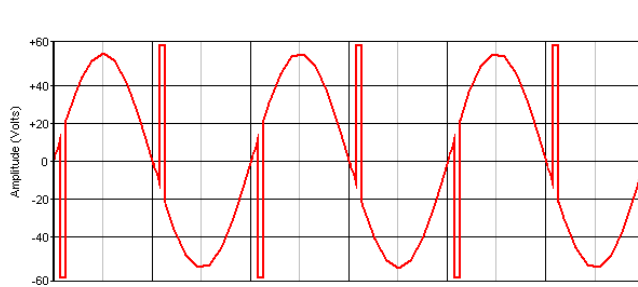
A 4/3. ábrán látszik a gyári kapcsolási ajánlása a modulnak. Az ábra bal oldalán láthatóak az 56kohm-os ellenállások, amelyeket a végfokozatok kimenetére szükséges kötni, majd közösítve a velük aluláteresztő szűrőt alkotó kondenzátoron keresztül az IC-be jut a jel. Ezzel az a probléma, hogy ha bekövetkezik az az igen ritka eset amikor a két végfokozat közül mindkettő tönkremegy, de egyik offset-je a pozitív, másiké a negatív táppotenciál felé billen, akkor a védelem nem érzékel hibát, mivel a két feszültség különbsége nulla lesz. Ennek eredményeként nem oldja le a hangsugárzókat a végfokozatokról, ami végül azok károsodásához vezethet. Gondot jelenthet még az is, hogy az IC-nek adatlap szerint minimum 25V tápfeszültség szükséges. A kutatások során csakis ezzel az IC-vel felépített megvásárolható modul volt a piacon, tehát más alternatíva nem igazán beszerezhető készként. Ezek alapján a vizsgált modul legfeljebb átalakítások után lehetne biztonságosabban felhasználható.

Túláramvédelemmel rendelkező modul nem volt található, csak kapcsolás (4/4. ábra). Ezen a kapcsoláson a halványított tranzisztorok a végtranzisztorok, a nem halványított alkatrészek pedig a védelmet képezik. Ez egy elég sok gyártó és hobbiból építő által használt megoldás, viszont közel sem tökéletes. A sound-au.com weboldalon elvégezték a kapcsolás mérését és arra jutottak, hogy igencsak beleszól hangfrekvencián is a jelbe.

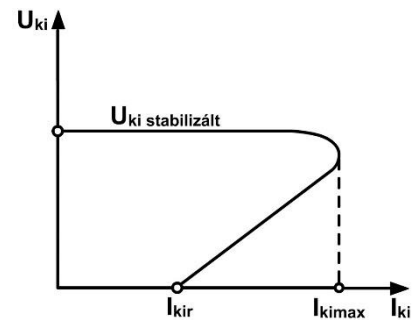


4/4. ábra: Túláramvédelmi lehetőség [6]

A mérése során (4/5. ábra) kiderítették, hogy bizonyos teljesítmény felett a null-átmenet környékén közel tápfeszültség nagyságú amplitúdóval rendelkező impulzusokat hoz létre a kimeneti tranzisztorok bázisain. Ez roppant kedvezőtlen mind a végfokozat, mind a hangsugárzó számára.



4/5. ábra: Túláramvédelem mérése [6]



4/6. ábra: Karakterisztikája [7]

További probléma még az áramkörrel, hogy visszahajló karakterisztikájú (4/6. ábra). Ez azt jelenti, hogy bizonyos áramérték felett elkezd visszazabályozni a feszültséget a bázisokon. Ez a tulajdonság egyértelműen káros a hangképre, mivel a hangban több nagyáramú impulzus is található, viszont ezeknél már korlátozni fog és a kimeneten kapott hangot torzíthatja.

Hővédelmet ellátó modul nem volt található a kutatás során. A legtöbb oldalon hőkapcsolóval sorba kötött ventilátort alkalmaznak, ami megoldás lehet, viszont a hűtőfelület hőmérsékletének mérésére szükséges, így egy hőkapcsoló kevés lenne.

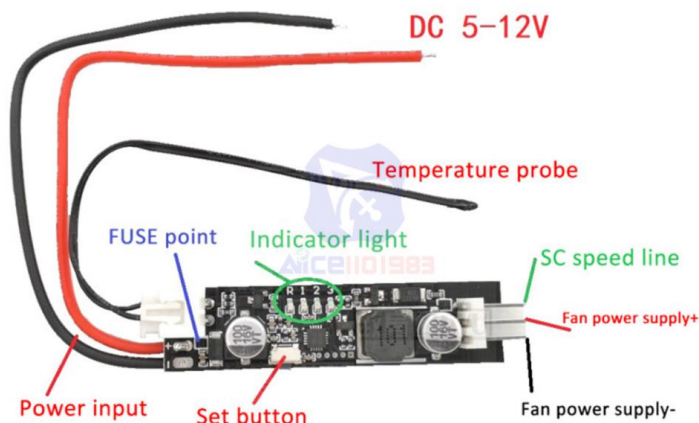
Transzformátor lágyindítását ellátó modul igen sok található különböző weboldalakon, a 4/7. ábrán látható is egy közülük.



4/7. ábra: Lágyindító [8]

Ez a modul áram alá helyezése után a fekete korong alakú NTC-ken keresztül folytatja az áramot a transzformátor felé. Az NTC-k néhány (2-10) Ohm-osak, így valamilyen szinten korlátozzák az átfolyó áramot. Néhány másodperc után panelen lévő elektronika a relét meghúzza, ami söntöli az NTC-ket. Ezzel a kezdeti nagy felvett áramok korlátozva vannak, viszont azok lecsengése után a relének köszönhetően az áramkorlátozás már nem él. Ez a modul a leírás szerint 5kW-os transzformátorhoz való, ez lehet az oka a tíz darab NTC-nek. A kutatás során ilyen és ehhez hasonló modulok voltak csak beszerezhetőek. Mivel ez a modul úgy működik, ahogy egy lágyindítónak kell, felhasználható lehetne.

Hőérzékelővel állított ventilátor vezérlésből több különféle is található. A 4/8. ábrán is egy példa látható.



4/8. ábra: Ventilátor vezérlő [9]

Power input – táp bemenet, FUSE point – biztosíték, Set button – beállító nyomógomb, Indicator light – visszajelző fény, Temperature probe – hőmérő szonda, SC speed line – sebesség vonal, Fan power supply+ – ventilátor táp+, Fan power supply- – ventilátor táp-

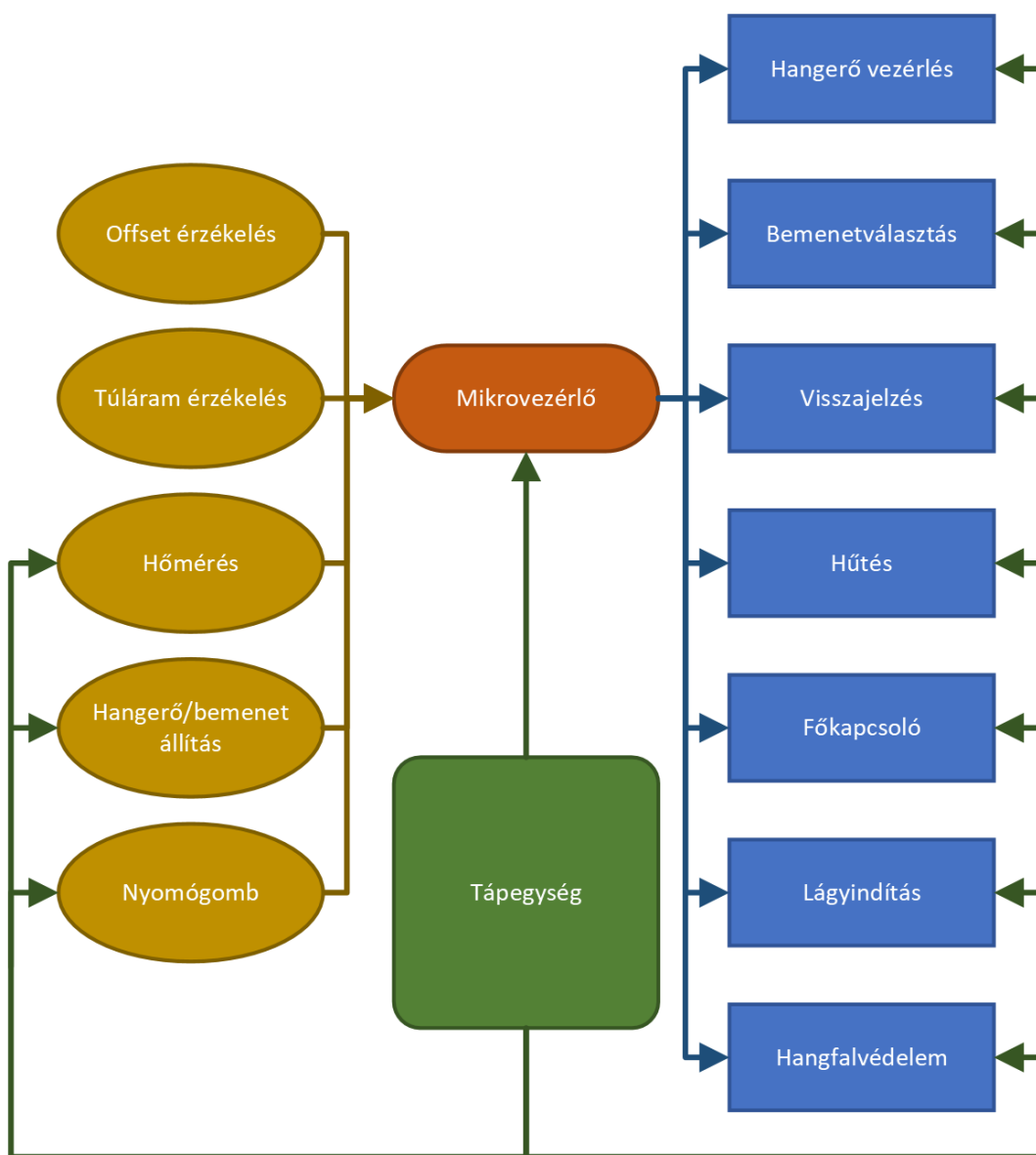
Ez a vezérlő viszonylag egyszerű. 5-12V tápfeszültséget igényel a felhasználandó ventilátortól függően és a hőmérő szenzor hőmérsékletétől függően a rácsatlakoztatott ventilátort PWM jellel vezérli. Ez a konkrét modul 30-70°C között vezérli a ventilátor sebességét. 30°C alatt kikapcsolva, 70°C felett pedig maximumon járattja. Ez a modul használható lehetne, viszont az aktuális hőmérsékletet a felhasználó felé vissza kellene jelezni, amire ez csak a rajta elhelyezett LED-ek segítségével képes, amiket aztán vissza kellene fejteni, hogy éppen mennyit mér a modul. Ennek a modulnak a felhasználása már túl bonyolult a tervezett alkalmazási módban, ezért ez nem lenne megfelelő választás.

Összegzésként belátható, hogy léteznek olyan megvásárolható modulok, amelyek bizonyos feladatokat jól ellátnának, viszont, mivel szinte mindegyik funkcióhoz külön modulra lenne szükség, helytakarékoság és egymással való kompatibilitás szempontjából elég nehézkes azokból egy rendszert kialakítani. Az sem téveszthető szem elől, hogy ezeknek a moduloknak nem feltétlen egyforma tápfeszültségre van szükségük, tehát a tápegység is bonyolódna, valamint a hiányzó funkciókra is megoldást kellene keresni. Ezek még több hasznos helyet emésztene fel a készülékházban, ahová kerülne a modul.

Ezen tapasztalatok alapján megerősíthető, hogy a korábban megfogalmazott funkciókat ellátó egységes áramkör hiánycikk és egy olyan tervezése elengedhetetlen.

5. RENDSZERTERVEK

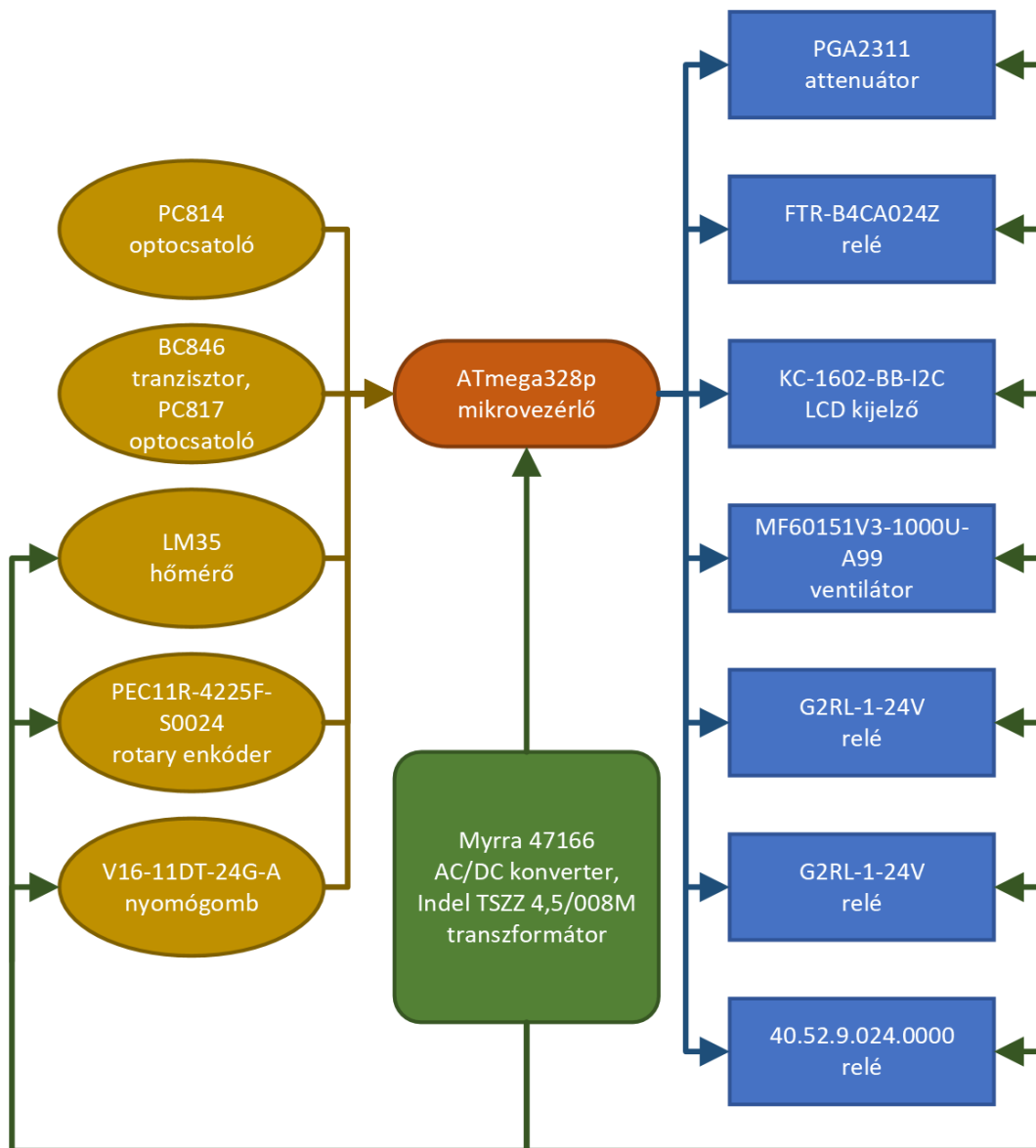
5.1 Logikai rendszerterv



5.1/1. ábra: Logikai rendszerterv [saját ábra]

A 5.1/1. ábrán látható logikai rendszerterv bal oldalán egy oszlopban helyezkednek el a mikrovezérlő felé jelet adó blokkok, bal oldalon szintén egy oszlopban a mikrovezérlőtől jelet kapó blokkok, középen pedig a mikrovezérlő és a minden aktív elemnek feszültséget szolgáltató tápegység.

5.2 Fizikai rendszerterv



5.2/1. ábra: Fizikai rendszerterv [saját ábra]

A 5.2/1. ábrán látható fizikai rendszerterv már behelyettesített eszköz típusokkal látható. Hogy az egyes blokkokba miért a megadott konkrét eszközök lettek meghatározva, az a következő fejezetekben kerül tárgyalásra.

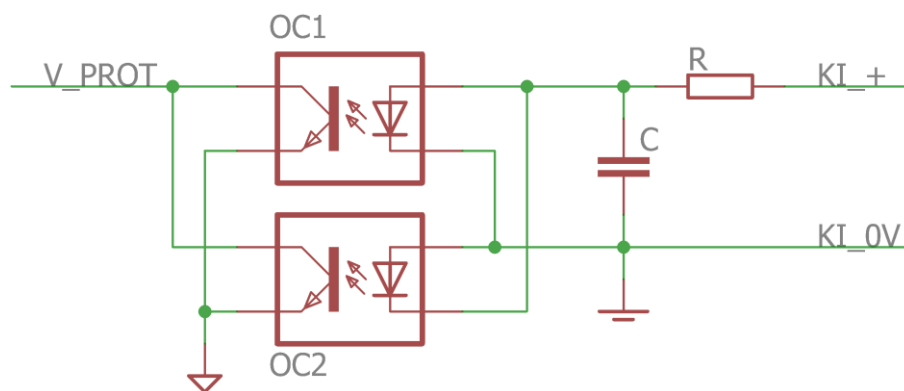
6. OFFSET ÉRZÉKELÉS

Szimmetrikus tápellátású végfokozat esetén (manapság a legtöbb ilyen) meghibásodás alkalmával a földhöz képest a pozitív és a negatív polaritású tápvonal felé is billenhet a kimenet. Ebből kifolyólag olyan érzékelési módot kell találni, amely mindkét irányba való billenést képes detektálni és ha több végfokozatra kell csatlakoztatni ugyanazt a védelmi áramkört, akkor bármelyik végfok bármilyen irányú offset-je esetén jelezzon a mikrovezérlő felé. Vagyis ne lehessen olyan állapot, amikor kioltódik a hiba. Ezenkívül fontos megjegyezni, hogy mivel a mikrovezérlő tápellátása általában 5V, a végfokozatok tápellátása pedig $\pm 20\text{V}$ -tól akár $\pm 80\text{V}$ -ig is terjedhet, egy esetleges meghibásodás hatására a mikrovezérlő és a hozzá csatlakoztatott más eszközök is veszélyeztetve lehetnek. Az utóbbi okán mindenképpen galvanikus leválasztásra van szükség. Erre kiválóan alkalmas az optocsatoló.

Az optocsatoló bemenete egy LED dióda, amely megfelelő rákapcsolt feszültség és áram hatására fényt bocsát ki ugyanúgy, mint egy normál LED dióda. A kimenetén pedig egy fényérzékeny tranzisztor található, ami értelemszerűen a LED fényének hatására nyit ki vagy zár. Az építőelemek egymással vezető kapcsolatban nincsenek és egy zárt epoxi tokozásban vannak, így jól védett a fényérzékelés külső zavaroktól.

Mivel az áramkör hangfrekvenciás célra lesz alkalmazva és csak a DC offset-et kell érzékelje, így gondoskodni kell arról, hogy a magasabb frekvenciás összetevők ne aktiválják az optocsatolót. Erre a legegyszerűbb megoldás egy aluláteresztő szűrő, amely egy kapacitással és az optocsatoló LED-jének előtét ellenállásával valósítható meg.

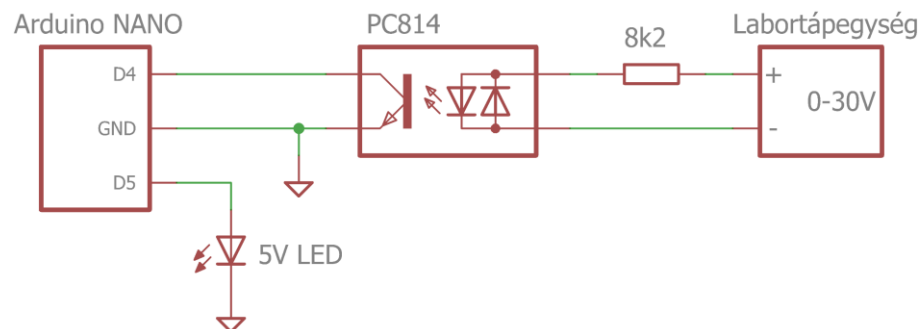
Az optocsatoló LED-je a katódjához képest az anódon pozitívabb feszültség megléte esetén képes kinyitni, tehát csak egy irányú feszültségkülönbséget tud érzékelni. Erre a problémára megoldásként előre két darab optocsatoló látszott úgy, hogy a bemenetek antiparallel módon lennének összekötve, azaz az egyik LED anódja a másik katódjával és fordítva (6/1. ábra). Ebben a bekötési módban, ha a végfokozat kimenete (KI_+) a 0 potenciálhoz képest (KI_0V) a pozitív tápfeszültség felé billen el, akkor a felső, ha a negatív felé, akkor az alsó optocsatoló nyit ki és húzza földre a leendő processzor lábát (V_{PROT}).



Azonban a hestore.hu weboldalon a beszerezhető optocsatolókat vizsgálva a PC814 típusnál megjegyzésként szerepelt, hogy AC-in típusú. Tehát ez a típus már gyárilag tartalmazza az előzőekben ismertetett antiparallel módon kötött LED-eket és ezek egy darab fototranzisztort nyitnak, tehát ezzel a két darab szimpla optocsatolót ki lehet váltani. Tokozásban semmi különbség nincsen a szimpla optocsatolóhoz képest, így végül ez a típus lett a kiválasztott DIP4 tokozásban és a kapcsolás is egyszerűsödött (6/2. ábra).

A soros ellenállás értékének meghatározásakor feltételezve volt, hogy a végfokozat $\pm 40\text{V}$ tápfeszültségről üzemel, mivel ez a legelterjedtebb tápfeszültség érték. Az optocsatoló nyitófeszültségének kiderítéséhez egy Arduino Nano panel egy bekapcsolt felhúzóellenállású lábára csatlakozott az optocsatoló kollektora, az emittere pedig nullpotenciálra. Egy másik lábára egy LED került (6/3. ábra). Az Arduino-ra feltöltött program, ha a lábon amire az optocsatoló van csatlakoztatva logikai 0-t észlel (azaz kinyitott az optocsatoló), akkor bekapcsolja a LED-et. Ezek után addig lett növelve a feszültség az optocsatoló bemenetén, ameddig a LED világítani nem kezdett. A mérés során 1.25V feszültségnél kezdett világítani. Ebből kifolyólag legrosszabb esetben $38,75\text{V}$ eshet az ellenálláson az említett tápfeszültség mellett. A maximum átfolyó áram 5mA -nek lett megválasztva. Az $R = \frac{U}{I}$ képlettel való számítás szerint az alkalmazandó

ellenállás értéke 7,75kOhm-ra jönne ki, de a szabványsort figyelembe véve 7,5kOhm, vagy 8,2kOhm lehetne. Ebben az alkalmazásban elegendő a kevesebb áram is, ezért a választott érték az utóbbi lett.



6/3. ábra: PC814 optocsatoló mérése [saját ábra]

Az optocsatoló a soros ellenállással együtt már 2,26V-on nyitott. Ez megfelelő az offset védelemhez, mivel ennyit még bőven elvisel a hangsugárzó.

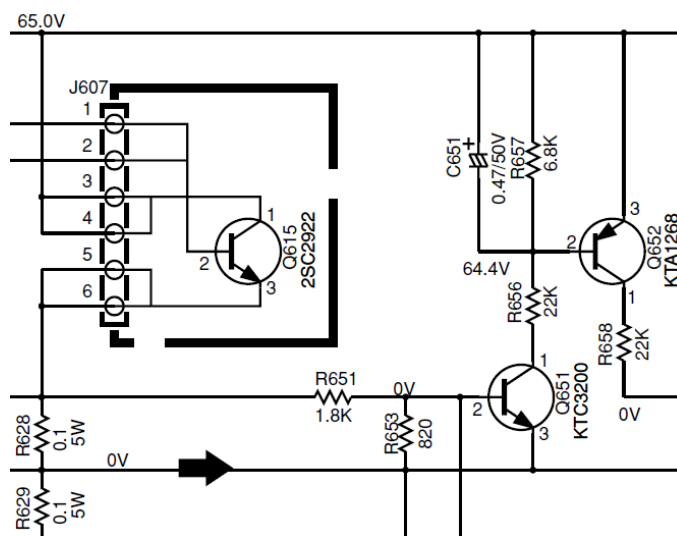
Az erősítőn átmenő bármilyen hangnak 10Hz alatt nem igazán van hasznos frekvenciás összetevője, azonban érzékenyebb erősítők esetében hőmérsékletváltozásra vagy egy levegőfuvallatra is be tud következni offset változás. Ebből adódóan 0,5Hz alatti határfrekvenciát érdemes beállítani az aluláteresztő szűrőnek. Az $f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$ határfrekvencia képletet C-re rendezve $C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot f}$ és 8,2kOhm ellenállással számolva 38uF kapacitású kondenzátor lenne szükséges. Ilyen érték viszont nem létezik, a szabványsorban, a hozzá legközelebbi a 47uF. Nem szabad elfelejteni, hogy a kimeneti offset pozitív vagy negatív irányba is billenhet a 0 potenciálhoz képest, ezért bipoláris kondenzátort kell alkalmazni. Ilyen értékben azonban sem itthon, sem külföldi weboldalakon nem kapni normális áron bipoláris kondenzátort. Ami kapható és az ára sem túl magas az 100uF értékű, így végül az lett az érték körülbelül 200mHz-re módosítva a határfrekvenciát. A módosulással az érzékelés ugyan valamivel lassabb lesz, azonban nem számottevően, ha figyelembe van véve a relék kapcsolási sebessége is.

7. TÚLÁRAM ÉRZÉKELÉS

Néhány gyári készülék szervizkönyve áttanulmányozásra került és az volt a tapasztalat, hogy mindegyikben kis értékű ellenállásra helyeznek egy tranzisztort és ha az ellenálláson átfolyó áram a tranzistor nyitófeszültségét elérő feszültséget képez, akkor a tranzistor kinyit. Ezt a mikrovezérlő detektálja és védelmi módba lép, tehát kikapcsolja a készüléket, vagy lekapcsolja a hangsugárzókat a végfokozatokról.

Az ellenállás elhelyezése különbözik gyártónként, azonban a legtöbb esetben a végtranzistorok áramkorlátozó emitter ellenállásait használják fel, ugyanis egy végfokozat által felvett áram igen nagy százaléka azokon folyik keresztül és nem szükséges megszakítani még valahol a kapcsolást plusz soros ellenállás behelyezése miatt. A 2/1. ábrán látható példa kapcsolásban is szerepel a két darab kis értékű ellenállás a kettő végtranzistor között.

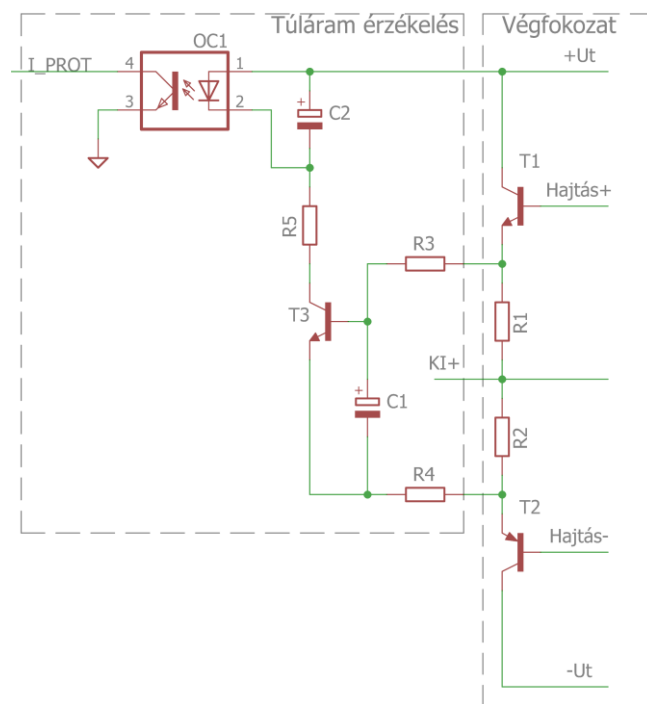
Az is különbözik, hogy csak egy ellenállásra, vagy mindkettőre helyezik rá a tranzisztort. Ezt már tervezője válogatja, hogy ki mennyi áramnál gondolja jónak a védelem közbeavatkozását. Példaként a 7/1. ábrán szereplő gyári túláram érzékelés egy darab emitterellenálláson történik, valamint feszültségosztóval is ellátták, aminek hatására még nagyobb áramnál jelez csak az áramkör a mikrovezérlő felé, mint nélküle. 0,1 Ohmos emitterellenállás (R628) és 0,65V nyitófeszültség esetén a feszültségosztó nélkül 6,5A, a 3,2-es feszültségosztóval pedig 20A áramerősség átlépésénél történik jelzés.



7/1. ábra: Gyári túláram érzékelés [10]

Azonban az is megfigyelhető, hogy nem fordítottak hangsúlyt egyik esetben sem az offset érzékelésnél is felvetésre került galvanikus leválasztásra a végfokozat és a mikrovezérlő között. A túláram érzékelés is a mikrovezérlő felé adna jelet, ezért ide is szükséges a leválasztást, valamint aluláteresztő szűrő, hogy csak a megnövekedett egyenáram esetén jelezzon a mikrovezérlő felé.

Az előző információkat felhasználva született meg a túláram érzékelés 7/2. ábrán látható első elgondolása. T1 és T2 a végfokozat végtranzisztorai, R1 és R2 pedig az emitterellenállásai, amikre rá van kötve R3 és R4-en keresztül a védelem tranzisztorának bázis-emitter diódája. Az R3 és R4 ellenállásokra értelemszerűen azért van szükség, mivel meghibásodás esetén az emitterellenállásokon létrejött feszültség nagyobb lehet a tranzisztor bázis-emitter diódájának 0,6-0,7V feszültségénél.



7/2. ábra: Túláramvédelem tervezett kapcsolása [saját ábra]

Több helyen nem alkalmazzák gyárilag a 7/2. ábrán látható C1 kondenzátort, mellyel egy aluláteresztő szűrő valósul, mégis szükséges lehet, hogy a tranzisztor feleslegesen ne nyisson ki alacsonyabb, de még nem érzékelendő frekvenciák esetén. Ez nem a végső frekvenciát határozza meg ami alatt az érzékelés szükséges, csak egy előszűrést valósít meg. T3 tranzisztor kinyitása esetén az R3 ellenállás és C2 kondenzátor által megvalósított második aluláteresztő szűrő szűri véglegesen a nagyfrekvenciás összetevőket a jelből, így biztosítva, hogy csak egyenáram esetén nyisson ki az optocsatoló. Hasonlóan, mint az offset érzékelésnél.

Optocsatoló szerepére a PC817 típusú DIP4 tokozású optocsatoló került kiválasztásra, ami hasonló az offset védelemnél alkalmazotthoz, csak ez nem tartalmaz antiparallel kötött LED-eket. Persze ez nem okoz gondot, mivel a pozitív tápfeszültségre van kötve az anódja, amihez képest a katódjára csak negatívabb feszültség kerülhet.

Tranzisztornak BC846 típusú SOT-23 tokozású SMD tranzisztor lehet megfelelő, mivel a vizsgált hasonló tokozásúak közül ennek volt a legnagyobb a kollektor-emitter feszültsége, hiszen a két táppotenciál között lesz a tranzisztor kollektora és emittere hiba esetén.

Előfordulhat a legrosszabb esetben, hogy egy végfokozatban mindkét végtranzisztor teljesen kinyit, vagy rövidzártas lesz, ezért a végtranzisztorok emitter ellenállásaira csatlakozó ellenállások (7/2. ábrán R3 és R4) értékét úgy kell megválasztani, hogy azok és az érzékelő tranzisztor is kibírják, ha a teljes tápfeszültség rájuk kerül. Ezt a gyári kapcsolásokban nem veszik figyelembe, mivel rendszerint kis ellenállásértékű (néhány kOhm) és teljesítményű (0,25-0,4W) ellenállásokat alkalmaznak, melyek könnyen tönkremehetnek, ha a +/- 40V-os feszültség rájuk kerül. Ilyenkor fennállhat, hogy nem érzékel a védelem és nem kapcsolja le a hangsugárzókat a meghibásodott végfokozatról, ami azok tönkremeneteléhez is vezethet, ezért gyári értékeket nem lehet alapul venni jelen esetben.

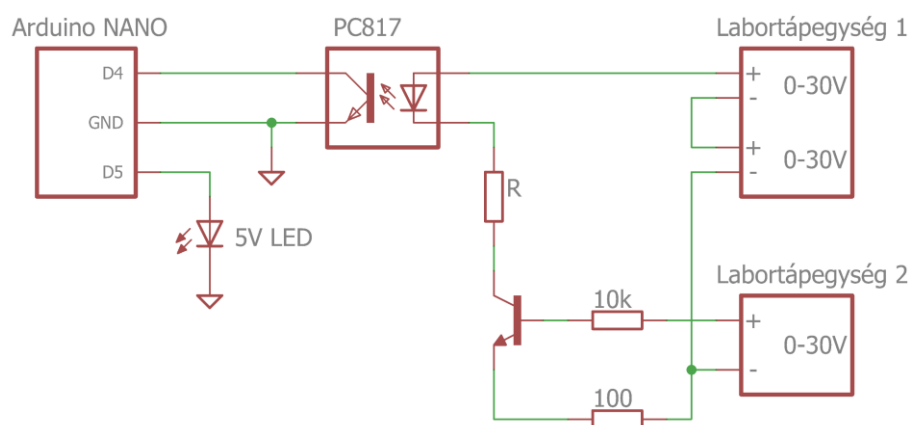
Az ellenállások 0,6W teljesítményűnél nem célszerű, ha nagyobbak foglalt hely nagysága miatt és mivel nem kell akkora áramot a tranzisztorba folytatni, amihez a 0,6W-os ellenállások kevesek lennének. Csakúgy, mint az offset érzékelésnél, itt is $\pm 40V$ tápfeszültség van alapul véve. Ebben az esetben 80V feszültség kerül a védelemre. Kinyitott állapotban a tranzisztor bázis-emitter diódáján körülbelül 0,65V esik, ami a tápfeszültséghez képest elhanyagolható, így kihagyható a számításokból. Az $R = \frac{U^2}{P}$ egyenletből számolva, ahol U a teljes tápfeszültség, P pedig az ellenállás teljesítménye kijön, hogy $R = \frac{80V^2}{0,6W} = 10666,67\Omega$ lehet a legkisebb értéke a két 0,6W teljesítményű ellenállás összegének $\pm 40V$ tápfeszültség esetén. Ez jócskán eltér a gyári leírásokban szereplő néhány kOhm-os értékektől.

Normál nem meghibásodott esetben, ha csak a nyugalmi áram növekszik meg, a két pont között legalább a bázis-emitter feszültséget meghaladó feszültség kell legyen ahhoz, hogy kinyisson a tranzisztor. A végfokozatok emitterellenállásai általában 0,22Ohm-

osak, az $I = \frac{U}{R}$ képletet alkalmazva, ahol U a bázis-emitter feszültség, R a két emitter ellenállás összege, $I = \frac{0,65V}{0,440\Omega} = 1,48A$. Tehát 1,48A áram meghaladását jelezni képes a védelem. Ez igény szerint növelhető plusz dióda sorba kötésével a bázissal vagy az emitterrel. Csökkentése az emitter ellenállások kisebb értékűre cserélésével lehetséges. A készülő áramkörben ez az áramértéket megfelelő, ezért nem igényel a kapcsolás módosítást.

BC846 tranzisztorból a nagyobb áramerősítési tényezővel rendelkező széria lett kiválasztva, ami 200-tól kezdődik adatlap szerint. Az optocsatolónak elegendő néhány száz uA áram, hogy kinyisson, így a tranzisztor nem igényel nagy bázisáramot, tehát normál esetben a bázis-emitter feszültség meghaladását követően ki fog nyitni különösebb áramfelvétel nélkül. A bázisáramhoz képest nagyobb áram fog folyni az emitteren, ezért az azzal sorban lévő ellenállást célszerű kisebb értékűre megválasztani. Az előzőleg kiszámolt 10666,67Ohm ellenállás megfelelő, mivel túl nagy értéket felesleges lenne használni, a kiszámolt érték pedig a legrosszabb esetet feltételezi. Ilyen érték szintén nincs a szabványsorban és két ellenállás összegeként sem jön ki. Végül a tranzisztor emitteréhez 100Ohm, a bázisához pedig 10kOhm ellenállás került. Összegük ugyan nem egyezik a kiszámítottal, azonban, ha az az igen ritka állapot bekövetkezik, a védelem ahhoz elég gyorsan fog tudni érzékelni, hogy kisebb ellenállás érték esetén is kikapcsolja a tápfeszültséget mielőtt bármilyen károsodás történne.

Az optocsatoló soros ellenállásának nem kell kis értékűnek lennie, mivel uA nagyságú áram is elegendő a kinyitáshoz. Ennek értékét 100kOhm és a ~10,6kOhm közé érdemes meghatározni, mivel itt is maximum 80V feszültség lehetséges. A meghatározás az offset érzékelésnél használt Arduino-s megoldással történt (7/3. ábra).



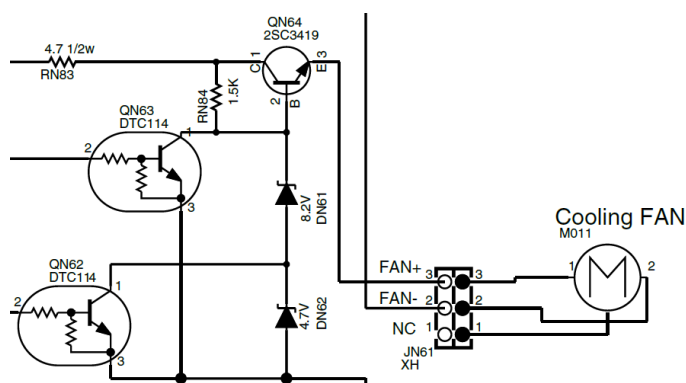
7/3. ábra: PC817 optocsatoló mérésének kapcsolási rajza [saját ábra]

Sajnos csak maximum 2x30V feszültséget előállítani képes áramkorláttal ellátott labortápegységgel volt lehetőség tesztelni. Az első mérésnél a tranzisztor emitter ellenállását az 1. tápegység közös pontjára kötve és ahhoz képest pozitívabb feszültséget adva a bázisellenállásra mindegyik kipróbált ellenállásérték esetén 610mV környékén ($\pm 2\text{mV}$) nyitott ki az optocsatoló annyira, hogy az Arduino panelen lévő ATmega328P érzékelje. -30V-ra kötve az emitter ellenállást nem változott a feszültség. Aranyközépútként 56kOhm lett az optocsatoló előtétje, mellyel maximum 1,43mA folyhat az optocsatoló LED diódáján $\pm 40\text{V}$ tápfeszültség esetén.

Az aluláteresztő szűrőnek itt is 1Hz alatti frekvencia tekinthető jónak. Az offset védelemnél leírt képleteket alkalmazva 56kOhm-os ellenálláshoz 3,3uF kapacitású kondenzátort használva 860mHz a határfrekvencia. A tranzisztor előtt lévő aluláteresztőnél 2,2uF kapacitású kondenzátort alkalmazva 7,1Hz lett a határfrekvencia.

9. HŰTÉS

Mivel általában a laposabb (7-8cm) készülékházakban elhelyezett végfokozatok hűtése a nehezebb a hűtőborda alacsonyságából adódó kis hűtőfelület miatt, ezért kis méretű ventilátorra van szükség. A Hestore weboldalán található méretek közül a 60x60mm tűnt ideálisnak ezek alapján. Azt is szem előtt kell tartani, hogy mindenképpen a lehető leghalkabb működésűre van szükség, hogy bekapcsolt állapotában minél kevésbé legyen észrevehető az erősítő használata közben, ezért a legkisebb dBA értékkel jelzettet lett a kiválasztott. Ez pedig Sunon gyártó MF60151V3-1000U-A99 típusú ventilátora. Ez azonban nem rendelkezik PWM bemenetű sebességvezérléssel, ezért ehhez analóg megoldás szükséges. Aktív hűtéssel rendelkező gyári készülékek szervizkönyveit tanulmányozva az alábbi sebességvezérlő kapcsolás tűnt használhatónak (9/1. ábra).



9/1. ábra: Gyári ventilátor sebességvezérlés [12]

Ha a QN63 tranzisztor ki van nyitva, a ventilátor nem üzemel, hiszen a QN64 áteresztő tranzisztor bázisa földpotenciálra van, így az emitterén feszültség nem mérhető. Ha csak a QN62 tranzisztor van kinyitva, Q64 bázisán a zener dióda 8,2V feszültséget biztosít, tehát a ventilátor körülbelül 7,5V-ot kap. Ez egy alacsony sebességet biztosít. Ha egyik tranzisztor sincs kinyitva, a leírás szerinti 12V tápfeszültség kerül a ventilátorra, mivel a zenerek nem korlátozzák már. Ez a maximális sebességet eredményezi.

Ez a három állapotú vezérlés megfelelő a készítendő áramkörökhöz, mivel egy bizonyos hőmérsékletet elérve alacsony sebességgel hűthető a hűtőfelület és ha tovább melegszik, maximum sebességre kapcsolható.

10. RELÉK

Mindegyik relé kiválasztásánál 24V-os tekercsfeszültségű kiválasztása volt a cél a minél kisebb áramfelvétel érdekében.

10.1 Főkapcsoló

A főkapcsoló szerepére az Omron G2RL-2-24DC típusú relé lesz használva. Ez egy kétáramkörös relé, amely áramkörönként 8A terhelhetőséggel rendelkezik és szikraoltó gázzal töltött kivitelének köszönhetően ideális választás a hálózati feszültség kapcsolására. Ez különösen fontos tulajdonság, mivel a nagy teljesítményű transzformátorok induláskor nagyobb áramot igényelnek a felmágnesezéséhez és ezen áramok kapcsolásakor szikra fordulhat elő az érintkező pogácsák között, aminek hatására akár össze is éghetnek azok.

10.2 Lágyindítás

Ide szintén az előbb ismertetett relé lesz alkalmazva ugyanazon okokból, valamint a megvásárolható modulhoz hasonlóan NTC lesz az áramkorlátozó eszköz, méghozzá az Ametherm gyártó SL22 10008 típusú áram limitere.

10.3 Hangfalvédelem

Több gyári készülékben erre a feladatra a Finder márka reléit használják [13], ezért a 40.52.9.024.0000 típusú relé lett a kiválasztott. Ez szintén egy kétáramkörös 2x8A terhelhetőséggel rendelkező relé. A pogácsái érintkező felületei ezüst-nikkel bevonattal vannak ellátva a még kiválóbb kontaktusért. Sajnos sem az adatlapukban, sem máshol nincs adat a zárt érintkezők ellenállásáról, de valószínűleg a bevonatnak köszönhetően kellően alacsony, ami pedig jelentősen csökkenti az esélyét annak, hogy számottevően megváltoztassa a hangképet a relé.

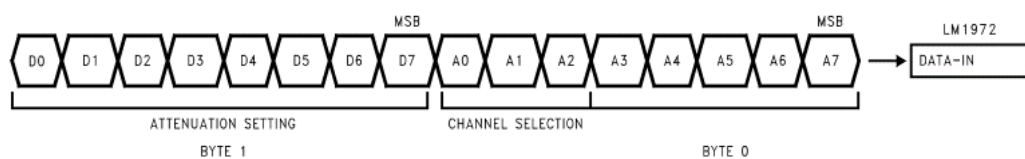
10.4 Bemenetválasztás

Erre az alkalmazásra is fontos olyan relé típust alkalmazni, amely minél kevésbé szól bele a hangképbe, valamint, ha lehet, legyen minél kisebb méretű. A Fujitsu japán gyártó FTR-B4CA024Z típusú szubminiatur reléje tökéletes választásnak látszik. A pogácsák érintkező felületei ezüst-nikkel és arany bevonatot kaptak. Az adatlapja szerint a kontaktus ellenállás maximum 0,1Ohm 1A átfolyó áram mellett, viszont a vonalszintű bemenetnél 10-20mA-nél több áram ritkán folyik, így mégkisebb ellenállásra lehet számítani és a relé hangképbe való beleszólása is jelentéktelen lesz.

távozik az aktuális betöltése közben, tehát „Daisy Chain” módszerrel több ilyen IC sorba köthető több csatorna esetén, amivel láb spórolható meg a mikrovezérlőn. Cserébe annyszor több adatot szükséges kiküldeni az adat lábra ahány hangerő vezérlő IC-van sorban. Jelen esetben ilyenre nincsen szükség, mivel csak kétcsatornás hangerővezérlést szükséges megoldani és arra egy darab IC képes. Ezen szervízkönyvekben lévő kapcsolások viszont olyan speciális IC-eket alkalmaznak, amiket vagy a konkrét cégnek gyártottak, vagy már rég kifutottak, tehát nem megvásárolhatóak biztos forrásból.

Sajnos nem túl sok soros kommunikációval rendelkező hangerővezérlő IC kapható kereskedelmi forgalomban, ezért csak hosszas kutatás után sikerült megtalálni a Texas Instruments LM1972 típusú attenuátorát körülbelül 1600Ft/db áron, amely elég jó ár az akár több tízezer forintos jó minőségű analóg potméterekhez képest.

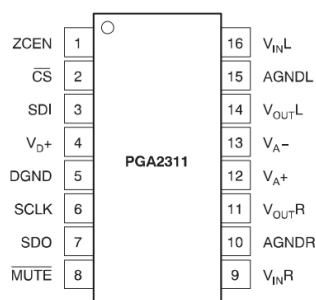
Az LM1927 IC-vel akadt egy probléma, ugyanis a felé való kommunikálást kissé túlbonyolították. A leírása szerint az IC 16bit-et vár be. Az első 8 bit a csatorna címe, tehát két csatorna esetén 0b00000000 vagy 0b00000001 lehetséges, a következő 8bit a kívánt érték, ami 0b00000000-tól 0b11111111-ig terjedhet.



11.1/3. ábra: LM1972 kommunikációja [15]

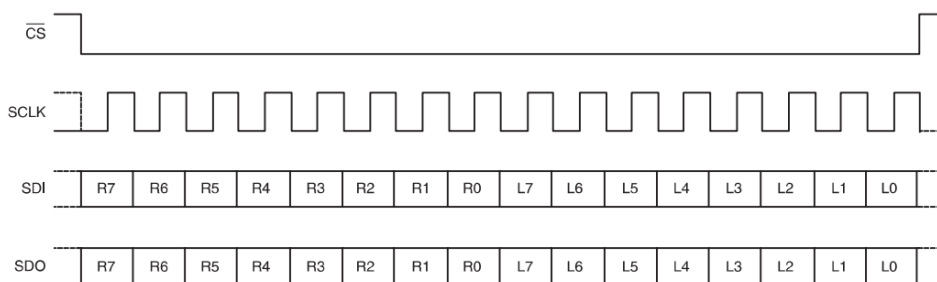
Tehát a két csatorna hangerejét csak külön-külön kiküldött 16bit-es adatcsomagokkal lehet beállítani (11.1/3. ábra), azaz az írandó programban is kétszer annyi ideig tartana az attenuátor állítása, mintha csak egyszer várna be az IC 16bit-et, amiből az első 8bit az első, a második 8bit a második csatorna értékét állítaná.

Tovább kutatva külföldi elektronikai alkatrészeket fogalmazó weboldalakon, kissé drágábban ugyan, de a jó minőségű analóg potenciométerek árához képest így is olcsóbban, körülbelül 4000Ft/db áron kapható a PGA2311 típusú, szintén Texas Instruments által gyártott attenuátor.



11.1/4. ábra: PGA2311 lábkiosztása [16]

Ez az előző típushoz képes néhány tulajdonságban eltér. Míg az előzőt -78dB-től 0dB-ig lehet állítani 0,5 és 1dB lépéssel, ezt -95,5dB-től +31,5dB-ig lehet végig 0,5dB lépéssel, azaz ez képes erősíteni is a jelen. Torzításban nagyjából megegyeznek, mindkettő 0,003-4%-ra képes. Utóbbi kevesebb lábban rendelkezik, viszont a kiosztása sokkal átgondoltabb, mivel 1-8. lábig kizárólag a digitális egység kivezetései találhatók, 9-16.-ig pedig csak az analóg lábak ráadásul szimmetrikusan (11.1/4. ábra), ezzel igencsak megkönnyítve a NYÁK tervező dolgát. Azonban a jelenlegi leglényegesebb különbség a kommunikáció.



11.1/5. ábra: PGA2311 kommunikációja [16]

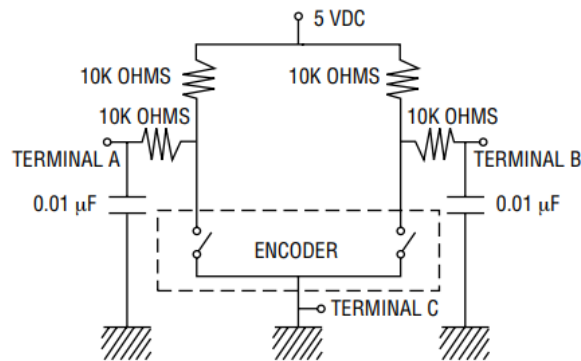
Ahogy látható, ez már egyszeri 16bit adatot vár be és ezzel mindkét csatorna állapota állítható (11.1/5. ábra). Pontosan úgy, ahogy az LM1972-nél meg lett fogalmazva. Nincs felesleges csatorna kiválasztás, hanem egy kétszer 8bit-es csomaggal megoldódik, ami az előző típusnál csak kétszer 16bit-essel sikerülne.

11.2 Bemenetválasztás

Ez a funkció reléekkel lesz kivitelezve. Négy darab bemenettel számolva a mikrovezérlő kiválasztott négy lábára kerül 1-1 relé hajtás és a mikrovezérlő a kívánt bementi csatlakozóhoz tartozó relét meghúzza, ami az erősítő bemenetére köti a bemenetet. Volt tervben multiplexeres és shift regiszteres megoldás is relé kapcsolásra, viszont a mikrovezérlőn felhasználandó lábszám nem csökkent volna négy alá, így azok el lettek vetve, tehát a relék és a mikrovezérlő közé csak tranzistoros hajtás fog kerülni.

11.3 Hangerő/bemenet állítás

A bemenetválasztásnak és a hangerő vezérlésnek a közös pontja, hogy mivel mindkettő állítása digitálisan lesz kivitelezve, mindkettőt egyértelműen rotary enkóderrel a legegyszerűbb megoldani. A legtöbb gyári készülékben egy-egy külön enkódert használnak a két funkcióhoz, de a helytakarékoságot figyelembe véve ugyanazzal az egyel lesz megoldva. Ebből kifolyólag nyomógombos enkódert kell használni, hogy azzal lehessen választani, hogy a hangerőt vagy a bemenetet szükséges változtatni.



11.3/1. ábra: Bourns enkóder [17]

Mindenképpen törekedni kellett arra, hogy minőségibb enkóder legyen választva, de az ára azért ne legyen túlságosan magas. A legoptimálisabb választásnak egy Bourns márkájú, 24 impulzus/fordulatú enkóder tűnt 1000Ft/db áron. Mivel kapcsolóelemről van szó, fontos megoldani a pergésmentesítést. Szerencsére a gyártó az enkóder specifikációjába beillesztett egy ajánlást.

12. VISSZAJELZÉS

A készülő áramkörben a következő információkat szükséges közölni a felhasználóval:

- Aktuális hangerő értéke
- Aktuális bemenet neve
- Aktuális hűtőfelület hőmérséklete
- Bekövetkezett hiba (offset, túláram, túlmelegedés)

A digitális hangerőállítás és bemenetválasztás miatt egyértelmű, hogy valamilyen kijelzőt kell alkalmazni. Azonban nem szükséges a felsoroltak közül az összes információt egyszerre megjeleníteni. A bemenet és a hangerő érték nem szükséges, hogy egyszerre láthatóak legyenek. Elegendő, ha az aktuálisan kiválasztott bemenet van kijejeztetve és a hangerő csak akkor jelenik meg, ha állítás alatt van, majd újra a kiválasztott bemenet kerül ki az állítás befejezését követően. A hőmérséklet viszont hasznos, ha folyamatosan ki van jelezve. Ugyanis, ha azt látja a felhasználó, hogy nagyon melegszik a hűtőfelület, abban az esetben még a védelem beavatkozásához szükséges hőmérséklet elérése előtt tud hangerőt csökkenteni, vagy kikapcsolhatja a készüléket, hogy alacsonyabb, a biztonságos működéshez szükséges hőmérsékletre tudjon hűlni. A bekövetkezett hibát pedig csak meghibásodás esetén kell megjeleníteni, akkor pedig minden más irrelevánsá válik, így az egész kijelzőt elfoglalhatja a hibaüzenet.

A fentiek tudatában egy 16x2 karakteres folyadékkristályos kijelzőre lesz szükség. Mivel két soros, ezért normál bekapcsolt állapotban kiválóan el tud férni a felső sorban a bemenet vagy hangerő állása, az alsó sorban pedig a hőmérséklet értéke, hibás állapot esetén pedig az előállt hiba. A leendő mikrovezérlő felhasználandó lábainak számának csökkentése érdekében I2C adapterrel kell ellátni a kijelzőt.

13. MIKROVEZÉRLŐ

Viszonylag sok funkciót szükséges ellátnia a mikrovezérlőnek, ezért összesítésre került a felhasználandó lábak száma:

- Offset érzékelés: 1db
- Túláram érzékelés: 1db
- Hőmérés: 1db
- Hűtés: 2db
- Főkapcsoló: 1db
- Hangfalvédelem/Lágyindítás: 1db
- Hangerő vezérlés: 3db
- Bemenetválasztás: 4db
- Hangerő/Bemenet állítás: 3db
- Kijelző: 2db
- Bekapcsológomb: 1db

A hangfalvédelem és a lágyindítás reléje is késleltetve kell bekapcsoljanak, ezért azok vezérlése egyesítésre került, így egyforma késleltetéssel fognak kapcsolni.

Tehát olyan mikrovezérlőre van szükség, ami legalább 20 darab általános felhasználású lábbal rendelkezik, amik közül legalább 1 darabnak tudnia kell az ADC funkciót is. Eleinte belső oszcillátor használata volt a cél a mikrovezérlő órajeleként, azonban az ellenállásokból és kondenzátorokból épül fel, ami hőmérsékletváltozásra jelentősen megváltoztathatja a frekvenciáját [18]. A tervezés alatt lévő áramkör hangfrekvenciás erősítővel lesz egy viszonylag zárt készülékházban, tehát a nagy hőmérsékletváltozás garantált, így szükségessé válik a külső kvarc oszcillátor használata. Ez plusz 2 darab lábat jelent. A mikrovezérlő programozása ISP-vel¹ lenne megoldva, ami nem igényel saját lábakat, mivel ez a programozási mód lehetővé teszi az áramkörbe beépített mikrovezérlő programozását akkor is, ha a programozásra használandó lábak fel vannak használva más célra [19]. Az Arduino Nano fejlesztőpaneleken lévő ATmega328p típusú TQFP32 tokozású mikrovezérlő 22 darab GPIO + 2 darab kinevezett ADC lábbal rendelkezik. A memória mérete nem kritikus, mivel nem kell túl bonyolult program ráférjen, ezért megfelelő mikrovezérlő lesz a készülő áramkör számára.

¹ In-System Programming

14. KAPCSOLÓ TRANZISZTOROK

A relék behúzásához SOT23 tokozású BC817 típusú tranzisztor lett választva, mivel olcsó, könnyen beszerezhető és ahhoz képest, hogy egy kis méretű SMD tranzisztor, akár 0,5A áramot is bír kapcsolni, ami elegendő volna akár az összes felhasználni kívánt relé egyszerre való kapcsolására is. A megvásárolt példányok Maxwell MX-25301 multiméterrel 1mA-es kollektorárammal mérve legalább 200-as áramerősítést mutattak, így az előtte lévő áramköri elemből (jelen esetben a mikrovezérlőből) igen kis áramot is elegendő a bázisba folytatni relé behúzáshoz.

A főkapcsoló relé 16,7mA-t fogyaszt adatlap szerint. A tranzisztorok 200-as bétájával számolva következik, hogy minimum 0,0835mA bázisáram szükséges, a biztonság kedvéért azonban legalább a kétszeresével, azaz 0,167mA környéki bázis árammal érdemes számolni. Tehát 5V-tal, $U_{B-E} = 0,65V$ -tal számolva 26kOhm lenne a megfelelő érték. Legfeljebb 5% tűrésű ellenállások használata a cél a minél pontosabb gyakorlati eredmények érdekében, ezért az E24-es szabványsort figyelembe kell venni. A kiszámolt érték természetesen nincs a szabványsorban, kevesebb bázisáramot pedig nem érdemes folytatni, ezért a kapott értékhez alulról legközelebb eső szabványos értékre, azaz 24kOhm-ra esett a választás. Ezzel az értékkel 0,197mA bázisáram fog létrejönni.

A hangfalvédelem két Finder reléjét és a lágyindítás Omron reléjét egyszerre kapcsolná az áramkör, azonban külön tranzisztorokkal. A lágyindítás reléje egyforma a standby reléjével, ezért ahhoz is a már kiszámolt 22kOhmos bázisellenállás megfelelő. A két hangfalvédelem relé felvett árama $2 * 27mA = 54mA$. Itt is célszerű legalább kétszeres bázisáram megválasztása, ami jelen esetben 108mA, melyhez legalább 0,54mA bázisáram szükséges. Az előzőekben használt képleteket alkalmazva 8,05kOhm-os ellenállásra volna szükség. Ilyen sincs a szabványsorban, ezért szintén alulról a legközelebb eső érték, azaz 7,5kOhm lesz a megfelelő és így 0,58mA lesz a bázisáram.

A bemenetválasztó relék 8,3mA fogyasztásához elegendő lenne 41,5uA bázisáram is, ami ~100kOhm-os bázisellenállást igényelne, viszont az egységesség miatt ide is 24kOhm értékűek kerülnek. Szintúgy a ventilátor sebességvezérlésénél, ahol az 1,5kOhm-os ellenálláson maximum 8mA áram tud folyni, így oda is tökéletes a 24kOhm.

Biztonsági szempontból lehúzó ellenállások is kerültek az egyes tranzisztorok bázisa és emittere közé a bázis lebegését kiküszöbölésére. Ezek a legnagyobb értékű bázis ellenállástól legalább kétszer nagyobbra lettek választva, azaz 47kOhm-ra.

15. TÁPEGYSÉG

15.1 Szükségletek és lehetőségek

A digitális elemek tápegységének elsősorban EI magos NYÁK transzformátor lett volna alkalmazva, ami után külön stabilizátorokkal a relék és a mikrovezérlő tápfeszültsége is meg lett volna oldva. A két Omron relé 16,7mA-t fogyaszt darabonként, a két Finder relé pedig 27mA-t fogyaszt egyenként. A bemenetválasztó relé 8,3mA-t fogyaszt, az 5V-os stabilizátor nyugalmi áramfelvétele adatlap szerint maximum 8mA, a mikrovezérlő fogyasztása 1,5mA körüli. A kijelző mérések alapján 24mA-t fogyaszt, a ventilátor pedig 48mA-t maximum. Ezekből adódóan a maximális áramfogyasztás 177,2mA. A szekunderfeszültségérték kiválasztásánál a 24V érték volt a szempont, mivel ez a szükséges legmagasabb feszültség, ezért ehhez közeli szekunderfeszültség szükséges ahhoz, hogy egyenirányítás és stabilizálás után a 24V megfelelően előállítható legyen. Beszerésre is került három különböző lehetséges transzformátor. Ezek egy 18V 250mA 4,5VA Indel, egy 24V 190mA 4,5VA szintén Indel és egy 24V 187mA 4,5VA Makrai transzformátor.

15.2 Transzformátorok mérése

A transzformátorok mérése során több probléma is felmerült. Az elsónél az volt tapasztalható, hogy az egyenirányítás után mérhető feszültség, melyet a stabilizátor bemenete kap meg 35,5V. Ez a feszültség az LM7824 stabilizátor katalógusában megadott határérték (40V) alatt van, tehát megfelelő volna. Azonban miután a várható terheléssel egyenértékű, ellenállásokból kirakott terhelés a stabilizátor kimenetére csatlakoztatásra került, az egyenirányítás után mért feszültség drasztikusan leesett. Ez miatt a stabilizátor kimenetén megjelenő feszültség 24V-ról 22,8V-ra esett le, így ez a transzformátor nem felelt meg az elvártaknak.

A második transzformátor mérésénél az egyenirányítás után a stabilizátort nem terhelve 46,8V feszültség volt mérhető, így ez a transzformátor már itt elbukott, attól függetlenül, hogy a terhelve mért feszültségek megfelelték volna.

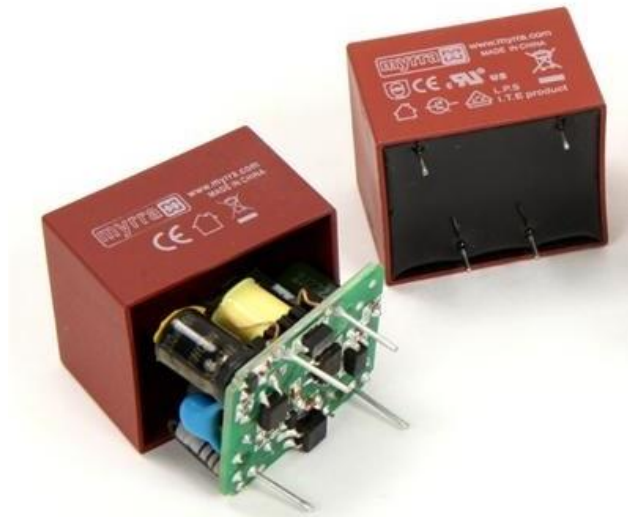
A harmadik transzformátor mérésénél az volt a tapasztalat, hogy az azonos névleges szekunderfeszültségű és teljesítményű, de különböző gyártók transzformátorai között is feszültségbeli különbség figyelhető meg terheletlen stabilizátorral. Terhelve viszont teljesen egyformák a stabilizátor előtt és után mért értékek. Sajnálatos módon a 24V-os

Indel transzformátor által előállított egyenfeszültség is meghaladta a stabilizátor bemeneti határértékét, így ezt a transzformátor sem alkalmazható.

A megfelelő darab kiválasztása nem volt sikeres, mivel vagy a stabilizátor bemenetére jutott a gyári specifikációtól magasabb feszültség, vagy a kimeneténél csökkent 24V alá. A jó feszültségérték a két kipróbált között lenne, ilyen viszont a kereskedelemben nem kapható.

15.3 AC/DC konverter és mérése

Alternatívák után kutatva a Myrra nevű gyártó termékei tűntek megoldásnak a problémára. Ők pontosan a NYÁK transzformátorok külső méreteinek és lábkiosztásának megfelelő AC/DC konvertereket is gyártanak (15.3/1. ábra).



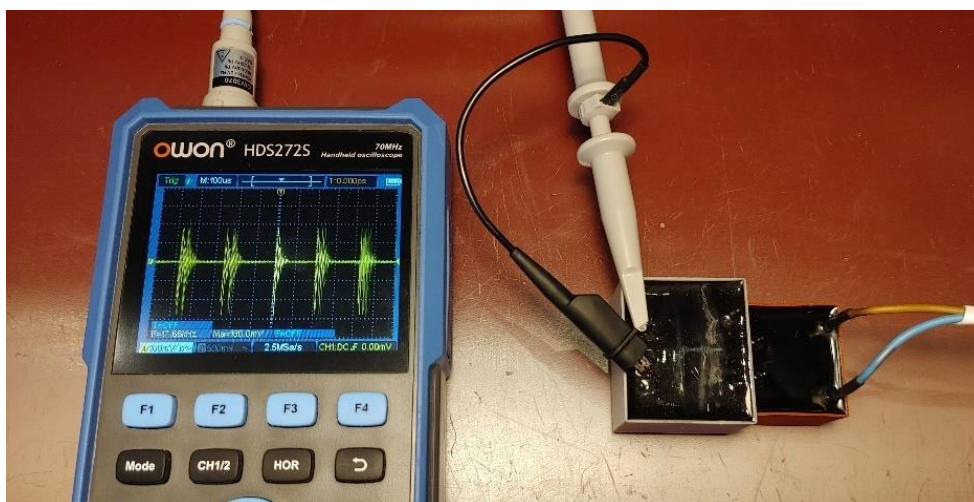
15.3/1. ábra: Myrra AC/DC konverter [20]

A 47166 típusú 24V 200mA 5W tudású típus beszerzése után elvégzett mérések eredményei azt mutatják, hogy ez a konverter biztosítja a legstabilabb egyenfeszültséget terheletlen állapotban és a felhasználási körülményeknek megfelelő terhelés esetén is. A konverter felhasználásából adódó előnyök között szerepel, hogy mind a primerköri biztosíték, mind a Graetz egyenirányító, mind pedig a 24V-os stabilizátor eltávolítható a rendszerből, így egyszerűbb konfiguráció valósítható meg.

Mivel a digitális tápegység hangerősítő eszközzel lesz egy készülékházban, fontos kiemelni, hogy a kapcsolási frekvenciából eredő zajszint minimalizálása érdekében elengedhetetlen az árnyékoló fólia alkalmazása. Ezzel a lépéssel megakadályozható, hogy ez a zaj az erősítő egységekbe juthasson.

15.4 Árnyékolás mérése

A kibocsátott zaj megmérése egy NYÁK transzformátor szekunder kivezetéseire csatlakoztatott oszcilloszkóp segítségével történik, így az elvártak szerint a konverter által kibocsátott elektromágneses zaj, ami a transzformátor tekercseiben feszültséget indukál, az oszcilloszkóp kijelzőjén jól látható lesz a transzformátort a konverter mellé helyezése után.



15.4/1. ábra: Konverter zajának mérése [saját ábra]

Az 15.4/1. ábrán látható a leírt mérési elrendezés. A transzformátor az előző mérésekben mért Makrai 24V-os transzformátor. Jól kivehető, hogy az elvártaknak megfelelő módon az oszcilloszkóp kijelzőjén megjelent a zaj. Itt közvetlen egymás mellé lett helyezve a transzformátor és a konverter. Ebben az esetben 180mV maximum amplitúdót mért az oszcilloszkóp a kivezetéseken. Ez persze nem jelenti azt, hogy 180mV a kibocsátott zaj amplitúdója, mivel a tekercs menetszámától is függ a mért feszültség értéke. A mérésnek csupán a kibocsátott zaj töredékére csökkentése a cél.

Következő lépésként a konverter 2cm távolságra került a transzformátortól. Látható volt, hogy ugyanabban a V/div osztásban mérve jócskán lecsökkent a zaj amplitúdója, számszerűen 36mV-ra, azaz az eddigi 20%-ára. Innentől mindegyik mérés 2cm távolságra történt.

Először a réz fólia csak a konverter köré lett helyezve. Ennek hatására csekély mennyiségben ugyan, de csökkent a zaj amplitúdója. Ezt követően a földpotenciálhoz lett csatlakoztatva a fólia, aminek hatására mégkisebb zaj volt mérhető. Végül fel lett ragasztva a fólia a konverterre. A mérés során a 20mV/div-ról át kellett térni 10mV/div osztásra, mert a trigger nem tudta megfogni a jelet, viszont így is meg kellett állítani a

képet, hogy értékelhető eredmény legyen látható. Az adatok pedig azt mutatták, hogy körülbelül 7,5mV amplitúdó mérhető, ami a 36mV nagyjából 21%-a. Tehát kijelenthető, hogy a fólia hasznossága bebizonyosodott és az is, hogy minél messzebb érdemes digitális tápegységektől a zajérzékeny berendezéseket elhelyezni, így azzal is csökkenthető a kapcsolási zaj átterjedésének kockázata.



15.4/2. kép: Árnyékoló rézfólia felragasztva [saját ábra]

A terheléses és zajkibocsátás méréseinek eredményeiből egyértelműen kijelenthető, hogy a Myrra 24V 5W kapcsolóüzemű AC/DC konverter lesz a megfelelő választás tápegységként a készülő áramkörhöz. A plusz teendő annyi volt, hogy árnyékoló fóliával kellett ellátni a kisebb zajszórás érdekében.

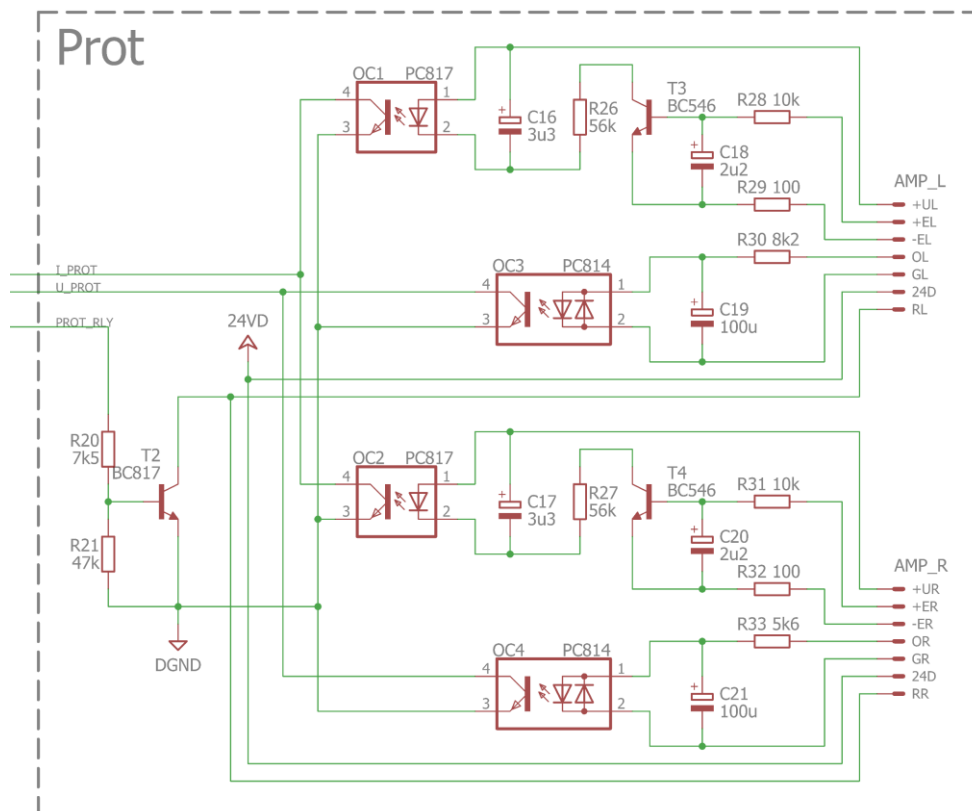
15.5 Analóg tápegység

Az analóg részek az attenuátor és az illesztő műveleti erősítők. Az attenuátor $\pm 5V$ tápellátást igényel az adatlapja alapján, a műveleti erősítők pedig $\pm 12V$ -ot, tehát ezeknek még ki lehet alakítani transzformátorral is olyan tápegységet, ami stabilizátoraira nem kerül túl nagy bemenő feszültség és a kimeneti feszültség is megfelelő. Valamint több helyen említik, hogy audió eszköz tápegységeként digitális tápegység akkor használható, ha annak kapcsolási frekvenciája legalább 200kHz felett van [21]. A bemutatott Myrra tápegysége 4-10kHz volt a mérések során, így egyértelműen marad a transzformátor. Az attenuátor nyugalmi árama 10mA, a műveleti erősítőké pedig 6,4mA csatornánként. Rendeltetésszerű használat esetén azonban sokkal nem lépheti meg ezeket az értékeket az áramfelvétel. Ezeket alapul véve egy 2x12V 2VA transzformátorral már kétszeresen túl lenne méretezve az áramigény, azonban kisáramú fokozatoknál is érvényes, hogy a túlméretezett transzformátor használata előnyökkel jár például a hangzás terén is. Végül egy 2x12V 180mA 4,5VA Indel transzformátor lett a kiválasztott.

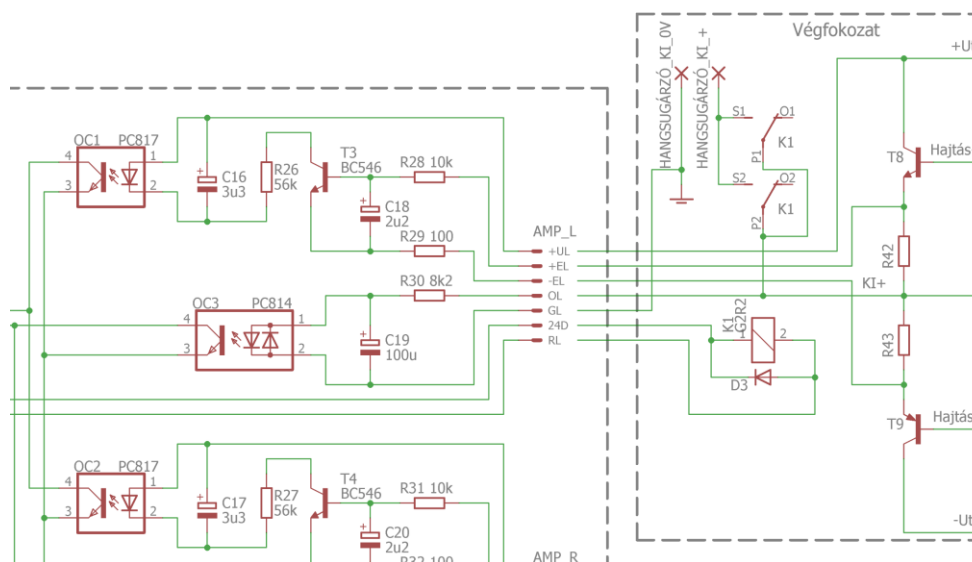
16. KAPCSOLÁSI RAJZOK

16.1 Fő áramkör

16.1.1 Offset, túláram érzékelés,



16.1.1/1. ábra: Offset és túláram érzékelés kapcsolási rajza [saját ábra]



16.1.1/2. ábra: Érzékelések bekötési példája végfokozatra [saját ábra]

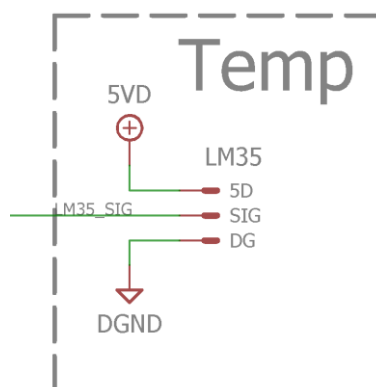
Mindegyik kapcsolási rajz az Autodesk EAGLE NYÁK-tervező programban készült.

Az offset és túláram érzékelés látható a 16.1.1/1. ábrán az előzőekben kiszámított értékekkel, két csatornás erősítőhöz tervezve. Mindkét típusú védelem optocsatolóinak kimenete típusonként közösítve van, ugyanis nem volt cél csatornánként visszajelezi, hogy melyikkel lépett fel probléma, csak az offset vagy túláram problémát. Természetesen ez is megoldható lenne, azonban plusz két lábat igényelne a mikrovezérlőről. Azonban, ha csak a hiba típusa adott, két végfokozat közül nem nehéz kideríteni méréssel, hogy melyikkel van gond.

A 16.1.1/2. ábra szemléltetni a csatlakozók bekötését egy végfokozatra. AMP_L csatlakozó kötendő a bal csatorna végfokozatán a csatlakozó érintkezőinél megjelölt pontokra. A +UL kötendő a bal csatorna pozitív tápfeszültségére, a +EL a pozitív tápoldali végtranzisztor emitter ellenállásának a tranzisztor felé eső kivezetésére, a -EL a negatív tápoldali végtranzisztor emitter ellenállásának a tranzisztor felé eső kivezetésére, a +OL a kimenetére, a 24D és RL pedig a hangfalvédelem reléjére. Az AMP_R csatlakozónál ugyanígy kell eljárni értelemszerűen a jobboldali végfokozatra. Az ok, ami miatt a hangfalvédelem reléje a végfokozathoz van elhelyezve, nem pedig a védelemhez, hogy minél rövidebb vezeték kelljen a hangfalkimenet csatlakozójáig. Jobb, ha inkább a relé tápfeszültsége van kivezetékeztve a végfokozathoz, mint a kimeneti jel a védelemhez aztán a hangsugárzó kimenet csatlakozójához.

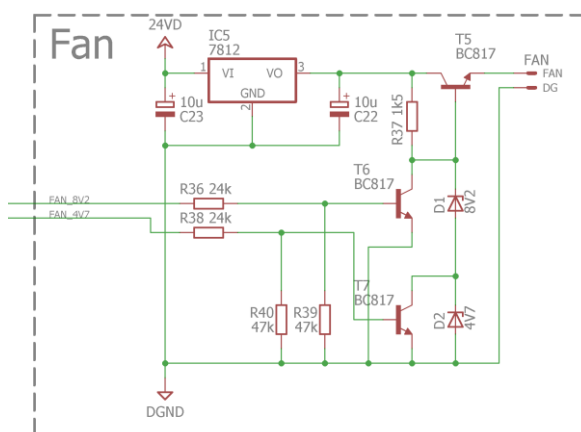
16.1.2 Hőmérés

Mivel az LM35 nem igényel plusz külső alkatrészt, az azzal történő hőméréshez csak a csatlakozó szükséges, amire majd az IC fog tudni csatlakozni (16.1.2/1. ábra).



16.1.2/1. ábra: LM35 csatlakozó kapcsolási rajza [saját ábra]

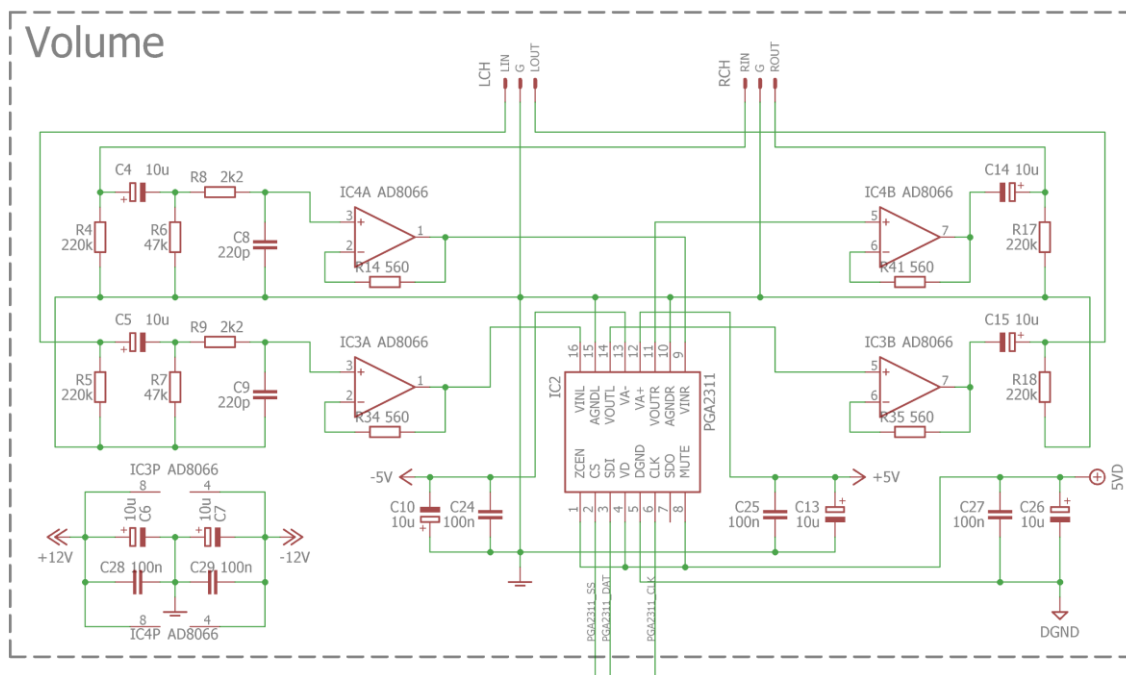
16.1.3 Hűtés



16.1.3/1. ábra: Ventilátor vezérlés kapcsolási rajza [saját ábra]

A ventilátor vezérlése maradt a már korábban bemutatott, szervizkönyvben talált kapcsolás, viszont a digitális 24V tápfeszültség miatt kiegészült egy LM7812 típusú feszültség stabilizátorral, hogy a 12V biztosítva legyen. A kapcsolásban szereplő Zener diódák és előtétellenállásuk nem igényeltek módosítást, mivel már gyárilag 12V-os tápfeszültséghez és ventilátorhoz voltak tervezve.

16.1.4 Hangerő vezérlés



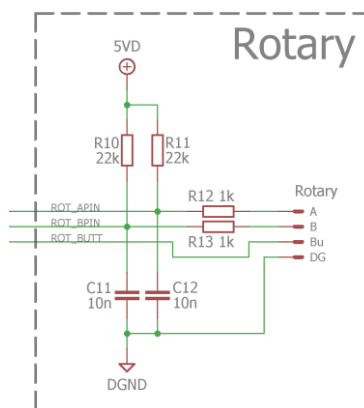
16.1.4/1. ábra: Hangerő vezérlés kapcsolási rajza [saját ábra]

Ehhez a részhez érkezik a bementválasztótól a bejövő sztereó audio jel, amelynek a hangerejét vezérelni kell, majd távozik az előfokozat és végfokozat felé.

A korábban említett PGA2311 attenuátor bemeneti impedanciája 40-20k Ω adatlap szerint. Ez gondot okozhat bizonyos eszközök csatlakoztatásakor, ugyanis a szabványos impedancia RCA csatlakozóval ellátott audió berendezések esetén 47k Ω . Ezt megoldandóan a PGA2311 IC bemenetei elé követőerősítőként használt AD8066 típusú műveleti erősítő került. Azért esett erre a típusra a választás, mivel egy olyan nagysebességű és alacsony torzítású IC, melyet minden más egyéb felhasználás mellett audió célokra is erőszerezettel alkalmaznak. Ezzel és az IC4A és IC3A illesztő erősítők előtt elhelyezett 0,3Hz-330kHz sávban áteresztő szűrővel az IEC 60268-3 szabványban meghatározott bemeneti impedanciára illesztési megoldódott. Az IC adatlapja nem beszél a kimeneti impedanciájáról, viszont ajánlja bufferfokozat használatát a kimeneteken. Ennek eleget téve oda is került az említett AD8066-ból, szintén követőként kötve. Ezt követi még egy felüláteresztő szűrő, a nagyon alacsony frekvenciák és az esetleges egyenfeszültség leválasztása érdekében.

Az AD8066 adatlapja szerint az IC bemenetein elhelyeztek védődiódákat, amik a túl magas bemenő feszültségektől védik meg az IC-t. Az adatlapban ajánlják, hogy a visszacsatolásba legalább 300-1k Ω közötti értékű ellenállás legyen helyezve áramkorlátozóként. Ez 560 Ω -ra lett választva és mindkét műveleti erősítő mindkét csatornájának visszacsatolásába be is került, ahogy 16.1.4/1. ábrán is látható.

16.1.5 Hangerő/bemenet állítás



16.1.5/1 ábra: Rotary enkóder kapcsolási rajza [saját ábra]

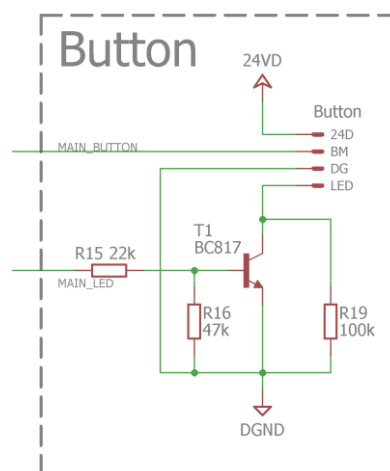
A 16.1.5/1. ábrán látható, hogy ez az elrendezés különbözik a gyári ajánlástól. Ennek oka, hogy az ajánlott kapcsolás Arduino Nano panelen való tesztelés alatt sokat tévesztett a tengelye forgatása közben. 10 darab bal irányú impulzusból körülbelül 3 darabot jobb irányúnak érzékelt a fejlesztőpanel. Többféle ellenállásérték és kapacitásérték is kipróbálásra került a gyári ajánlás kapcsolásában, de minden esetben viszonylag gyakori

volt a tévesztés, vagy ha már nem tévesztett, akkor lassú volt az egymás utáni lépések detektálása a megnövekedett időállandó miatt. Azzal is több kísérlet volt, hogy a mikrovezérlő belső felhúzóellenállása legyen használva a külsők helyett, de azzal még több lett a téves érzékelés. Ezen próbálgatások során alakult ki a 15.1.5/1. ábrán látható végleges verzió, ahol a felhúzó ellenállások értéke megnövekedett, a soros ellenállások értéke tizedükre csökkent és a kondenzátorok átkerültek az ellenállások közös pontjára. Ebben a kialakításban már szinte soha nem tévesztett.

16.1.6 Standby nyomógomb

A plusz visszajelzések megvalósíthatósága miatt olyan nyomógomb lett kiválasztva, amely LED világítással ellátott. Figyelembe kellett venni a kiválasztásakor, hogy a LED 24V-ról üzemeljen a fő digitális tápfeszültséggel való kompatibilitás miatt. Ennek kapcsolására is a reléknél alkalmazott tranzisztoros megoldás a legmegfelelőbb. Mivel a LED fogyasztása 10mA, ide is megfelelő a 24kOhm bázis ellenállás, valamint a 47kOhm bázis-emitter ellenállás.

A készülék kikapcsolt állapotában áram alatt létének visszajelzése az egyik dolog amire alkalmas a LED. Ezt alacsony fényerővel érdemes jelezni, viszont a mikrovezérlő PWM funkciója helyett egy soros 100kOhmos ellenállással lett ez megoldva. Ezen érték meghatározása tapasztalati úton történt, azaz addig lett növelve az érték, amíg szemre körülbelül fél fényerőn nem világított a LED. A tranzisztorral párhuzamosan került bekötésre az ellenállás, tehát a tranzisztor kinyitásával kisöntölődik és teljes fényerő érhető el.

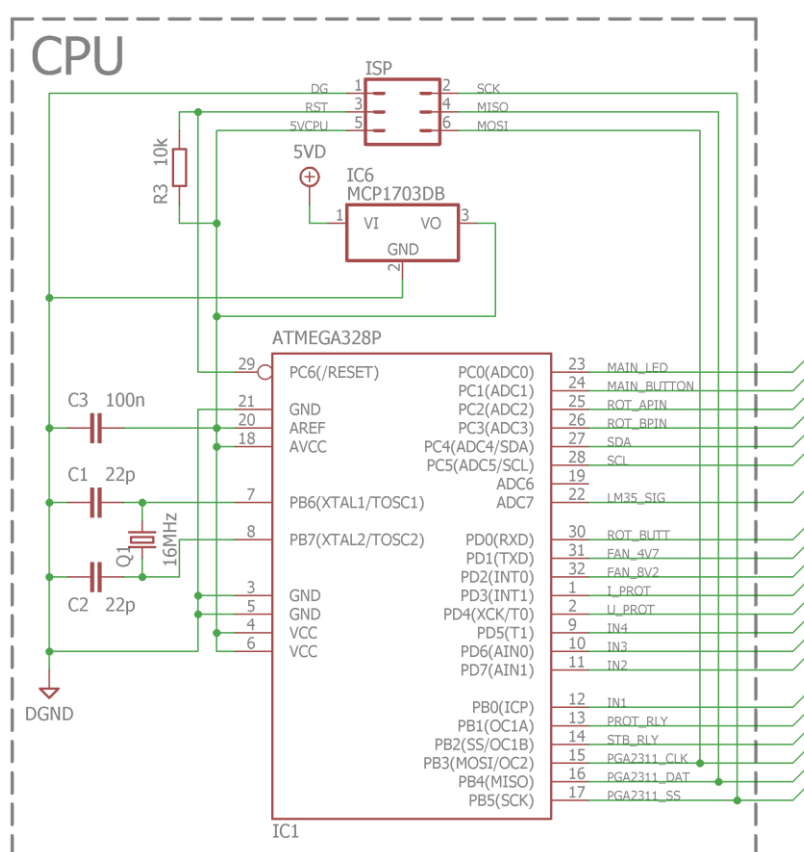


16.1.6/1. ábra: Nyomógomb kapcsolási rajza [saját ábra]

16.1.7 Mikrovezérlő

Az ATmega328P kivezetéseinek darabszáma pont elegendő lett az összes rákötni kívánt eszköz számára a LED világítással szerelt nyomógommbal együtt. Több vezérlendő eszköz jelenleg nincs tervben az áramkörhöz, úgyhogy nagyobb lábszámú mikrovezérlőre cserélése nem szükséges. Órajelként egy 16MHz-es kvarc oszcillátort kapott, valamint zajszűrés érdekében egy 5V-os LDO² stabilizátor IC is került elé a táppal sorba. Több forrás is megerősítette, hogy LDO stabilizátor használata az egyszerű stabilizátorok után nagyban javítja a zajelnyomást a táp felől [22]. Ennek az IC-nek nagyon előnyös tulajdonsága, hogy a meghatározott kimeneti feszültségig alacsony a dropout³ feszültsége, tehát 5V bemenő feszültség esetén is néhány 10mV különbséggel fog a kimenetén is az 5V megjelenni. Ebből adódóan a disszipációja is elenyésző.

A mikrovezérlő ISP-vel történő programozásához került be 3x2-es tűskesor is a kapcsolásba.

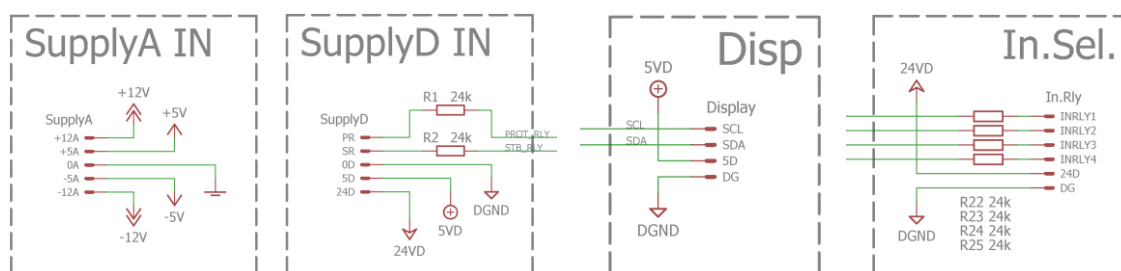


16.1.7/1. ábra: Mikrovezérlő kapcsolási rajza [saját ábra]

² Low Dropout Voltage

³ Be- és kimenet legkisebb feszültségkülönbsége

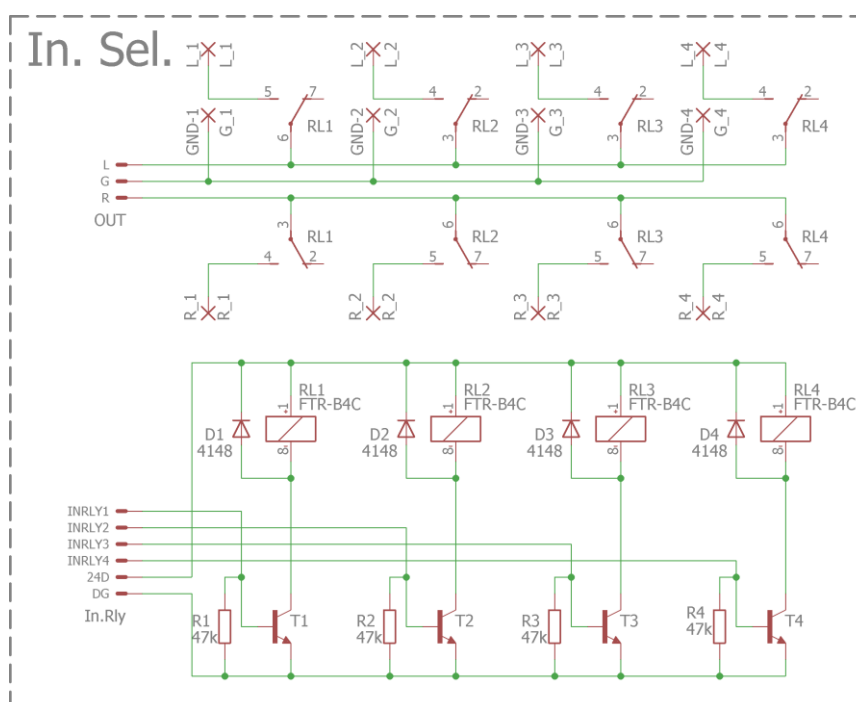
16.1.8 Egyebek



16.1.8/1. ábra: Tápok, kijelző, és bemenetválasztó csatlakozói [saját ábra]

A standby és lágyindító relék, valamint a bemenetválasztó relék tranzistorainak soros ellenállásai a fő áramkörhöz kerülnek a tápegység helyett annak érdekében, hogy az érintkező esetleges nem szándékos leföldelése esetén ne a mikrovezérlő lába földelődjön le és ne menjen tönkre.

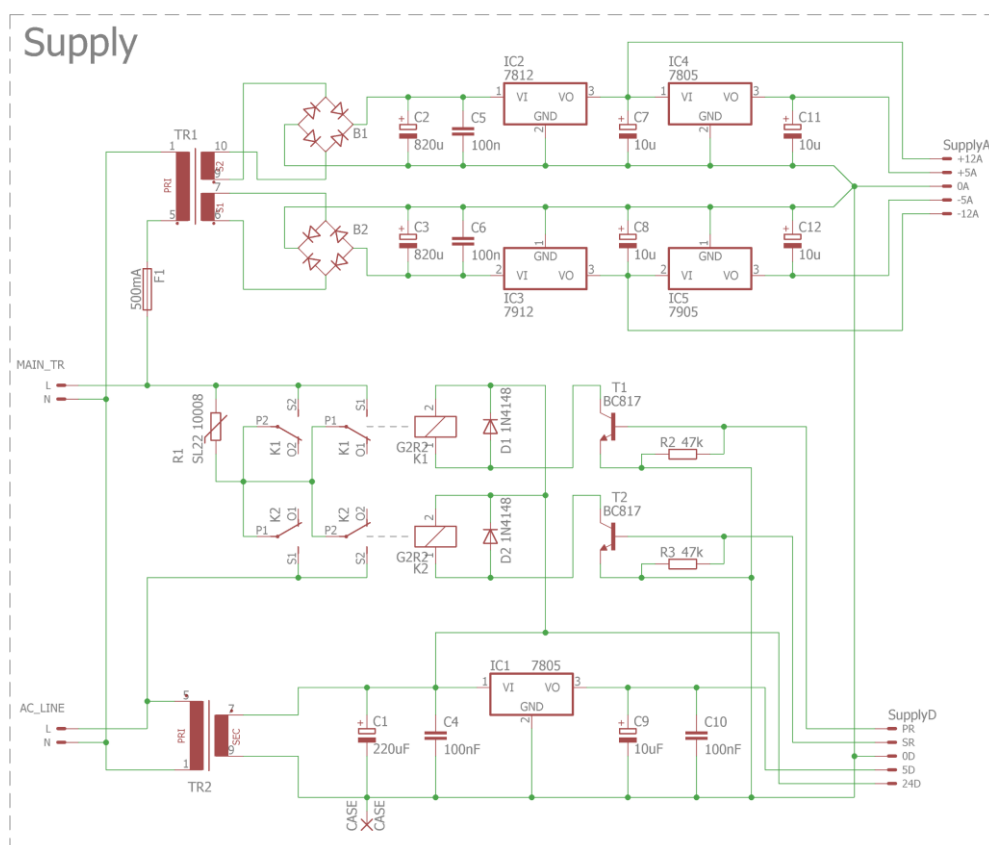
16.2 Bemenetválasztó



16.2/1. ábra: Relés bemenetválasztó kapcsolási rajza [saját ábra]

Négy darab bemenet elegendő, ezért annyi relét is szükséges használni, mivel dupla áramkörök és egy darab tudja kapcsolni egy bemenet mindkét csatornáját. A lehelyezett pad-ekre (L_1, R_1, ...) kötendők a bemeneti csatlakozók, amelyek közül a kiválasztott a hozzá tartozó relé segítségével a bemenetválasztó kimeneti csatlakozójára (OUT) köthető. Onnan a jel tovább halad a fő áramkör hangerő vezérléséhez.

16.3 Tápegység



16.3/1. ábra: Tápegység [saját ábra]

Külön panelen helyezkedik el minden tápfeszültséget előállító elem, hogy a hálózati zaj és a 230V minél messzebb legyen az audio jeltől és a digitális alkatrészekről.

A felső rész az analóg alkatrészek tápegysége, amelyet a 2x12V-os NYÁK transzformátor táplál. Külön lett egyenirányítva a két szekunder feszültsége, hogy a csatlakozónál csillagpontos földelést lehessen kialakítani. A +12V-os és -12V-os stabilizátorok a műveleti erősítők tápfeszültségeit alakítják ki. Hogy a zaj minél jobban szűrve legyen a transzformátor felől ezek után lettek kötve a PGA2311 IC +5V és -5V tápfeszültségét előállító stabilizátorok.

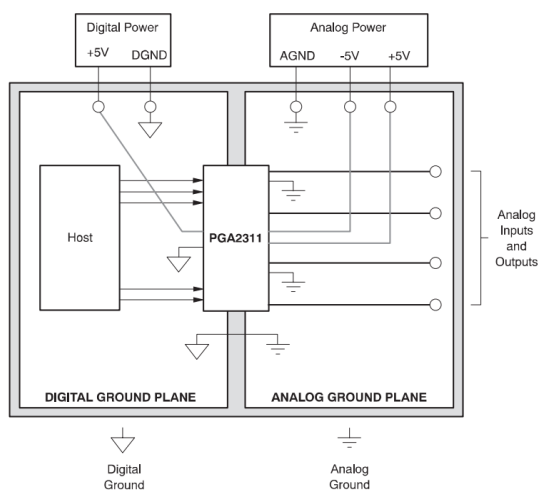
A középső részen látható a főkapcsoló és a lágyindítás reléje a meghajtásaikkal, valamint a lágyindítást végző áramkorlátozó NTC.

Az alsó rész digitális elemek (kijelző, hőmérő, mikrovezérlő) tápfeszültségét szolgáltatja a már említett MYRRA kapcsolóüzemű tápegység felhasználásával. A PGA2311 IC digitális részének is kell 5V táplálás és az adatlapja előírja, hogy a digitális és analóg táp nullpontjai közösítve kell legyenek, ezért is lettek összekötve a csatlakozóknál.

17. NYÁK

Mindegyik NYÁK az Autodesk EAGLE NYÁK-tervező programban készült.

A PGA2311 attenuátor adatlapjában javasolják, hogy az analóg és digitális földelés a 17/1. ábra szerint legyen kialakítva.

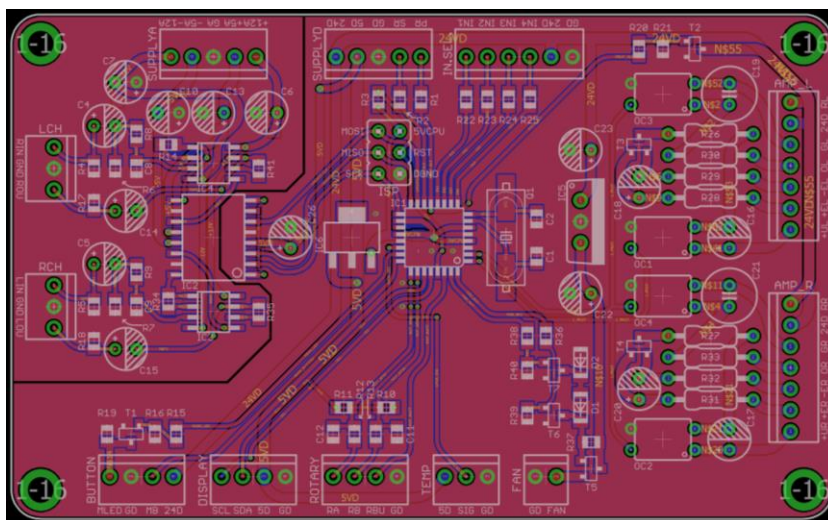


17/1. ábra: Ajánlott földelés [16]

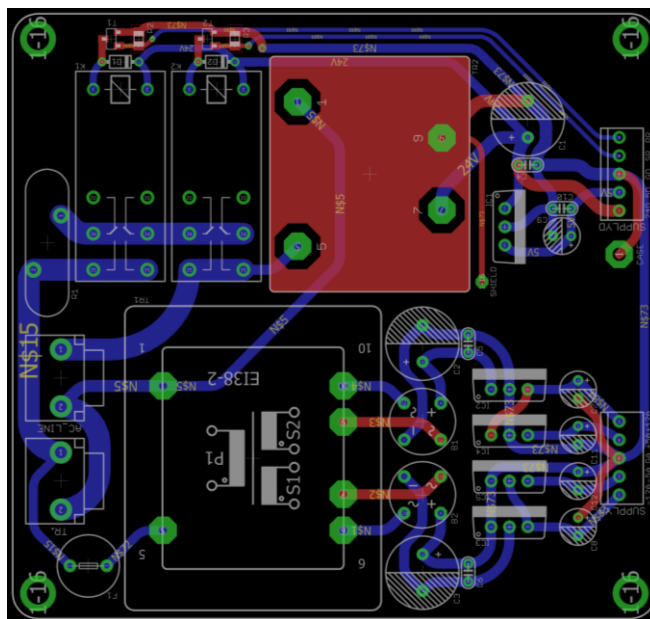
Az IC jól kivitelezett lábkiosztásából adódóan könnyen meg lehetett ezt valósítani. Az audio jeleknek kellően rövid vezetősávokat sikerült alkalmazni. A PGA2311 digitális bemeneteihez közel lett a mikrovezérlő elhelyezve, körülbelül 3cm hosszú vezetősávokat eredményezve, a programozó csatlakozó pedig közvetlen a mikrovezérlő mellé került. A kijelző I²C kommunikáció vezetősávjainak hossza annyira nem kritikus, mivel a kijelző készülék előlapra kerül és odáig vezeték szükséges a panellel való összekötéshez, ezért annak csatlakozója nem volt szükséges, hogy a mikrovezérlő közvetlen közelében legyen. Csatlakozók elhelyezésénél figyelembe kellett venni, hogy készülék előlapra kell kerüljön a rotary enkóder, a kijelző és a nyomógomb, tehát azok csatlakozói felülnézetből nézve alulra kerültek. A hangerő vezérlés a panel bal oldalára, a védelem a jobb oldalára került, így az LM35 és a ventilátor csatlakozója a panel alján jobb oldalon kaptak helyet, hogy a végfokozatokhoz közel egy helyről menjenek a vezetékek. Mivel a bemenetek a hátlaapon kell legyenek, a benenetválasztó vezérlésének csatlakozója felülre került, a tápcsatlakozók pedig mellé, szintén felülre (17/2. ábra).

A tápegység NYÁK (17/3. ábra) tervezésénél fontos volt ügyelni, hogy minél rövidebb útja legyen a hálózati 230V-nak és az minél messzebb legyen az egyenfeszültségektől, hogy ne szennyezze azokat zajjal.

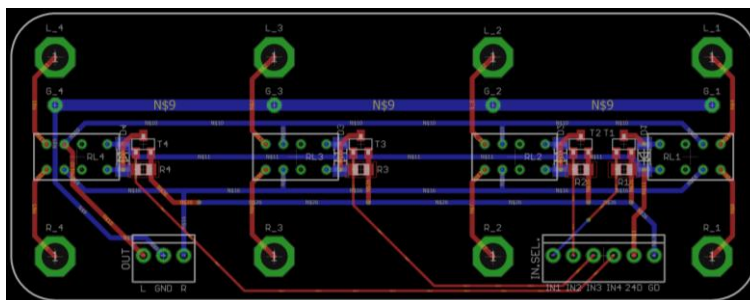
A bemenetválasztó NYÁK-ját (17/4. ábra) úgy terveztem, hogy a készülékházba behelyezett RCA csatlakozókra rá lehessen húzni a minél kevesebb vezetékezés érdekében, ráadásul a készülékházban is helyet spórol meg azzal, hogy állítva van a panel.



17/2. ábra: Fő áramkör NYÁK-ja felülnézetből [saját ábra]



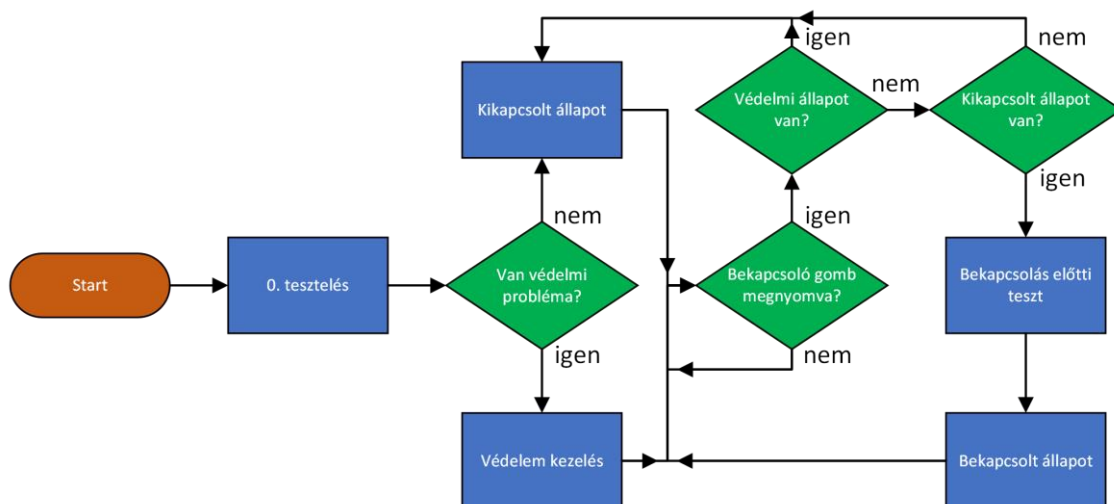
17/3. ábra: Tápegység NYÁK-ja felülnézetből [saját ábra]



17/4. kép: Bemenetválasztó NYÁK-ja felülnézetből [saját ábra]

18. PROGRAM

Az áramkör mikrovezérlőjén futtatandó program Microchip Studio nevű fejlesztői környezetben íródott. A program legfontosabb része a védelmi érzékelők figyelése és az azok állapota szerinti továbbhaladás, így a lényegi folyamatára a 18/1. ábra szerint alakult ki.



18/1. ábra: A program lényegi folyamatábrája [saját ábra]

A mikrovezérlő, vagyis beépített áramkör esetén a teljes készülék áram alá helyezésekor lefut egy önteszt, ami bekapcsolja a végfokozatokat és az egyes védelmi érzékelők állapotát megvizsgálja. Nem észlelt rendellenesség esetén teljesen kikapcsolt, azaz standby állapotba kerül az erősítő. Ha viszont bármelyik érzékelő hibát jelez, akkor védelmi állapotba kerül a készülék. Itt teljesen kikapcsolt állapot áll be annyi különbséggel, hogy vissza van jeleztetve az észlelt meghibásodás. Bekerült ide a nyomógombban lévő LED gyors villogtatása is a fokozott figyelemfelkeltés érdekében. A főkapcsoló nyomógomb megnyomásával lehet nyugtázni a hibát és kikapcsolt állapotba helyezni a készüléket.

Kikapcsolt állapotban történő gombnyomásra újra lefut a védelmek vizsgálata és ha nincs hiba, bekapcsolt állapotba kerül. Itt a hangsugárzóvédelem reléje is már meghúz, valamint fut a hangerő vezérlés, a bemenetválasztás, a ventilátor vezérlés és a védelmek folyamatos figyelése. Ha a bekapcsolás előtti vizsgálatkor vagy bekapcsolt állapotban gondot jeleznek az érzékelők, ugyanúgy védelmi állapotba kerül, amit szintén a főkapcsoló nyomógomb megnyomása nyugtáz.

A rotary enkóder állapotbeolvasásának gyorsítása érdekében sima port beolvasás helyett az egyik lábára 'Pin Change Interrupt' lett alkalmazva, hogy egyből tudjon reagálni a forgatásra a mikrovezérlő.

Az aktuális bemenet és a pontos hangerő értékek láthatósága egyformán fontos, viszont közülük csak egy fér ki a kijelzőre. Végül az jelentette a megoldást, hogy alaphelyzetben a bemenet neve kerül kiírásra a kijelzőre, hangerőállítás esetén viszont a hangerő értéke jelenik meg a kijelzőn a bemenet neve helyett, majd annak állításának befejezése után 3 másodperccel visszakerül a bemenet neve. Az enkóder nyomógombjának megnyomásával lehet választani, hogy a kettő közül melyik legyen állítva. Ez alapesetben a hangerőt állítja. Bemenetválasztás közben a kijelzőre rögtön kiíródik a bemenet neve, azonban a relék átkapcsolásához időzítés lett alkalmazva annak érdekében, hogy gyors tekerés esetén ne kapcsoljanak feleslegesen, csak fél másodperccel az állítás befejezése után.

Hőmérsékletmérésnél is időzítés lett alkalmazva, hogy csak másodpercenként végezzen konverziót a mikrovezérlő, a kijelzőre pedig csak változás esetén íródik ki az aktuális hőmérséklet. A hőmérés a védelmet akkor aktiválja, ha a mért hőmérséklet elérte a 80°C-ot, mivel ezt az értéket használják többen is [23].

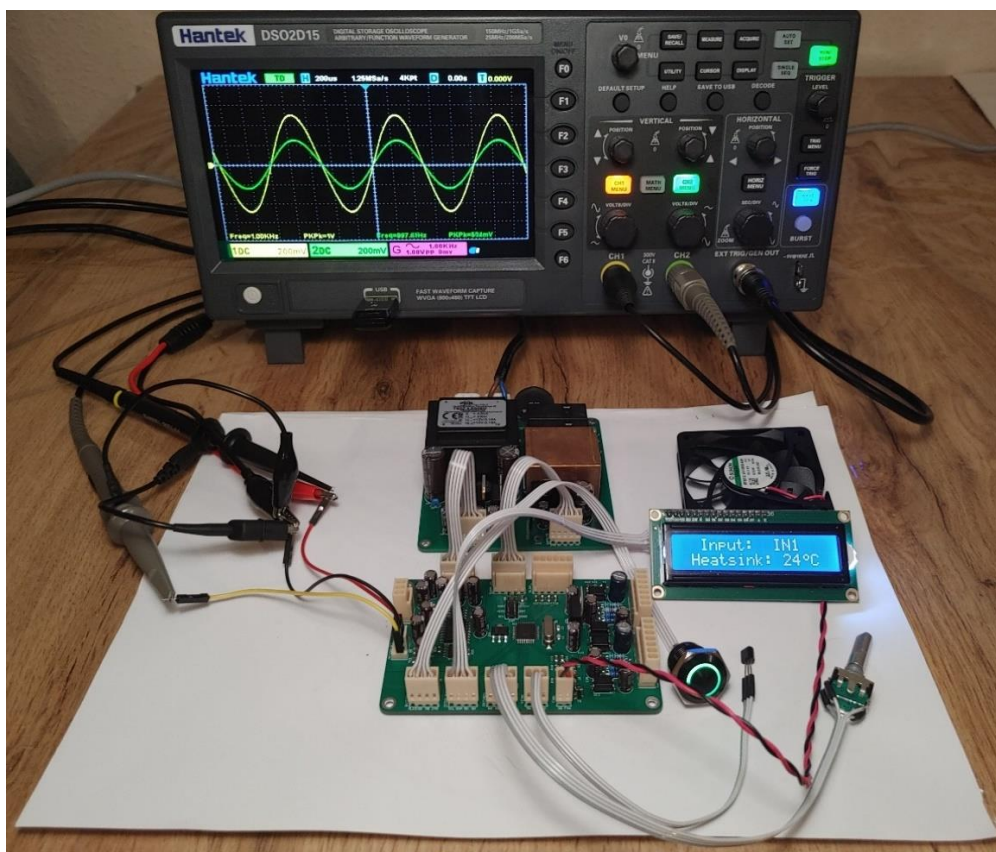
A ventilátor vezérlése 65°C-tól indul. Ha eléri ezt a hőmérsékletet a hűtőfelület, alacsony sebességen működik a ventilátor. Ha tovább melegszik és eléri a 70°C-ot, akkor maximum sebességgel fog forogni a ventilátor. Hűlés esetén azonban hiszterézissel történik a vezérlés. Ha maximum sebességgel forgott a ventilátor, csak akkor fog csökkenni a sebessége, ha a hűtőfelület legalább 67°C-ra hűlt, alacsony sebesség esetén pedig akkor kapcsol ki a ventilátor, ha a hűtőfelület legalább 62°C-ra hűlt.

Az attenuátor maximum és minimum értékei szoftveresen korlátozásra kerültek, mivel nincs szükség -95,5dB-től +31,5dB-ig állíthatóságra, hanem elegendő -80dB-től +10dB-ig. A -80dB állásban viszont már némítás van beállítva.

A kijelző I²C meghajtójához kizárólag C++-ban íródott driver volt fellelhető, ezért azt teljesen át kellett írni ahhoz, hogy sima C-ben is használható legyen.

A mikrovezérlő programozása a Microchip által gyártott AVR Dragon nevű programozóval történt, ugyanis ez képes az ISP módszerrel való programozásra és a Microchip Studio-val is kompatibilis.

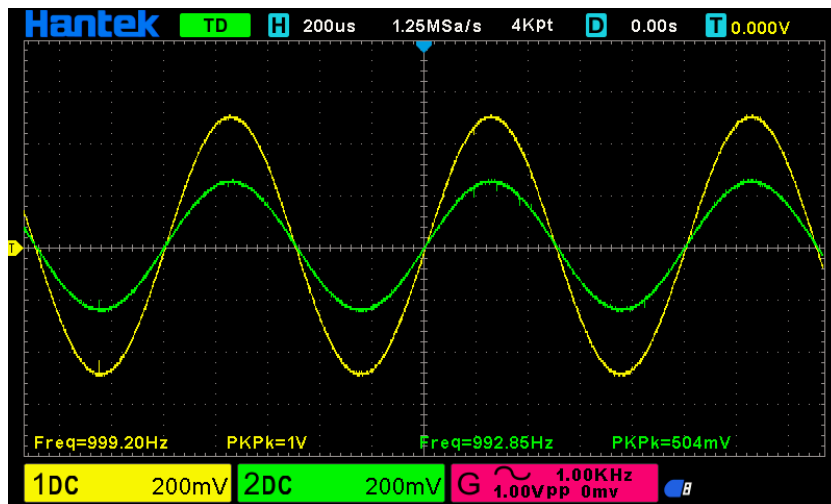
19. KÉSZ ÁRAMKÖR



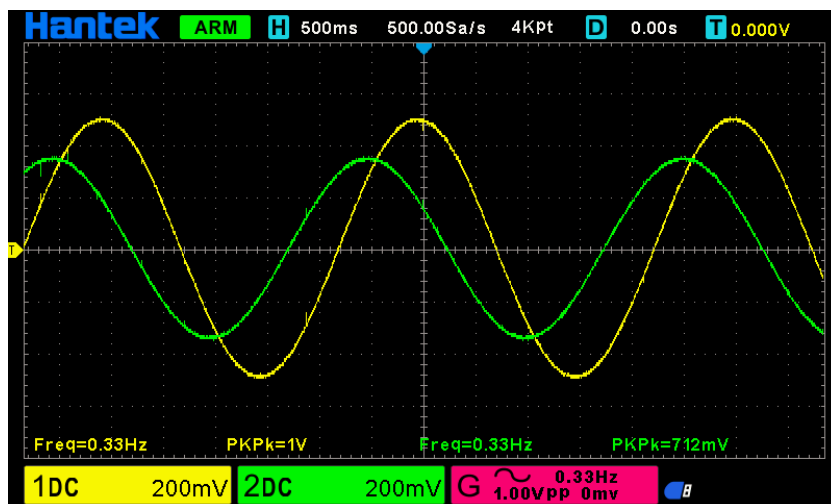
19/1. ábra: Kész áramkör mérése [saját ábra]

A 19/1. ábrán az elkészült áramkör bemérése látható. Egyes csatorna (sárga) méri a bemenő, kettes csatorna (zöld) a kimenő jelet. A bemeneti 1kHz frekvenciájú és $1V_{cs-cs}$ amplitúdójú jelet a Hantek DSO2D15 típusú oszcilloszkóp generátor kimenetéről kapja. A kijelzőn látható, hogy az egyes bemenet van kiválasztva és az LM35 $24^{\circ}C$ -ot mér. A hangerő értéke -6dB-re lett állítva, azaz felezi a bemenő jel amplitúdóját. Ez jól le is olvasható a 19/2. ábráról, ugyanis az $1V_{cs-cs}$ bemeneti jel hatására $500mV_{cs-cs}$ jel jelenik meg a kimeneten.

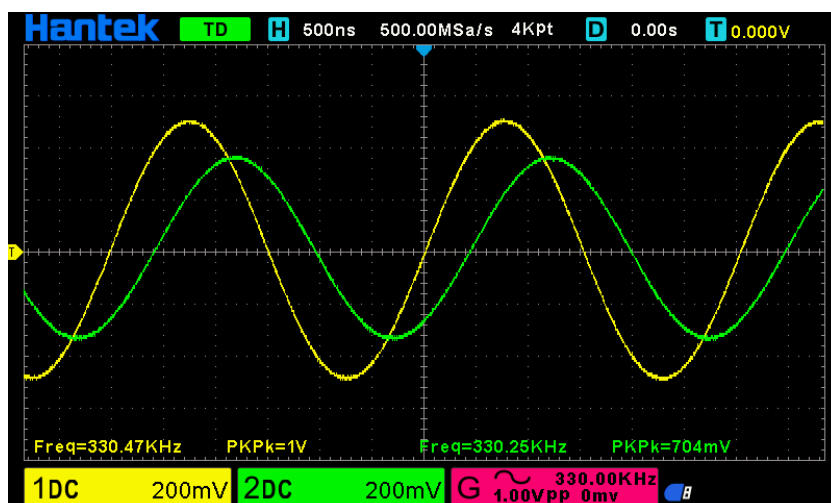
A meghatározott határfrekvenciáknál látszik (19/3., 19/4. ábrák), hogy tartja azoknál a -3dB csökkenést, tehát kizárólag a szűrő korlátozza a hangerő vezérlés sávszélességét. A hangfrekvenciás sávban pedig észrevehető (19/5., 19/6. ábrák), hogy nem történik semekkora mértékű amplitúdó csökkenés, csak 20kHz-nél látható minimális fázistolás. A 19/7. ábrán 1kHz frekvenciás $1V_{cs-cs}$ amplitúdójú bemenő jellel látható a kimeneti jel +10dB állásban, azaz 3,16-os erősítéssel, bizonyítva, hogy erősítésre is képes a PGA2311 attenuátor. A mérések alapján megállapítható, hogy a hangerő vezérlés nem befolyásolja a hangot különösebb torzítással és az elvártaknak megfelelően működik.



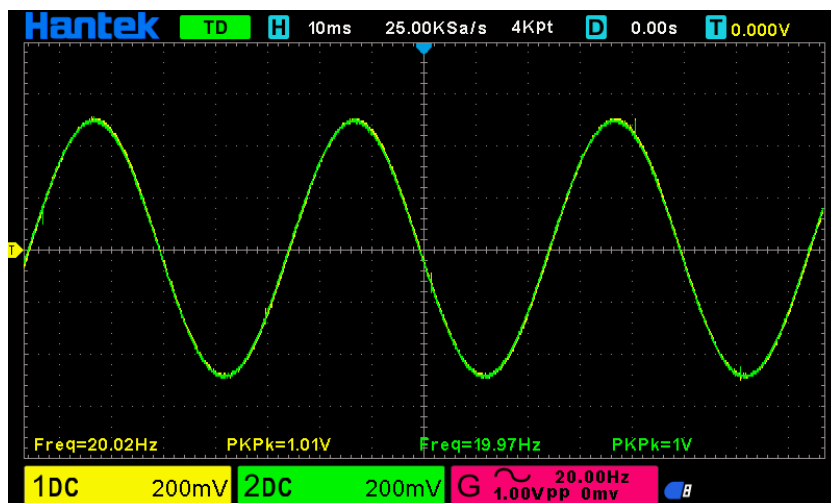
19/2. ábra: $1V_{cs-cs}$ 1kHz bemenettel -6dB állásban [saját ábra]



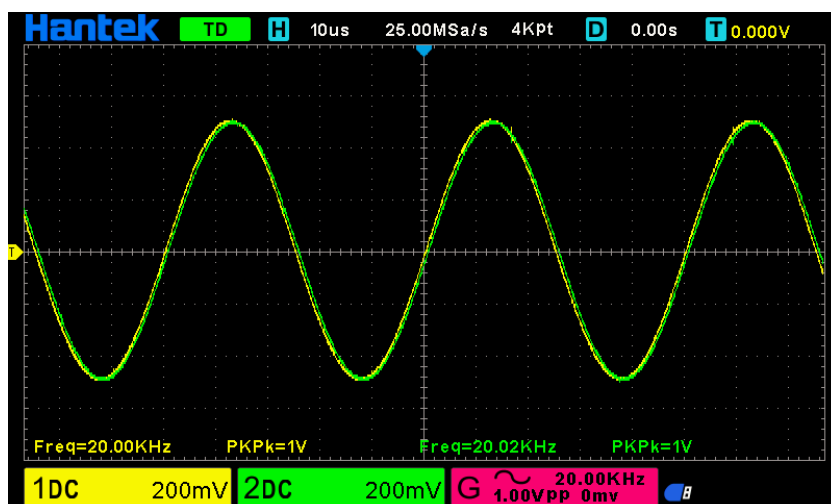
19/3. ábra: $1V_{cs-cs}$ 0,3Hz bemenettel 0dB állásban [saját ábra]



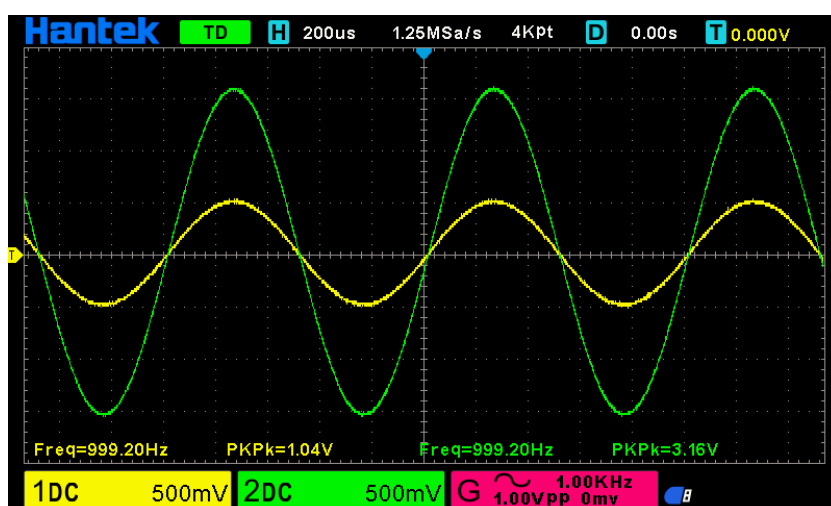
19/4. ábra: $1V_{cs-cs}$ 330kHz bemenettel 0dB állásban [saját ábra]



19/5. ábra: $1V_{cs-cs}$ 20Hz bemenettel 0dB állásban [saját ábra]



19/6. ábra: $1V_{cs-cs}$ 20kHz bemenettel 0dB állásban [saját ábra]



19/7. ábra: $1V_{cs-cs}$ 1kHz bemenettel +10dB állásban [saját ábra]

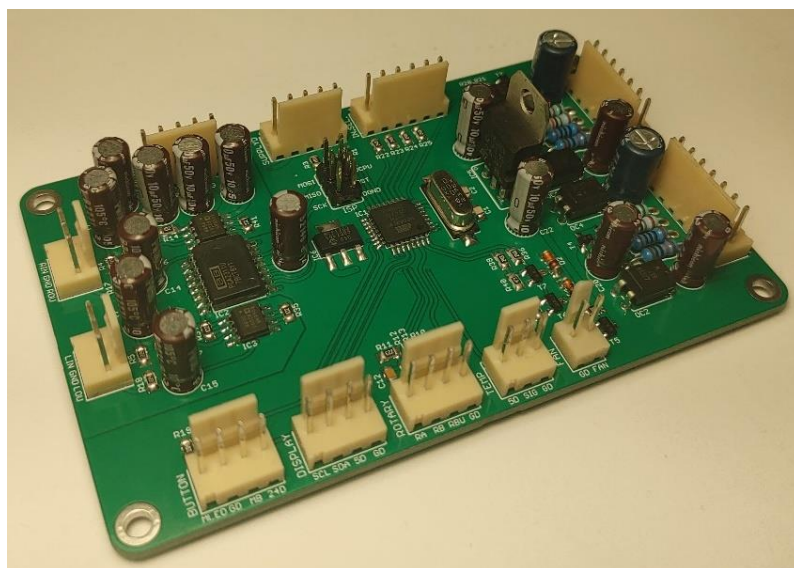
20. ÖSSZEGZÉS/SUMMARY

20.1 Összegzés

A projekt során sikerült mélyebb belátást nyerni a mikrovezérlő programozásba, legfőképp az I²C kijelző meghajtó driver teljes átírásával, valamint az attenuátor vezérlésének megírásával és az egyes folyamatok breadboard-on való tesztelésével. Az Eagle nevű NYÁK-tervező program használatával kapcsolatos ismeretek is kibővültek.

Összefoglalásként megállapítható, hogy a kezdetekben specifikált hangfrekvenciás erősítő védő és vezérlő áramkör tervezése során sikerült megoldani az összes megfogalmazott problémát és egy önálló áramkört létrehozni. A gyakorlati megvalósítása is sikeres, az elkészült áramkör stabilan működik és kijelenthető, hogy megbízható védelmet képes nyújtani az erősítő és a rácsatlakoztatott hangsugárzó számára is, valamint a bemenetválasztást és hangerővezérlést is az elvártaknak megfelelően képes elvégezni.

Ezen eredmények alapján továbbfejlesztési célként kitűzhető a távirányítással és akár mobiltelefonos applikációval való vezérlés megoldása is, valamint az erősítő üzemi hőmérsékletének diagnosztikai adatai alapján a hűtőfelület hőmérsékletének diagramon való megjelenítése időtartományban. Az alkalmazás használatával az erősítő meghibásodása esetén értesítés küldésére is lehetőség van az LCD kijelzőre kiíratáson kívül. Ezekhez viszont nagyobb lábszámmal rendelkező és nagyobb tudású mikrovezérlő használata már elengedhetetlen.



20/1. ábra: Beültetett fő áramkör [saját ábra]

20.2 Summary

During the project, it was possible to gain deeper insight into microcontroller programming, mainly by completely rewriting the I²C display driver, writing the attenuator control and testing the individual processes on a breadboard. Knowledge about the PCB design program Eagle has also been expanded.

As a summary, it can be stated that during the design of the audio frequency amplifier protection and control circuit specified at the beginning, it was possible to solve all the stated problems and to create an independent circuit. Its practical implementation is also successful, the finished circuit works stably and it can be stated that it can provide reliable protection for the amplifier and the loudspeaker connected to it, and the input selection and volume control can be performed as expected.

Based on these results, a development goal can be set to implement control via remote control and potentially through a mobile phone application, as well as displaying the temperature of the cooling surface on a diagram in the time domain based on the diagnostic data of the operating temperature of the amplifier. Using the application, there is also the possibility to send a notification in case of the amplifier's malfunction, in addition to displaying it on the LCD display. However, using a microcontroller with a larger pin count and greater capabilities is essential for these functionalities.

21. IRODALOM

- [1] D. Veselinovic, „Solid State Power Amplifier Supply,” [Online]. Available: https://www.tnt-audio.com/clinica/ssps3_e.html.
- [2] D. A. Johnson, „Cracked Solder Joints,” [Online]. Available: http://www.discovercircuits.com/dc-mag/Issue_11/pg-3.htm.
- [3] Aliexpress, „Remote Board LCD Display 4 Way Audio Input Volume Control,” [Online]. Available: https://www.aliexpress.com/item/1005005064309999.html?spm=a2g0o.productlist.main.73.49ae7ec6jZWYgo&algo_pvid=3608060a-a10b-4e1f-b144-53049daad9b1&algo_exp_id=3608060a-a10b-4e1f-b144-53049daad9b1-36&pdp_npi=4%40dis%21EUR%2142.78%2130.81%21%21%2144.79%21%21.
- [4] Amazon, „Speaker Protection Board,” [Online]. Available: <https://www.amazon.in/Speaker-Protection-Channel-AC10-18V-DC12-24V/dp/B0B626LZ4Q>.
- [5] NEC, „uPC1237,” [Online]. Available: <https://ampslab.com/PDF/upc1237.pdf>.
- [6] P. Allison, „VI Limiters in Amplifiers,” [Online]. Available: <https://sound-au.com/vi.htm>.
- [7] Sulinet, „Stabilizátorok túláramvédelme,” [Online]. Available: <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/elektronika-elektrotechnika/alaparamkorok-alkalmazasai/stabilizatorok-tularamvedelme/stabilizatorok-tularamvedelme>.
- [8] Aliexpress, „High power soft start board,” [Online]. Available: https://www.aliexpress.com/item/1005003249057548.html?spm=a2g0o.productlist.main.3.4c5ezdmazdmaRJ&algo_pvid=4f23c557-30f4-4c0a-935c-55b4ec6bc16c&algo_exp_id=4f23c557-30f4-4c0a-935c-55b4ec6bc16c-1&pdp_npi=4%40dis%21EUR%217.90%217.51%21%21%218.21%21%21%4021.
- [9] Aliexpress, „PWM Fan Temperature Speed Controller,” [Online]. Available: https://www.aliexpress.com/item/1005001860851011.html?spm=a2g0o.productlist.main.1.28d86f9apBbAQk&algo_pvid=121a8359-4fce-4357-b067-0314ae2b9b8e&algo_exp_id=121a8359-4fce-4357-b067-0314ae2b9b8e-0&pdp_npi=4%40dis%21EUR%212.85%212.48%21%21%212.96%21%21%4021.
- [10] Marantz, „Marantz PM-11S1 Service Manual,” [Online]. Available: <https://www.manualslib.com/manual/698420/Marantz-Pm-11s1-F1n-K1g-L1g-N1g-S1g-N1s.html>.

- [11] T. Instruments, „LM35,” [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>.
- [12] Marantz, „Marantz SR9200 Service Manual,” [Online]. Available: <https://www.manualslib.com/manual/794716/Marantz-Sr9200.html>.
- [13] Audiostars, „Qualiton Audio X200 Black Integrated Amplifier,” [Online]. Available: <https://audiostars.com.ph/product/2-80/>.
- [14] CircuitsToday, „Digital volume control circuit,” [Online]. Available: <https://www.circuitstoday.com/digital-volume-control-circuit>.
- [15] T. Instruments, „LM1972,” [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1972.pdf?ts=1698871416836>.
- [16] T. Instruments, „PGA2311,” [Online]. Available: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pga2311.pdf?ts=1698855688413&ref_url=http%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FPGA2311.
- [17] Bourns, „PEC11R Series - 12 mm Incremental Encoder,” [Online]. Available: <https://www.tme.eu/Document/8c1b1e629e264c85ef5bd42048515675/PEC11R.pdf>.
- [18] E. Corpeño, „The Good and the Bad of MCU Internal Oscillators,” [Online]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/the-good-and-the-bad-of-mcu-internal-oscillators/>.
- [19] E. A. LLC., „In-System Programming,” [Online]. Available: <https://embeddedartistry.com/fieldmanual-terms/in-system-programming/>.
- [20] S. electronic, „47166 | MYRRA,” [Online]. Available: <https://www.soselectronic.com/en/products/myrra/47166-109922>.
- [21] I. Benchmark Media Systems, „Power Supplies In Audio Digital To Analog Converters,” [Online]. Available: https://www.enjoythemusic.com/magazine/manufacture/0816/Power_Supplies_In_Audio_Digital_To_Analog_Converters.htm.
- [22] Z. Yu, „A Comprehensive Guide to LDO Regulators,” [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/a-comprehensive-guide-to-ldo-regulators.html>.
- [23] R. Elliott, „Amplifier Thermal Protection,” [Online]. Available: <https://sound-au.com/project46.htm>.

Minden forrás ellenőrizve: 2023. 11. 08.